

Ultrasons

Ultrasounds

Réf :
223 008

Français – p 1

English – p 32

Version : 5103

Plateau Moduson

Moduson table

Table des matières

1	Description	1
1.1	Plateau Moduson.....	1
2	Mise en service	1
2.1	Matériels complémentaires nécessaires.....	1
2.2	Matériels complémentaires recommandés	1
2.3	Mise en place	2
3	Le fonctionnement.....	3
3.1	Réflexion et absorption des ultrasons	3
3.2	Interférences des ultrasons.....	3
4	L'étude théorique des interférences.....	4
MANIPULATIONS		8
1	Directivité des ultrasons.....	9
1.1	1 ^{ère} étape : le montage.....	9
1.2	2 ^{ème} étape : le protocole.....	10
1.3	3 ^{ème} étape : l'exploitation des résultats	11
2	Réflexion des ultrasons	11
2.1	1 ^{ère} étape : le montage.....	11
2.2	2 ^{ème} étape : le protocole.....	13
2.3	3 ^{ème} étape : l'exploitation des résultats.....	14
3	Interférences des ultrasons.....	14
3.1	1 ^{ère} étape : le montage.....	14
3.2	2 ^{ème} étape : le protocole.....	15
3.3	3 ^{ème} étape : l'exploitation des résultats.....	17
4	Service après-vente.....	19
FICHES DE TRAVAUX PRATIQUES		20
1	Directivité des ultrasons.....	21
1.1	1 ^{ère} étape : le montage.....	21
1.1	2 ^{ème} étape : le protocole.....	22
1.2	3 ^{ème} étape : l'exploitation des résultats	23
2	Réflexion des ultrasons	24
2.1	1 ^{ère} étape : le montage.....	24
2.1	2 ^{ème} étape : le protocole.....	25
2.2	3 ^{ème} étape : l'exploitation des résultats.....	26
3	Interférences des ultrasons.....	26
3.1	1 ^{ère} étape : le montage.....	27
3.1	2 ^{ème} étape : le protocole.....	28
3.2	3 ^{ème} étape : l'exploitation des résultats.....	29

Contents

1	Description	32
1.1	Moduson table.....	32
2	Installation.....	32
2.1	Required additional equipment	32
2.2	Recommended additional equipment.....	33
2.3	Setup	33
3	Operation	34
3.1	Ultrasonic reflection and absorption	34
3.2	Ultrasonic interference phenomena.....	34
4	Theoretical study of interference phenomena.....	35
5	After-Sales Service.....	38
EXPERIMENTS		40
1	Directivity of ultrasonic waves.....	41
1.1	Step 1: Setup.....	41
1.2	Step 2: Protocol.....	42
1.3	Step 3: Exploitation of the results.....	43
2	Reflection of ultrasonic waves.....	43
2.1	Step 1: Setup.....	43
2.2	Step 2: Protocol.....	44
2.3	Step 3: Exploitation of the results.....	45
3	Interference of ultrasonic waves	46
3.1	Step 1: Setup.....	46
3.1	Step 2: Protocol.....	47
3.2	Step 3: Exploitation of the results.....	48

LAB WORK SHEETS	52
1 Directivity of ultrasonic waves	53
1.1 Step 1: Setup.....	53
1.2 Step 2: Protocol.....	54
1.3 Step 3: Exploitation of the results.....	55
2 Reflection of ultrasonic waves.....	56
2.1 Step 1: Setup.....	56
2.2 Step 2: Protocol.....	57
2.3 Step 3: Exploitation of the results.....	58
3 Interference of ultrasonic waves	58
3.1 Step 1: Setup.....	59
3.1 Step 2: Protocol.....	60
3.2 Step 3: Exploitation of the results.....	61

1 Description

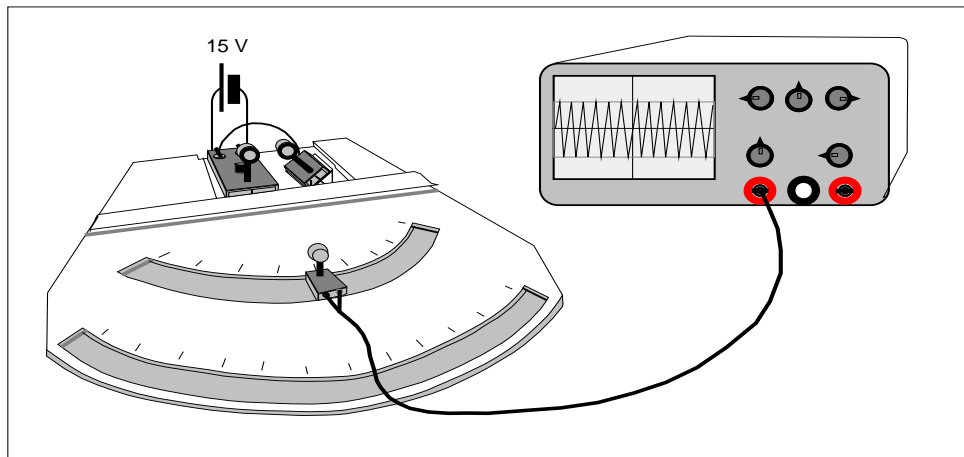
1.1 Plateau Moduson

C'est un plateau moulé en PVC en deux parties s'adaptant l'une à l'autre :

- La première partie sert de support aux émetteurs à ultrason :
une empreinte permet de disposer ceux-ci, avec exactitude, dans diverses positions. Ces positions sont repérées par des traits sérigraphiés et correspondent à des écartements pour les deux émetteurs respectivement de 2, 4 et 8 cm, centrés sur le centre du dispositif.

Pour maintenir fermement ces positions, le fond de l'empreinte et le dessous des émetteurs sont recouverts d'une semelle magnétique adhésive.
- La seconde partie possède deux empreintes en arc de cercle, graduées en degré avec un zéro central, dans lesquelles se déplace le récepteur à ultrason. Les rayons des arcs sont de 15 et 30 cm.

Vue de l'ensemble MODUSON (expérience d'interférences)



2 Mise en service

2.1 Matériels complémentaires nécessaires

- | | |
|------------------------------------|-----------------|
| - 1 émetteur d'ultrason MODUSON | Réf. 222 027 |
| Ou | |
| - 1 émetteur d'ultrason MODUSON 2 | Réf. 222 076 |
| - 1 émetteur 2 MODUSON | Réf. 223 009 |
| - 1 récepteur d'ultrason MODUSON | Réf. 222 028 |
| - 1 récepteur d'ultrason MODUSON 2 | Réf. 222 078 |
|
 | |
| - 1 alimentation Evo 2 R15F5 | Réf. 281 488 |
| - 1 oscilloscope | Réf. 291 125 |
| | ou Réf. 291 123 |
| | ou Réf. 291 105 |

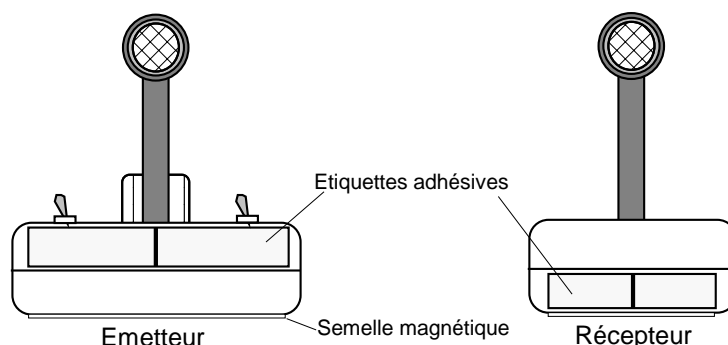
2.2 Matériels complémentaires recommandés

- 1 câble adaptateur fiches bananes-BNC Réf. 283 328
- 1 micro-ordinateur et le logiciel Atelier Scientifique.

2.3 Mise en place

❖ Avant l'installation, il faut réaliser quelques modifications :

- Sous l'émetteur MODUSON (Réf. 222 027), coller la semelle magnétique adhésive et mettre en place l'étiquette autocollante (12 mm x 63 mm) représentant un trait blanc, sur l'avant de l'émetteur, dans la partie supérieure
- Sur l'un des récepteurs MODUSON (Réf. 222 028), coller l'étiquette autocollante (8 mm x 32 mm) représentant un trait blanc, sur l'avant du récepteur, dans la partie inférieure.



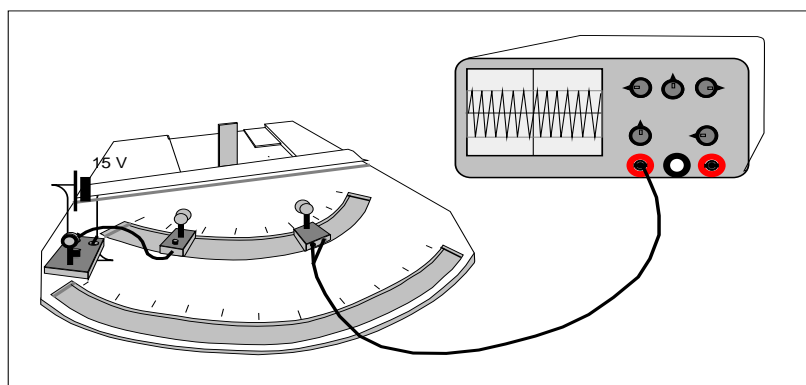
Il s'agit, dans les deux cas, des index de repérage des positions de l'émetteur ou du récepteur, placés dans leurs empreintes du socle moulé de PVC.

❖ MODUSON nécessite l'emploi d'une alimentation stabilisée de 15 V.

Remarque : Une protection interne évite d'endommager l'appareil en cas d'erreur de branchement du sens de l'alimentation.

❖ Complément MODUSON est utilisable pour deux expériences :

- en seconde, pour l'étude de la réflexion, on utilisera le miroir à semelle magnétique ainsi qu'un émetteur et un récepteur. On peut utiliser l'émetteur (Réf. : 222 027 ou 222 076) directement mais sa base, trop grande, ne s'ajuste pas dans l'empreinte du support moulé de PVC. Il est préférable d'utiliser l'émetteur 2 complémentaire qui a la taille convenable, au détriment d'un montage un peu plus encombrant.



- en terminale S, l'étude des interférences nécessite l'emploi simultané des deux émetteurs (principal et secondaire). L'émetteur 2 est relié par un câble blindé à la sortie BNC de l'émetteur principal qui fournit un signal commun et synchrone aux deux émetteurs. Voir la figure de la
- en terminale S, l'étude des interférences nécessite l'emploi simultané des deux émetteurs (principal et secondaire). L'émetteur 2 est relié par un câble blindé à la sortie BNC de l'émetteur principal qui fournit un signal commun et synchrone aux deux émetteurs. Voir la figure de la page 1.

3 Le fonctionnement

3.1 Réflexion et absorption des ultrasons

Ces expériences sont proposées en complément des diverses expériences réalisables avec l'ensemble MODUSON.

L'émetteur principal est utilisé en position *Continu*. Il doit être au préalable réglé à la résonance, par le bouton *Fréquence*, pour émettre le signal de plus forte amplitude. Sa prise BNC est reliée à l'émetteur 2 MODUSON, placé dans l'empreinte circulaire du support moulé. Cet émetteur envoie une onde ultrasonore vers un miroir métallique situé au centre de l'empreinte.

Le récepteur MODUSON est lui-même placé dans l'empreinte circulaire. Il capte le signal réfléchi. La recherche du maximum d'amplitude du signal reçu est obtenue par observation sur l'écran de l'oscilloscope auquel est relié le récepteur.

Le dispositif montre ou vérifie l'égalité de l'angle d'incidence et de l'angle de réflexion.

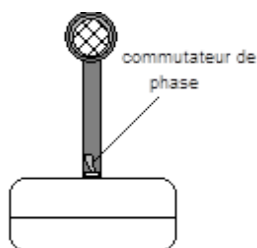
Si le miroir est retourné, la surface réfléchissante est remplacée par de la mousse plastique. Le signal incident est alors complètement absorbé.

Remarque : La réflexion des ultrasons sur le miroir s'accompagne d'un phénomène de diffraction du signal réfléchi. Ce phénomène, en raison de la faible largeur du miroir (4 cm), est sans inconvénient : le maximum central est assez net et les maxima secondaires suffisamment faibles et éloignés du maximum principal pour ne pas gêner les mesures réalisées dans une classe de seconde.

3.2 Interférences des ultrasons

L'émetteur principal (Réf. 222 027 ou 222 076) est supposé réglé au maximum d'émission. Il est relié à l'émetteur 2 MODUSON,

- Les deux émetteurs, reliés au même générateur de signaux, constituent des sources synchrones. Il est cependant nécessaire, pour leur donner la même amplitude, de procéder aux réglages suivants :
 - Mettre les deux émetteurs en place sur l'empreinte magnétique du support moulé de PVC. Leur donner un écartement de 2 cm par exemple (le plus faible). Placer un récepteur dans une des empreintes en arc de cercle, en face de la valeur d'angle 0 (le récepteur est alors placé sur la médiatrice du segment qui joint les deux récepteurs et il est équidistant de chacun d'eux) et le relier à l'entrée verticale d'un oscilloscope.
 - Débrancher l'émetteur 2 et observer le signal émis par l'émetteur principal et capté par le récepteur. Noter la valeur de l'amplitude. Brancher l'émetteur 2 et placer le commutateur de l'émetteur principal sur la position Arrêt (dans cette position, le composant émetteur est coupé mais pas le générateur qui continue à fournir le même signal sur la prise BNC et donc à l'émetteur 2), seul l'émetteur 2 est alors actif. A l'aide du potentiomètre qu'il porte, régler l'amplitude du signal reçu à la même valeur que celle relevée précédemment.
 - Basculer le commutateur de l'émetteur principal dans la position Marche : les deux émetteurs fonctionnent alors en même temps et ont la même amplitude. Ceci se traduit par un maximum capté par le récepteur (un léger ajustement de sa position est alors parfois nécessaire pour l'obtenir, de 1 à 2 degrés).



Remarque : Il est possible que, selon l'émetteur principal et l'émetteur 2 utilisés, le signal reçu au point 0 par le récepteur, lorsque les deux émetteurs sont réglés à égalité d'amplitude, donne un minimum nul au lieu d'un maximum. Les deux émetteurs vibrent alors en opposition de phase au lieu de vibrer en phase comme on peut l'attendre. Pour les mettre en phase actionner le commutateur de phase.

- Le récepteur étant installé, son déplacement dans l'empreinte en arc de cercle fait apparaître une succession de maxima et de minima de l'amplitude du signal capté par le récepteur et observé sur l'écran de l'oscilloscope.

Il s'agit de la succession des ventres et des nœuds correspondant aux interférences constructives et destructives qui se manifestent dans le voisinage des deux sources synchrones employées.

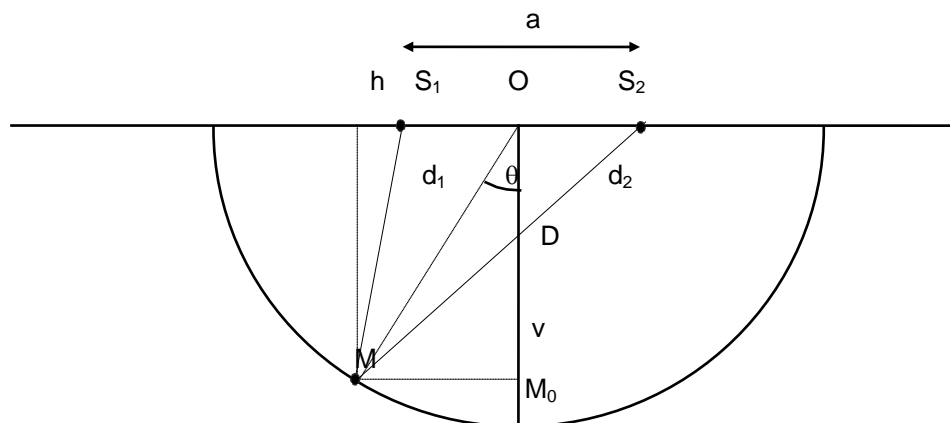
- On choisit la distance a entre les 2 émetteurs (3 valeurs sont repérées : $a=2$ cm, $a=4$ cm et $a=8$ cm, mais toute autre valeur entre 2 et 4 cm peut être mesurée à l'aide d'un double décimètre) et le rayon D de l'arc de déplacement du récepteur (2 rayons sont utilisables : $D=15$ cm et $D=30$ cm). La mesure des abscisses angulaires θ des minima (ou des maxima) consécutifs donne la valeur i de l'interfrange et permet la vérification de son expression en fonction de a et de D avec une précision satisfaisante.

$$i = \frac{\lambda \cdot D}{a}$$

4 L'étude théorique des interférences

❖ Les interférences ultrasonores avec MODUSON

- Étude théorique
 - Le schéma théorique, vue du dessus est le suivant. Le récepteur M se déplace sur l'arc de cercle de rayon $O M_0 = D$. Les deux sources synchrones S_1 et S_2 sont distantes de $S_1 S_2 = a$



- Pour une position M quelconque du récepteur, la différence de marche des ondes ultrasonores provenant de S_1 et S_2 est $\delta = d_2 - d_1$
 d_2 et d_1 sont les hypoténuses de deux triangles rectangles. On peut exprimer :

$$d_2^2 = hM^2 + hS_2^2 = Ov^2 + (Oh + a/2)^2 = D^2 \cos^2(\theta) + (D \sin(\theta) + a/2)^2 = D^2 + a^2/4 + aD \sin(\theta)$$

$$d_1^2 = hM^2 + hS_1^2 = Ov^2 + (Oh - a/2)^2 = D^2 \cos^2(\theta) + (D \sin(\theta) - a/2)^2 = D^2 + a^2/4 - aD \sin(\theta)$$

$$d_2^2 - d_1^2 = (d_2 - d_1)(d_2 + d_1) = \delta(d_2 + d_1) = 2 aD \sin(\theta)$$

$$\text{soit } \delta = 2 aD \sin(\theta) / (d_2 + d_1)$$

ou encore :

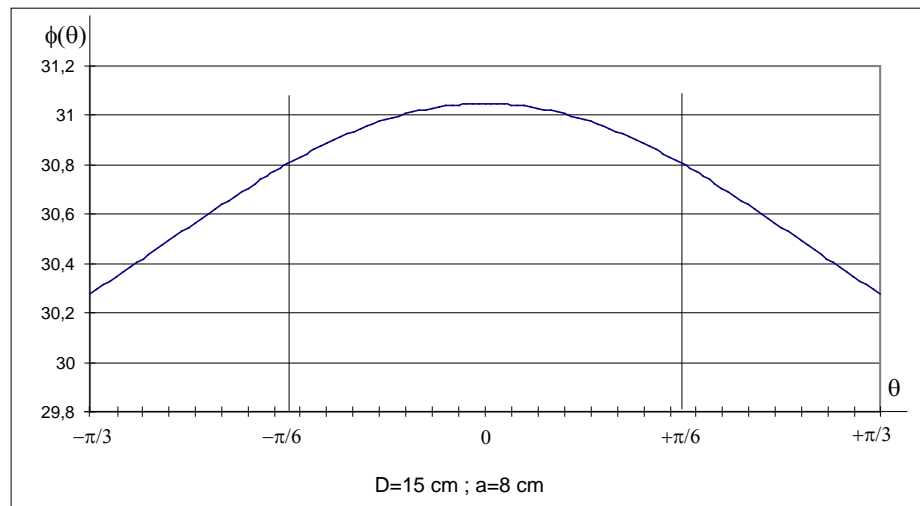
$$\delta = \frac{2aD \sin(\theta)}{\sqrt{D^2 + \frac{a^2}{4} + aD \sin(\theta)} + \sqrt{D^2 + \frac{a^2}{4} - aD \sin(\theta)}}$$

- Approximations

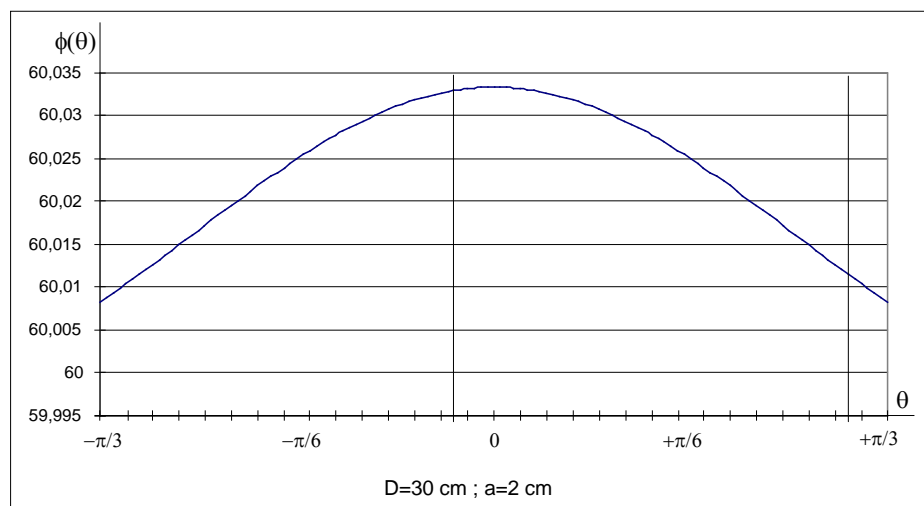
- L'étude informatique du dénominateur $\Phi(\theta)$ de δ , à l'aide d'ACTILAB ou d'un tableur comme EXCEL, donne ses variations dans les conditions de l'expérience.
- En ce qui concerne θ , celui-ci varie au maximum entre -60° et $+60^\circ$ ($-\pi/3$ et $+\pi/3$)

Remarque : L'étude graphique peut aussi se faire à l'aide d'une calculatrice graphique.

- Les valeurs de a et D sont, dans le cas le plus défavorable, $a=8$ cm et $D=15$ cm.
- C'est entre ces limites et dans ce cas que nous travaillons.
- La courbe représentative de $\Phi(\theta)$ en fonction de θ donne le graphe suivant :



- Par rapport à la valeur $2D=30$ cm, l'écart relatif $(\Phi(\theta)-2D)/2D$ est de $1,05/30$ soit $3,5\%$ au maximum lorsqu'on se trouve à l'abscisse angulaire $\theta=0$. L'écart relatif tombe à environ $0,8/30$ soit $2,7\%$ pour $\theta=+\pi/6$ ou $-\pi/6$ pour atteindre $0,3/30$ soit 1% pour $\theta=+\pi/3$ ou $-\pi/3$.
- Dans le cas le plus favorable, les valeurs de a et D sont, $a=2$ cm et $D=30$ cm.
- La courbe représentative de $\Phi(\theta)$ en fonction de θ donne alors le graphe suivant :



- Par rapport à la valeur $2D=60$ cm, l'écart relatif est $0,033/60$ soit $0,055\%$ au maximum lorsqu'on se trouve à l'abscisse angulaire $\theta=0$.
- On peut en conclure qu'il est tout à fait raisonnable de remplacer $\Phi(\theta)$ par $2D$ avec une erreur qui reste faible.

$$\delta \approx a \sin(\theta)$$

- Expression de l'interfrange

On obtient des interférences constructives quand les deux ondes sont en phase, c'est-à-dire lorsque $\delta = k \cdot \lambda$ (λ est la longueur d'onde des ultrasons, ici $\lambda = 0,84$ cm).

On a donc $k \cdot \lambda \approx a \sin(\theta)$ soit $\sin(\theta) \approx \frac{k \cdot \lambda}{a}$. Comme $\frac{\lambda}{a}$ est constant pour une valeur de a choisie, $\sin(\theta)$ est un multiple entier de $\frac{\lambda}{a}$.

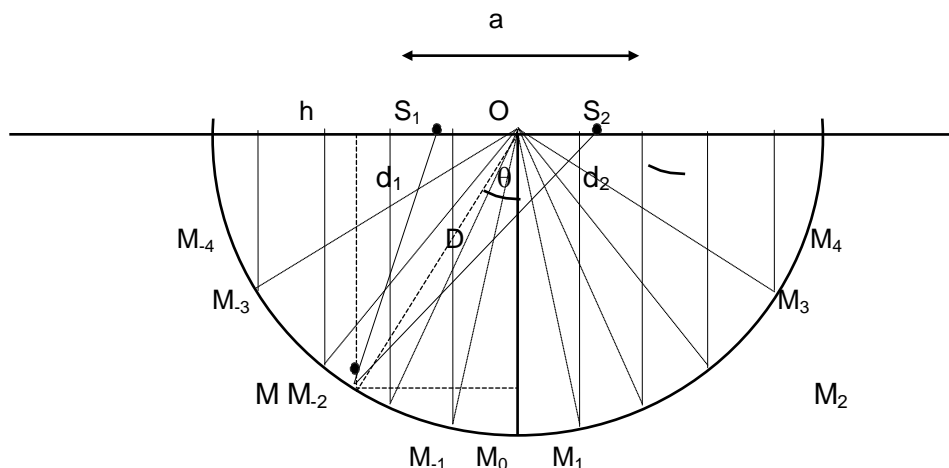
Si on a choisi $a = 4$ cm, on obtient $\frac{\lambda}{a} = \frac{0,84}{4} = 0,21$ et on a $\sin(\theta) = 0,21 \cdot k$.

Comme $-\pi/3 \leq \theta \leq +\pi/3$, il vient $-0,866 \leq \sin(\theta) \leq +0,866$, soit

$-0,866 \leq 0,21 \cdot k \leq +0,866$ ou encore $-4,12 \leq k \leq +4,12$ ce qui donne les valeurs de k possibles et les maxima d'amplitude correspondants :

$$k = -4, k = -3, k = -1, k = 0, k = 1, k = 2, k = 3 \text{ et } k = 4.$$

Sur le schéma ci-dessous, les maxima sont obtenus par un tracé simple lorsque Oh satisfait à la condition suivante :



Comme $\sin(\theta) = \frac{Mv}{OM} = \frac{Oh}{D}$, il faut que : $Oh = \sin(\theta) \cdot D \approx \frac{k \cdot \lambda}{a} \cdot D$.

Si on prend $D = 15$ cm, $a = 4$ cm et $\lambda = 0,84$ cm, cela donne pour les valeurs de k possibles : $Oh = 3,15 \cdot k$, soit

$Oh_4 = -12,6$ cm, $Oh_3 = -9,45$ cm, $Oh_2 = -6,3$ cm, $Oh_1 = -3,15$ cm, $Oh_0 = 0$,

$Oh_1 = 3,15$ cm, $Oh_2 = 6,3$ cm, $Oh_3 = 9,45$ cm, $Oh_4 = 12,6$ cm.

Ces valeurs permettent le tracé d'un réseau de droites parallèles à OM_0 et équidistantes de $\frac{\lambda D}{a}$. Leurs intersections avec l'arc de cercle donnent les emplacements des maxima.

- Cas des angles petits

Dans le cas où $\sin(\theta)$ est petit, soit avec a assez grand, on constate que les arcs M_0M_1 , M_1M_2 , M_2M_3 , M_3M_4 sont égaux si on ne s'écarte pas trop de la position M_0 .

En pratique, on peut prendre $a = 8$ cm.

On pose θ_i qui mesure l'angle entre deux maxima successifs. On obtient :

$$\theta_i \approx \sin(\theta_i) = \lambda/a = 0,105 \text{ soit } \theta_i = 6^\circ.$$

Ce qui est bien vérifié par l'expérience.

Un raisonnement analogue peut être tenu à propos des minima d'amplitude.

MANIPULATIONS

- ① La première partie de ce recueil de manipulations est destinée au professeur. Elle regroupe quelques manipulations réalisées avec le Complément MODUSON. Les résultats numériques qui y figurent proviennent de mesures réelles. Cependant, celles-ci ont été réalisées dans des conditions quelconques et peuvent différer des mesures personnelles observées par les expérimentateurs : les mesures qui suivent ne sont donc que des exemples.
Les premières manipulations s'adressent à des élèves de seconde.
La dernière manipulation consacrée aux interférences est destinée à des élèves de terminale S.
- ② La deuxième partie du recueil reprend les expériences de la première partie sous la forme de fiches de travaux pratiques directement utilisables par le professeur dans sa classe ou facilement modifiables. Dans le texte destiné aux élèves, des questions sont fréquemment posées : elles correspondent souvent aux remarques concernant les observations, les résultats expérimentaux et les conclusions de la première partie.
- ③ Précautions d'emploi : Le réglage préalable des émetteurs consiste à obtenir le signal de plus grande amplitude possible reçu par le récepteur. Il doit précéder toute manipulation.

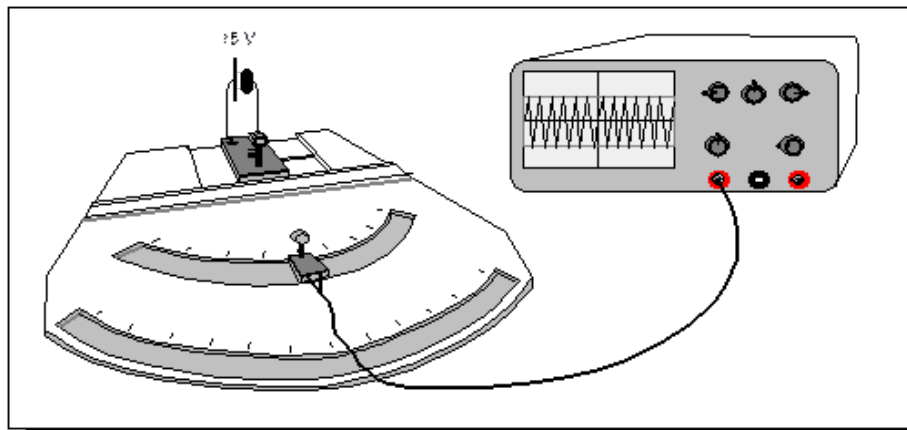
1 Directivité des ultrasons

Introduction : Le but de la manipulation est de montrer l'effet directif des ultrasons et de définir la notion de « rayon sonore ».

1.1 1^{ère} étape : le montage

① On réalise le montage représenté ci-dessous.

L'émetteur est relié à une alimentation de 15 V. Réglé au maximum d'émission, il est mis en fonctionnement sur le mode *Continu*. Il est placé au centre O de l'empreinte en forme d'arc de cercle et il émet des ultrasons vers le zéro de la graduation.

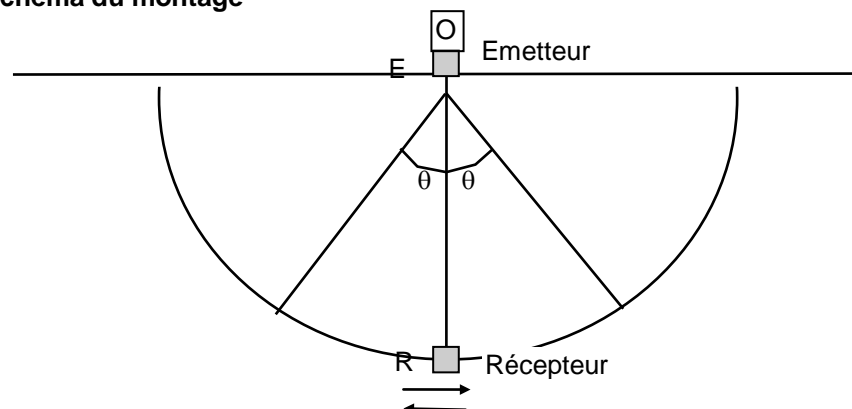


Le récepteur est placé dans l'empreinte circulaire la plus proche de l'émetteur (le rayon est 15 cm) où il peut se déplacer. Il est relié par un câble blindé à l'entrée verticale de l'oscilloscope.

② Matériel :

- L'émetteur principal d'ultrason MODUSON
- Un récepteur d'ultrason
- Le plateau MODUSON moulé en PVC (en deux parties)
- Une alimentation stabilisée variable 0/15 V
- Un oscilloscope
- Un câble adaptateur fiches bananes-BNC

③ Schéma du montage



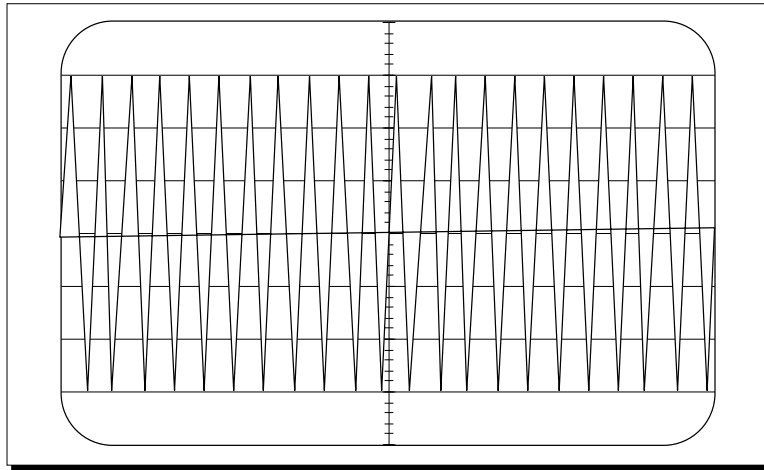
1.2 2^{ème} étape : le protocole

❖ Directivité des ultrasons

① Recherche du maximum de réception :

Il est obtenu en recherchant la position du récepteur sur l'arc de cercle qui donne la plus grande amplitude du signal capté.

L'oscilloscope est réglé sur 0,1 V/div pour l'amplification verticale et sur 0,1 ms/div pour le balayage horizontal. Le signal périodique est alors très serré et son amplitude est mieux lue. L'amplitude est de 0,3 V.



Le maximum d'amplitude du signal capté par le récepteur correspond à la graduation 0.

② Cône d'émission sonore :

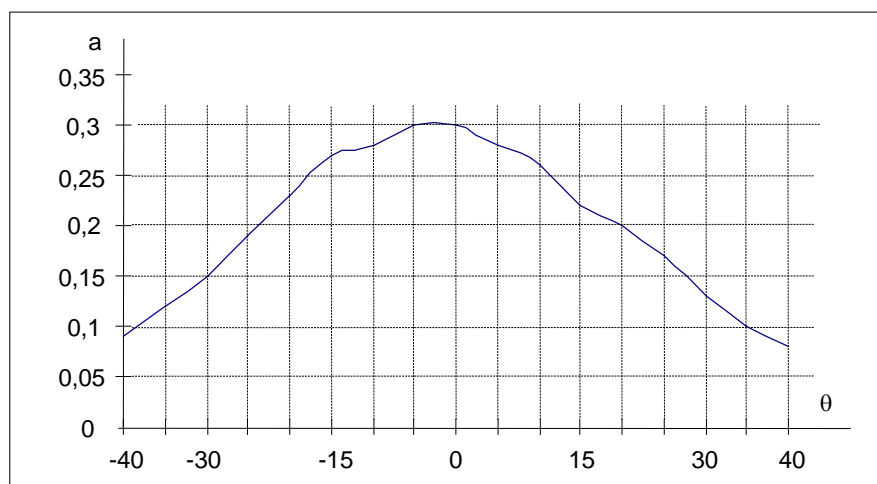
Les ultrasons sont émis par l'émetteur dans une zone qu'on cherche à déterminer.

On note la valeur a de l'amplitude du signal reçu pour une valeur variable θ de l'angle qui repère la position du récepteur d'ultrasons (θ est négatif à gauche de 0 et positif à droite).

On obtient les résultats suivants :

a en V	0,09	0,12	0,15	0,19	0,23	0,27	0,28	0,3	0,3	0,28	0,26	0,22	0,20	0,17	0,13	0,10	0,08
θ en °	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40

③ Le graphique correspondant est représenté ci-dessous :



④ Incertitude de la mesure :

On détermine la variation minimale de l'angle pour laquelle l'amplitude observée sur l'écran de l'oscilloscope est la plus grande.

On constate que cette valeur est d'environ 5°.

La recherche du maximum est donc assez imprécise.

❖ Conclusion :

On constate que les ultrasons sont assez directifs (mais beaucoup moins que la lumière !)

La zone d'émission des ultrasons (en la supposant symétrique autour de l'axe de l'émetteur), pour une amplitude qui décroît de la moitié de sa valeur maximale, est un cône d'angle voisin de 60° (angle α_{Ob} sur le schéma).

Remarque : On peut recommencer l'expérience en utilisant la deuxième empreinte pour le déplacement du récepteur.

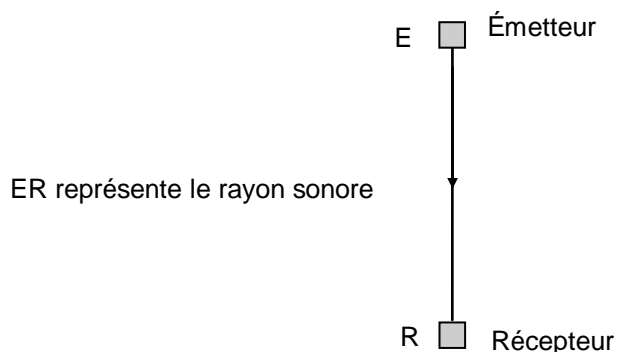
1.3 3^{ème} étape : l'exploitation des résultats

❖ Notion de direction sonore ou de « rayon sonore » :

On appelle « rayon sonore » la direction d'émission qui correspond au maximum d'amplitude du signal reçu par le récepteur.

❖ Représentation du rayon sonore

On représente ce rayon par un trait orienté par une flèche allant de l'émetteur vers l'extérieur. Sa direction se confond avec l'axe géométrique de l'émetteur.



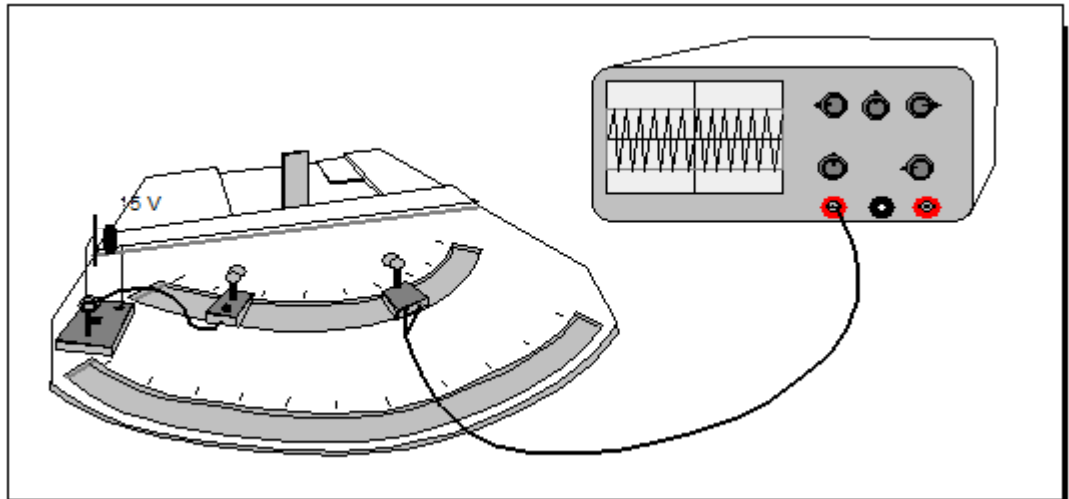
2 Réflexion des ultrasons

Introduction : Le but de la manipulation est de vérifier la loi de la réflexion. On observera également l'influence du phénomène d'absorption sur les ondes ultrasonores.

2.1 1^{ère} étape : le montage

❖ On réalise le montage représenté ci-dessous.

Le plan réfléchissant (miroir) à semelle magnétique est placé au centre des empreintes en arcs de cercles. Un émetteur et un récepteur à ultrasons sont disposés comme l'indique le schéma. On peut utiliser l'émetteur principal de MODUSON mais sa base, trop grande, ne s'ajuste pas dans l'empreinte du support moulé de PVC. *Il est préférable d'utiliser l'émetteur 2 complémentaire* qui a la taille convenable, au détriment d'un montage un peu plus encombrant. L'émetteur 2 est placé sur la graduation 30° (par exemple), vers la gauche.



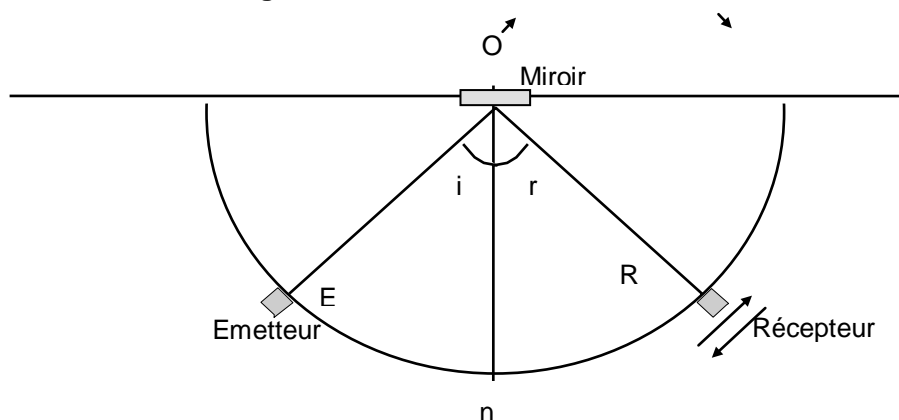
L'émetteur 2 est relié à l'émetteur principal. Celui-ci est alimenté par une alimentation de 15 V et ses interrupteurs sont placés en positions Continu pour l'un et Arrêt pour l'autre (son élément émetteur est alors coupé et l'émetteur 2 est seul alimenté).

Le récepteur est placé dans l'empreinte circulaire la plus proche de l'émetteur (de rayon 15 cm) où il peut se déplacer. Il est placé dans la partie droite. Il est relié par un câble blindé à l'entrée verticale de l'oscilloscope.

❖ Matériel :

- L'émetteur principal d'ultrason MODUSON et l'émetteur 2
- Un récepteur d'ultrason
- Le plateau MODUSON moulé en PVC (en deux parties)
- Une alimentation stabilisée variable 0/15 V
- Un oscilloscope
- Un câble adaptateur fiches bananes-BNC

❖ Schéma du montage



2.2 2^{ème} étape : le protocole

❖ Définitions

Sur le schéma précédent, on appelle :

- On la normale au miroir
- i l'angle d'incidence, entre le rayon sonore incident EO et la normale au miroir On
- r l'angle de réflexion, entre le rayon sonore réfléchi OR et la normale au miroir On

❖ Mesures :

On donne à i différentes valeurs en déplaçant l'émetteur dans sa glissière et on cherche la position à lui donner pour obtenir la direction du rayon réfléchi sur le miroir.

Cette direction est obtenue en recherchant la position du récepteur sur l'arc de cercle qui donne la plus grande amplitude du signal capté.

L'oscilloscope est réglé sur 0,1 V/div pour l'amplification verticale et sur 0,1 ms/div pour le balayage horizontal.

Pour réussir de bonnes mesures, il faut procéder de la façon suivante :

- placer l'émetteur sur la première valeur (10°)
- déplacer lentement le récepteur depuis la valeur la plus faible (vers 0 °)
- s'arrêter dès qu'on observe le passage de l'amplitude du signal capté sur un premier maximum
- lire la valeur trouvée
- affiner le réglage si nécessaire.

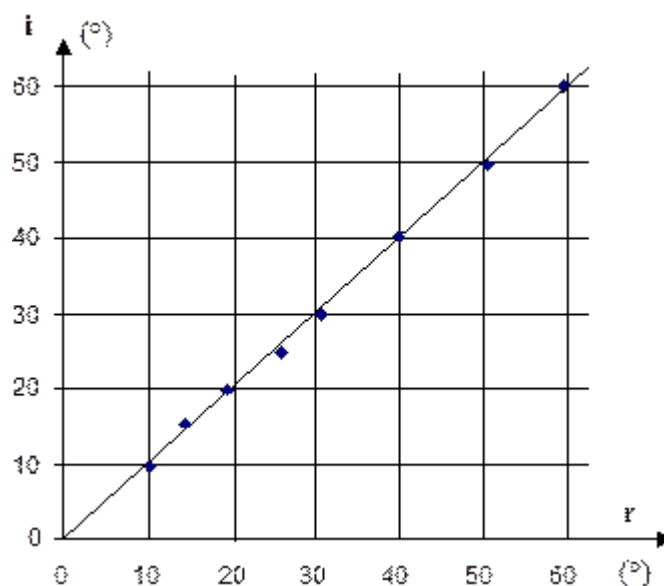
Remarque : On constate l'existence d'autres maxima (d'amplitudes plus faibles). Ceci est dû à des phénomènes complexes appelés « phénomènes de diffraction ».

Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous :

I en °	10	15	20	25	30	40	50	60
R en °	11	14	19	27	31	40	51	59

❖ Tracé de la courbe :

Représentation graphique de la fonction $i=f(r)$



❖ **Observation de la courbe :**

La courbe obtenue est une droite passant par l'origine (dans les limites du domaine étudié).

❖ **Absorption des ultrasons :**

Expérience complémentaire.

On retourne le miroir de façon à présenter la surface recouverte de mousse au faisceau d'ultrasons provenant de l'émetteur.

On essaie, pour quelques valeurs de l'angle i , d'obtenir des valeurs de r correspondantes.

On constate que le signal n'est plus réfléchi : il est impossible d'obtenir une amplitude visible du signal capté par le récepteur.

2.3 3^{ème} étape : l'exploitation des résultats

❖ **Vérification de la loi de la réflexion**

Les mesures sont assez délicates et se bornent à une vérification approchée de la relation

$$i=r$$

❖ **Absorption des ultrasons**

Les ultrasons sont absorbés par la mousse du support employé.

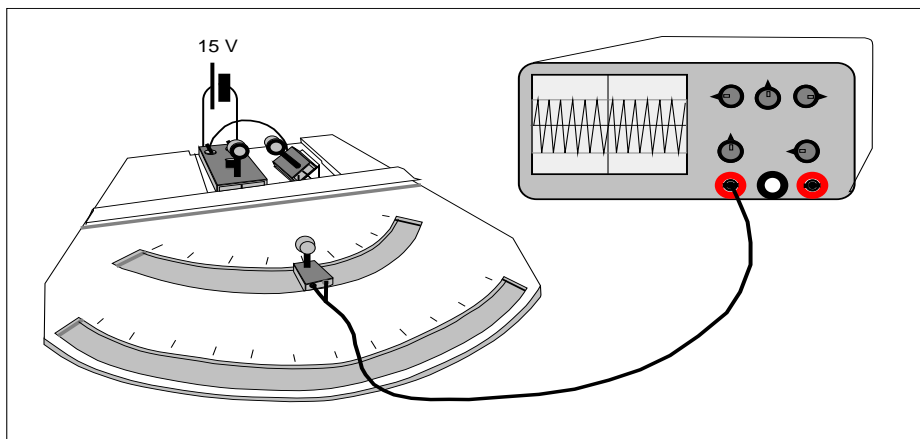
Remarque : On peut recommencer l'expérience en utilisant la deuxième empreinte pour le déplacement de l'émetteur ou(et) du récepteur.

3 Interférences des ultrasons

Introduction : Le but de la manipulation est de réaliser une expérience d'interférences avec des ultrasons et de comparer les mesures expérimentales obtenues aux résultats théoriques déduits du modèle ondulatoire du phénomène.

3.1 1^{ère} étape : le montage

❖ On réalise le montage représenté ci-dessous.



L'émetteur 2 est placé sur un support magnétique incliné à 45°. Cette position particulière est nécessaire pour atteindre des distances faibles entre les deux émetteurs. Ainsi, de cette façon, ils se touchent pour leur plus faible écartement (2 cm).

L'émetteur 2 est relié à l'émetteur principal. Celui-ci est alimenté par une alimentation de 15 V et ses interrupteurs sont placés en positions *Continu* pour l'un et *Arrêt* pour l'autre (son élément émetteur est alors coupé et l'émetteur 2 est seul alimenté).

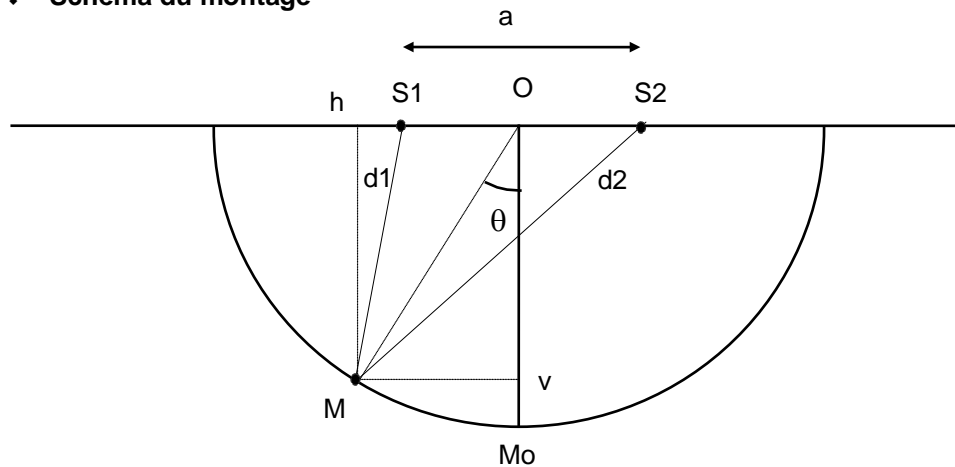
Le récepteur est placé dans l'empreinte circulaire la plus proche de l'émetteur (de rayon 15 cm) où il peut se déplacer. Il est placé à la graduation zéro. Il est relié par un câble blindé à l'entrée verticale de l'oscilloscope.

❖ **Matériel :**

- L'émetteur principal d'ultrason MODUSON et l'émetteur 2
- Un récepteur d'ultrason
- Le plateau MODUSON moulé en PVC (en deux parties)
- Une alimentation stabilisée variable 0/15 V
- Un oscilloscope
- Un câble adaptateur fiches bananes-BNC
- Un ordinateur et le logiciel ACTILAB ou un tableur (type EXCEL)

❖ **Schéma du montage**

❖ **Schéma du montage**



3.2 2^{ème} étape : le protocole

❖ **Réglage préliminaire des émetteurs**

- L'émetteur principal est supposé réglé au maximum d'émission. Il est relié à l'émetteur 2 MODUSON,
 - Les deux émetteurs, alimentés par le même générateur de signaux, constituent des sources synchrones. Il est cependant nécessaire, pour leur donner la même amplitude, de procéder aux réglages suivants :
1. Mettre les deux émetteurs en place sur l'empreinte magnétique du support moulé de PVC. Leur donner un écartement de 2 cm par exemple (le plus faible). Placer un récepteur dans une des empreintes en arc de cercle, en face de la valeur d'angle 0 (le récepteur est alors placé sur la médiatrice du segment qui joint les deux récepteurs et il est équidistant de chacun d'eux) et le relier à l'entrée verticale d'un oscilloscope.
 2. Débrancher l'émetteur 2 et observer le signal émis par l'émetteur principal et capté par le récepteur. Noter la valeur de l'amplitude. Brancher l'émetteur 2 et placer le commutateur de l'émetteur principal sur la position *Arrêt* (dans cette position, le composant émetteur est coupé mais pas le générateur qui continue à fournir le même signal sur la prise BNC et donc à l'émetteur 2), seul l'émetteur 2 est alors actif. A l'aide du potentiomètre qu'il porte, régler l'amplitude du signal reçu à la même valeur que celle relevée précédemment.
 3. Basculer le commutateur de l'émetteur principal dans la position *Marche* : les deux émetteurs fonctionnent alors en même temps et ont la même amplitude. Ceci se traduit par un maximum capté par le récepteur (un léger ajustement de sa position est alors parfois nécessaire pour l'obtenir, de 1 à 2 degrés).

❖ **Mesures :**

L'oscilloscope est réglé sur 0,1 V/div pour l'amplification verticale et sur 0,1 ms/div pour le balayage horizontal.

- On choisit la distance a entre les 2 émetteurs (3 valeurs sont repérées : $a=2$ cm, $a=4$ cm et $a=8$ cm, mais toute autre valeur entre 2 et 4 cm peut être mesurée à l'aide d'un double décimètre) et le rayon D de l'arc de déplacement du récepteur (2 rayons sont utilisables : $D=15$ cm et $D=30$ cm).
- Soit par exemple la valeur $a=4$ cm et $D=15$ cm.
- Le récepteur étant installé, son déplacement dans l'empreinte en arc de cercle fait apparaître une succession de maxima et de minima de l'amplitude du signal capté par le récepteur et observé sur l'écran de l'oscilloscope. Il s'agit de la succession des ventres et des nœuds correspondant aux interférences constructives et destructives qui se manifestent dans le voisinage des deux sources synchrones employées.
- Pour réussir de bonnes mesures, il faut procéder de la façon suivante :
 - placer l'émetteur en face de la graduation 0°
 - on se trouve alors au niveau d'un maximum d'amplitude (ajuster au besoin)
 - déplacer lentement le récepteur vers les valeurs croissantes de l'angle θ (vers la droite par exemple)
 - s'arrêter dès qu'on observe le passage de l'amplitude du signal capté sur un premier maximum, ajuster, lire et noter la valeur trouvée
 - poursuivre jusqu'à la position extrême du récepteur
 - recommencer pour les valeurs de l'angle θ vers la gauche.
- Recommencer pour les angles correspondant aux minima d'amplitude.

Remarque : Les minima sont plus aisément repérables que les maxima. Cependant, les minima ne sont pas nuls et sont de moins en moins marqués. Les amplitudes des signaux qui interfèrent ne sont pas égales et leur écart augmente au fur et à mesure que les distances d_1 et d_2 deviennent différentes.

❖ **Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous :**

Les angles sont notés algébriquement par rapport au zéro de la graduation.

θ minimum	Non mesurable	-32	-18	-6		6	18	32	47
écart minimum			14	12	12	12	14	15	
θ maximum	Non mesurable	-38	-24	-12	0	11,5	24	38	54
écart maximum		14	12	12		11,5	12,5	14	16

On constate que pour des angles compris entre -25° et $+25^\circ$, la variation de l'angle θ d'un maximum au maximum voisin (de même que d'un minimum au minimum suivant) est constant et vaut :

$$\Delta\theta \approx 12^\circ$$

En ce qui concerne le nombre de maxima et de minima, on obtient :

- 8 maxima (le 9° n'a pu être relevé)
- 7 minima (le 8° n'a pu être relevé)

L'écart entre les maxima et les minima est le même et ceux-ci sont régulièrement alternés.

Remarque : Pour d'autres valeurs, les résultats sont semblables. Ainsi, pour $a=8$ cm et $D=30$ cm, l'écart moyen est $\Delta\theta \approx 6^\circ$

3.3 3^{ème} étape : l'exploitation des résultats

❖ Étude théorique du phénomène d'interférences

① On fait appel au modèle de la superposition des ondes émises par les deux sources synchrones.

- La longueur d'onde est λ .
- Les ondes issues des sources S_1 et S_2 présentent en un point M quelconque une différence de marche $\delta = d_2 - d_1$.
- Si les deux ondes arrivent *en phase* au point M, elles ont un effet constructif et elles additionnent leurs amplitudes : on obtient un point d'amplitude maximale appelé *ventre*.

Cette condition se traduit par ; $\delta = k \cdot \lambda$.

Si les deux ondes arrivent *en opposition de phase* au point M, elles ont un effet destructif et elles soustraient leurs amplitudes : on obtient un point d'amplitude nulle (si les amplitudes sont égales) ou faible (égale à la différence des amplitudes), appelé *noeud*.

Cette condition se traduit par ; $\delta = (2k+1) \cdot \lambda/2$.

② Calcul de la différence de marche

Dans le schéma précédent du montage, on exprime la différence de marche $\delta = d_2 - d_1$. d_2 et d_1 sont les hypoténuses de deux triangles rectangles (MhS_1 et MhS_2).

On peut exprimer :

$$d_2^2 = hM^2 + hS_2^2 = Ov^2 + (Oh + a/2)^2 = D^2 \cos^2(\theta) + (D \sin(\theta) + a/2)^2 = D^2 + a^2/4 + aD \sin(\theta)$$

$$d_1^2 = hM^2 + hS_1^2 = Ov^2 + (Oh - a/2)^2 = D^2 \cos^2(\theta) + (D \sin(\theta) - a/2)^2 = D^2 + a^2/4 - aD \sin(\theta)$$

On écrit la différence :

$$d_2^2 - d_1^2 = (d_2 - d_1)(d_2 + d_1) = \delta(d_2 + d_1) = 2 aD \sin(\theta)$$

$$\text{soit } \delta = 2 aD \sin(\theta) / (d_2 + d_1)$$

ou encore :

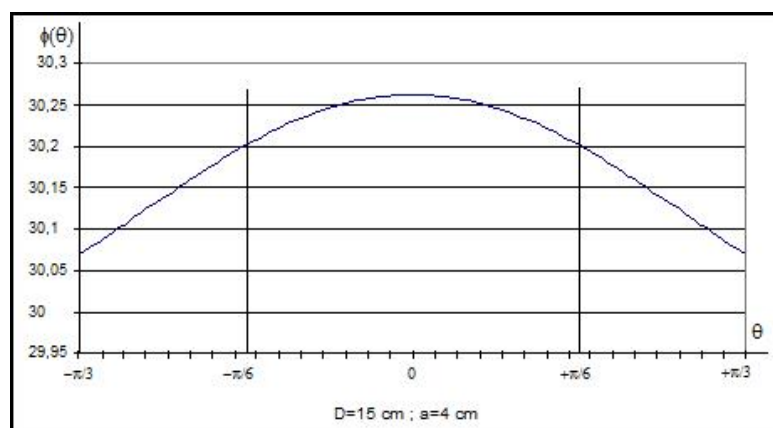
$$\delta = \frac{2aD \sin(\theta)}{\sqrt{D^2 + \frac{a^2}{4} + aD \sin(\theta)} + \sqrt{D^2 + \frac{a^2}{4} - aD \sin(\theta)}}$$

③ Approximations

L'étude informatique du dénominateur $\Phi(\theta)$ de δ , à l'aide d'ACTILAB, donne ses variations dans les conditions de l'expérience.

En ce qui concerne θ , celui-ci varie au maximum entre -60° et $+60^\circ$ ($-\pi/3$ et $+\pi/3$)

Pour les valeurs de a et D choisies, la courbe représentative de $\Phi(\theta)$ en fonction de θ donne le graphe suivant :



Par rapport à la valeur $2D=30$ cm, l'écart relatif $(\Phi(\theta)-2D)/2D$ est de $0,27/30$ soit $0,9\%$ au maximum lorsqu'on se trouve à l'abscisse angulaire $\theta=0^\circ$. L'écart relatif tombe à environ $0,21/30$ soit $0,7\%$ pour $\theta=+\pi/6$ ou $-\pi/6$ pour atteindre $0,6/30$ soit $0,2\%$ pour $\theta=+\pi/3$ ou $-\pi/3$.

On peut donc confondre $\Phi(\theta)$ avec $2D$.

L'expression de la différence de marche est alors : $\delta \approx a \sin(\theta)$

④ Nombre de maxima

Pour les maxima, on exprime

$$\delta = k \cdot \lambda \approx a \sin(\theta) \text{ soit } \sin(\theta) \approx \frac{k \cdot \lambda}{a} \quad (\lambda = 0,84 \text{ cm}).$$

Comme $\frac{\lambda}{a}$ est constant pour une valeur de a choisie, $\sin(\theta)$ est un multiple entier de $\frac{\lambda}{a}$.

Pour $a=4$ cm, on obtient $\frac{\lambda}{a} = \frac{0,84}{4} = 0,21$ et on a $\sin(\theta) = 0,21 \cdot k$.

Comme $-\pi/3 \leq \theta \leq +\pi/3$, il vient $-0,866 \leq \sin(\theta) \leq +0,866$,

soit $-0,866 \leq 0,21 \cdot k \leq +0,866$ ou encore $-4,12 \leq k \leq +4,12$

Les valeurs de k possibles pour les maxima d'amplitude sont :

$$k=-4, k=-3, k=-2, k=-1, k=0, k=1, k=2, k=3 \text{ et } k=4.$$

⑤ Nombre de minima

Pour les minima, on a $\delta = (2k+1) \cdot \frac{\lambda}{2} \approx a \sin(\theta)$ soit $\sin(\theta) \approx \frac{(2k+1) \cdot \lambda}{2a}$

Comme $\frac{\lambda}{2a}$ est constant pour une valeur de a choisie, $\sin(\theta)$ est un multiple entier impair de $\frac{\lambda}{2a}$

Pour $a=4$ cm, on obtient $\frac{\lambda}{2a} = \frac{0,84}{8} = 0,105$ et on a $\sin(\theta) = 0,105 \cdot (2k+1)$.

Comme $-\pi/3 \leq \theta \leq +\pi/3$, il vient $-0,866 \leq \sin(\theta) \leq +0,866$,

soit $-0,866 \leq 0,105 \cdot (2k+1) \leq +0,866$ ou encore $-4,63 \leq k \leq +3,63$

Les valeurs de k possibles pour les minima d'amplitude sont :

$$k=-4, k=-3, k=-2, k=-1, k=0, k=1, k=2, \text{ et } k=3$$

⑥ Cas des angles petits

Dans le cas où $\sin(\theta)$ est petit (pour $\theta=25^\circ$ environ de part et d'autre de la position M_0),

- on obtient pour les maxima : $\theta \approx \sin(\theta) = k \cdot \lambda/a = 0,21 \cdot k$, pour $k=-2, k=-1, k=0, k=1$ et $k=2$
 $\theta_{-2} = -24,2^\circ ; \theta_{-1} = -12,1^\circ ; \theta_0 = 0^\circ ; \theta_1 = 12,1^\circ ; \theta_2 = 24,2^\circ$
- on obtient pour les minima : $\theta \approx \sin(\theta) = (2k+1) \cdot \lambda/2a = 0,105 \cdot (2k+1)$, pour $k=-2, k=-1, k=0, k=1$ et $k=2$
 $\theta_{-2} = -18,4^\circ ; \theta_{-1} = -6^\circ ; \theta_0 = 6^\circ ; \theta_1 = 18,4^\circ ; \theta_2 = 31,7^\circ$

❖ Comparaison des résultats expérimentaux et des résultats théoriques

Les mesures expérimentales obtenues sont en bon accord avec les résultats théoriques.

En ce qui concerne le nombre de maxima et le nombre de minima, les valeurs négatives extrêmes n'ont pu être obtenues mais les 8 autres ont été observées.

Pour les angles petits, l'écart des positions expérimentales avec les valeurs théoriques est faible :

Maximum expérimental (en °)	-18	-6	6	18	32
Maximum théorique (en °)	-18,4	-6	6	18,4	31,7
Minimum expérimental (en °)	-24	-12	0	11,5	24
Minimum théorique (en °)	-24,2	-12,1	0	12,1	24,2

4 Service après-vente

La garantie est de 2 ans, le matériel doit être retourné dans nos ateliers.
Pour toutes réparations, réglages ou pièces détachées, veuillez contacter :

JEULIN – S.A.V.
468 Rue Jacques Monod
CS 21900
27019 EVREUX CEDEX France

0 825 563 563*

* 0,15 € TTC/min. à partir un téléphone fixe

COMPLEMENT MODUSON

FICHES DE TRAVAUX PRATIQUES



Documents pour les élèves



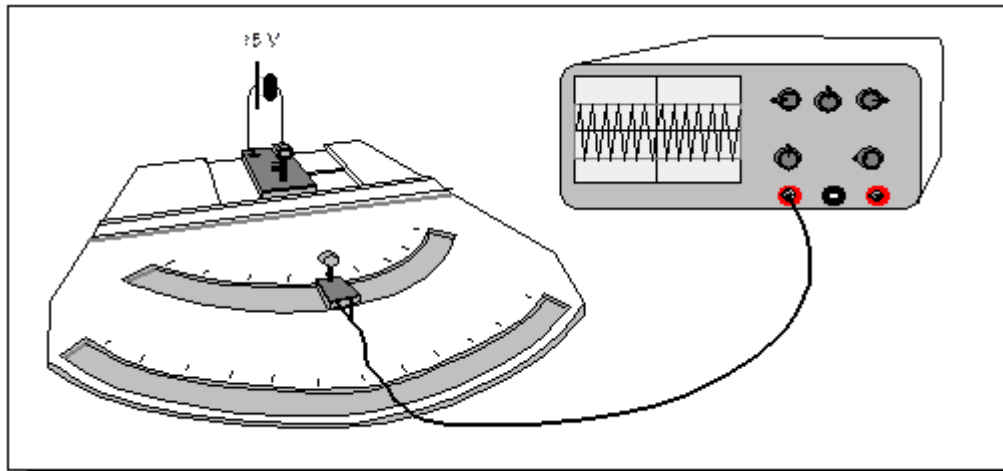
1 Directivité des ultrasons

Introduction : Le but de la manipulation est de montrer l'effet directif des ultrasons et de définir la notion de « rayon sonore ».

1.1 1^{ère} étape : le montage

① On réalise le montage représenté ci-dessous.

L'émetteur est relié à une alimentation de 15 V. Réglé au maximum d'émission, il est mis en fonctionnement sur le mode *Continu*. Il est placé au centre O de l'empreinte en forme d'arc de cercle et il émet des ultrasons vers le zéro de la graduation.



Le récepteur est placé dans l'empreinte circulaire la plus proche de l'émetteur (le rayon est 15 cm) où il peut se déplacer. Il est relié par un câble blindé à l'entrée verticale de l'oscilloscope.

② **Matériel :**

Faire la liste du matériel utilisé

③ **Schéma du montage : faire le schéma du dispositif**

1.1 2^{ème} étape : le protocole

❖ Directivité des ultrasons

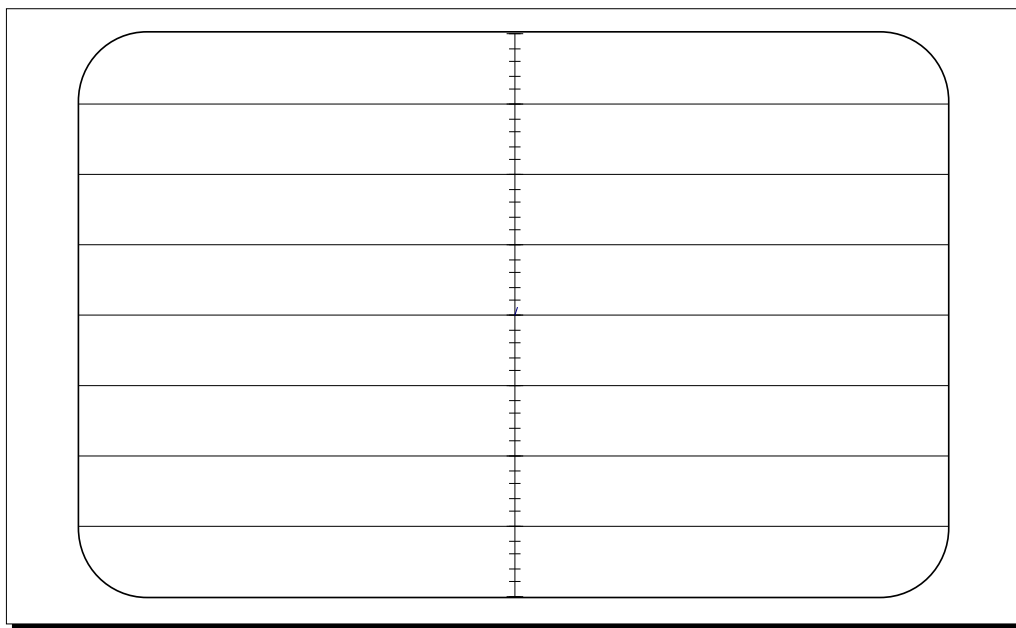
① Recherche du maximum de réception :

Il est obtenu en recherchant la position du récepteur sur l'arc de cercle qui donne la plus grande amplitude du signal capté.

Indiquer les réglages utilisés pour l'oscilloscope :

- l'amplification verticale
- le balayage horizontal

Faites ci-dessous le schéma de ce qu'on voit sur l'écran de l'oscilloscope.



Pour quelle valeur de l'angle obtient-on le maximum d'amplitude du signal capté ?

② Cône d'émission sonore :

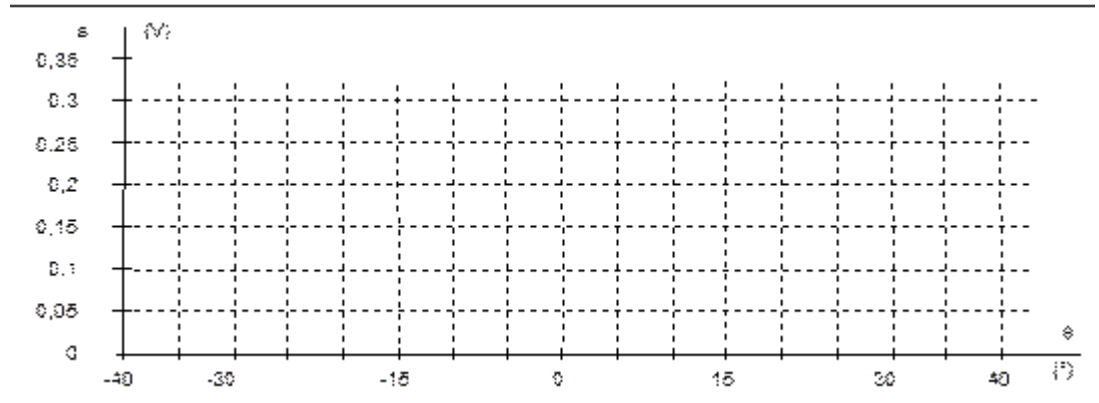
Les ultrasons sont émis par l'émetteur dans une zone qu'on veut déterminer.

Notez dans le tableau les valeurs a de l'amplitude du signal reçu pour les valeurs θ de l'angle qui repère la position du récepteur d'ultrasons

(θ est négatif à gauche du zéro de la graduation et positif à droite).

a en V																	
θ en °	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40

③ Représentez le graphique correspondant ci-dessous :



④ Incertitude de la mesure :

Déterminez la variation minimale de l'angle pour lequel l'amplitude observée sur l'écran de l'oscilloscope est la plus grande.

$\Delta\theta \approx \dots\dots\dots$

❖ Conclusion :

Les ultrasons sont-ils directifs ?

Quel est l'angle du cône d'émission d'un émetteur ?

Représentez le cône d'émission sur le schéma ci-dessous.

Remarque : On peut recommencer l'expérience en utilisant la deuxième empreinte pour le déplacement du récepteur.

1.2 3^{ème} étape : l'exploitation des résultats

❖ Notion de direction sonore ou de « rayon sonore » :

On appelle « rayon sonore » la direction d'émission, de l'émetteur au récepteur, qui correspond au maximum d'amplitude du signal reçu par le récepteur. Une flèche représente son sens.

❖ Représentation du rayon sonore

Représentez ce rayon sur le schéma ci-dessous.

E ☐ Emetteur

R ☐ Récepteur

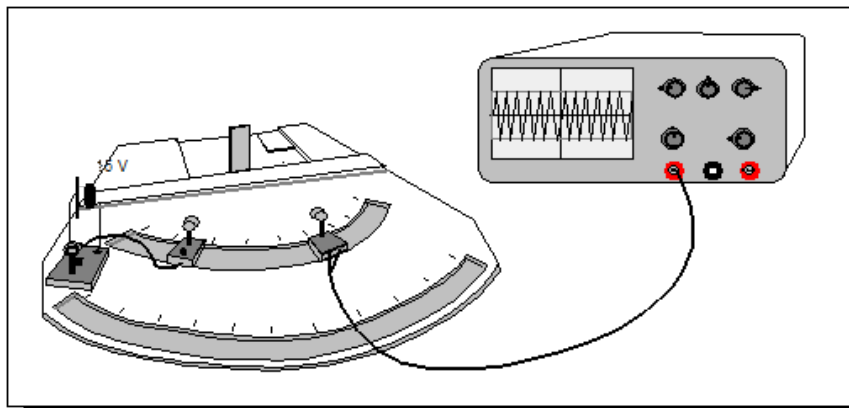
Réflexion des ultrasons

Introduction : Le but de la manipulation est de vérifier la loi de la réflexion. On observera également l'influence du phénomène d'absorption sur les ondes ultrasonores.

2.1 1^{ère} étape : le montage

❖ On réalise le montage représenté ci-dessous.

Le plan réfléchissant (miroir) à semelle magnétique est placé au centre des empreintes en arcs de cercles. Un émetteur et un récepteur à ultrasons sont disposés comme l'indique le schéma. On peut utiliser l'émetteur principal de MODUSON mais sa base, trop grande, ne s'ajuste pas dans l'empreinte du support moulé de PVC. *Il est préférable d'utiliser l'émetteur 2 complémentaire* qui a la taille convenable, au détriment d'un montage un peu plus encombrant. L'émetteur 2 est placé sur la graduation 30° (par exemple), vers la gauche.

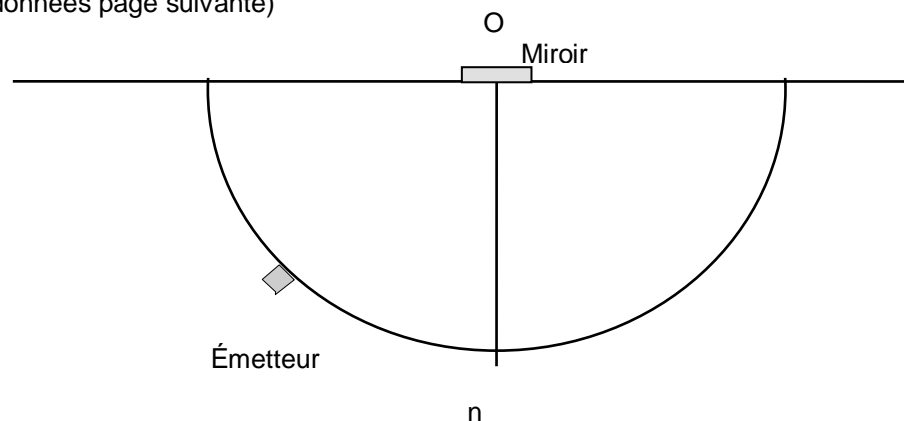


L'émetteur 2 est relié à l'émetteur principal. Celui-ci est alimenté par une alimentation de 15 V et ses interrupteurs sont placés en positions Continu pour l'un et Arrêt pour l'autre (son élément émetteur est alors coupé et l'émetteur 2 est seul alimenté). Le récepteur est placé dans l'empreinte circulaire la plus proche de l'émetteur (de rayon 15 cm).

❖ **Matériel :**

Faire la liste du matériel utilisé

c) Schéma du montage : complétez le schéma ci-dessous (en vous aidant des définitions données page suivante)



2.1 2^{ème} étape : le protocole

❖ Définitions

Sur le schéma précédent, on appelle :

- On la normale au miroir
- i l'angle d'incidence, entre le rayon sonore incident EO et la normale au miroir On
- r l'angle de réflexion, entre le rayon sonore réfléchi OR et la normale au miroir On

❖ Mesures :

On donne à i différentes valeurs en déplaçant l'émetteur dans sa glissière et on cherche la position à donner au récepteur pour obtenir la direction du rayon réfléchi sur le miroir. Comment repérez-vous cette direction ?

Quels sont les réglages de l'oscilloscope ?

- pour l'amplification verticale :
- pour le balayage horizontal :

Indiquez comment vous procédez pour réaliser une mesure.

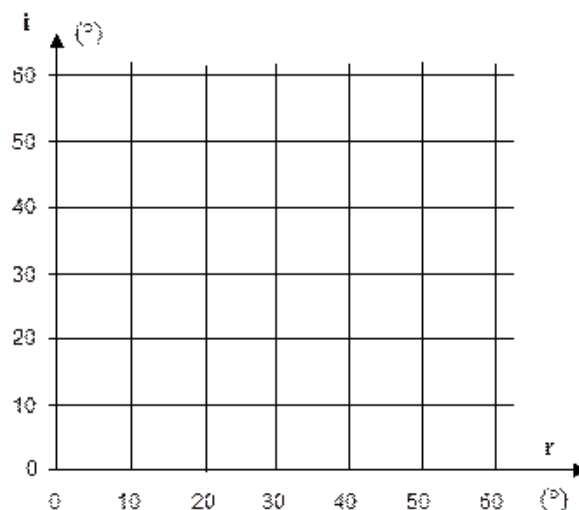
Remarque : On constate l'existence d'autres maxima (d'amplitudes plus faibles). Ceci est dû à des phénomènes complexes appelés diffraction.

Notez les résultats dans le tableau ci-dessous :

i en °	10	15	20	25	30	40	50	60
r en °								

❖ Tracez la courbe correspondante sur le graphique ci-dessous :

Représentation graphique de la fonction $i=f(r)$



Observations de la courbe :

Quelle est la nature de la courbe ?

❖ Absorption des ultrasons :

Expérience complémentaire.

On retourne le miroir de façon à présenter la surface recouverte de mousse au faisceau d'ultrasons provenant de l'émetteur.

On essaie, pour quelques valeurs de l'angle i , d'obtenir des valeurs de r correspondantes.

Que constatez-vous quant au signal capté par le récepteur ?

2.2 3^{ème} étape : l'exploitation des résultats

❖ Loi de la réflexion

Notez la loi de la réflexion qui peut être déduite des mesures réalisées.

❖ Absorption des ultrasons

Quelle conclusion pouvez-vous donner ?

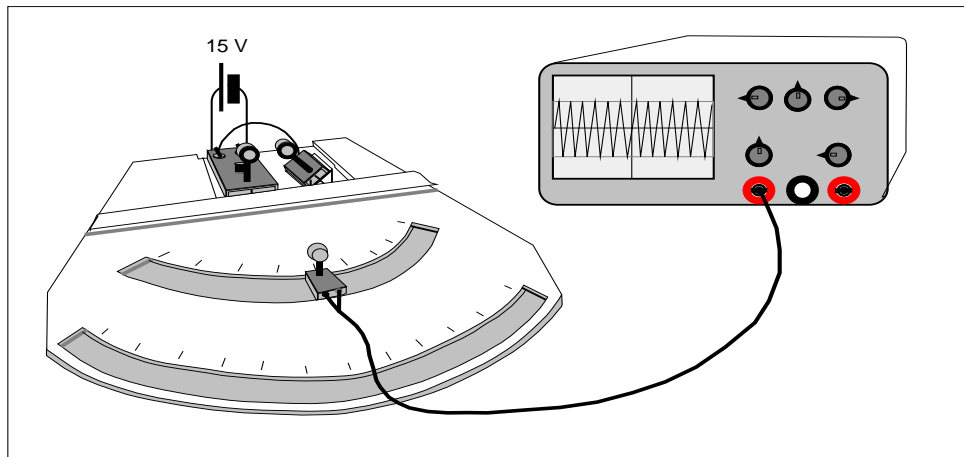
Remarque : On peut recommencer les expériences en utilisant la deuxième empreinte pour le déplacement de l'émetteur ou(et) du récepteur.

3 Interférences des ultrasons

Introduction : Le but de la manipulation est de réaliser une expérience d'interférences avec des ultrasons et de comparer les mesures expérimentales obtenues aux résultats théoriques déduits du modèle ondulatoire du phénomène.

3.1 1^{ère} étape : le montage

❖ On réalise le montage représenté ci-dessous.



L'émetteur 2 est placé sur un support magnétique incliné à 45°. Cette position particulière est nécessaire pour atteindre des distances faibles entre les deux émetteurs. Ainsi, de cette façon, ils se touchent pour leur plus faible écartement (2 cm).

L'émetteur 2 est relié à l'émetteur principal. Celui-ci est alimenté par une alimentation de 15 V et ses interrupteurs sont placés en position *Continu* pour l'un et *Arrêt* pour l'autre (son élément émetteur est alors coupé et l'émetteur 2 est seul alimenté).

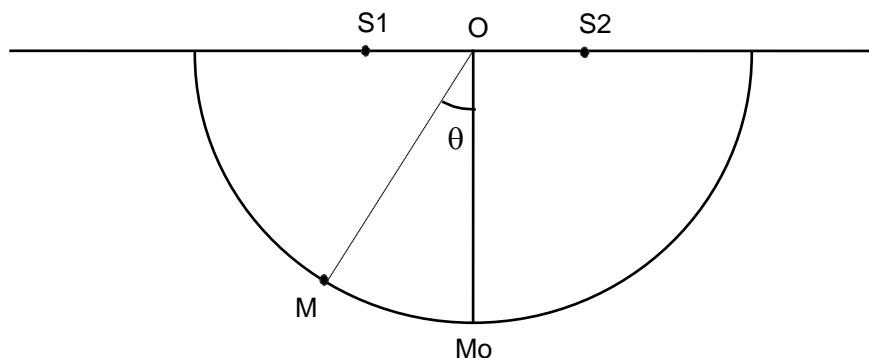
Le récepteur est placé dans l'empreinte circulaire la plus proche de l'émetteur (de rayon 15 cm) où il peut se déplacer. Il est placé à la graduation zéro. Il est relié par un câble blindé à l'entrée verticale de l'oscilloscope.

❖ **Matériel :**

Faites la liste du matériel utilisé.

❖ **Complétez le schéma du montage**

(Tracez les 2 rayons sonores qui atteignent un point M quelconque)



3.1 2^{ème} étape : le protocole

❖ Réglage préliminaire des émetteurs

- L'émetteur principal est supposé réglé au maximum d'émission. Il est relié à l'émetteur 2 MODUSON,
- Les deux émetteurs, alimentés par le même générateur de signaux, constituent des sources synchrones. Il est cependant nécessaire, pour leur donner la même amplitude, de procéder aux réglages suivants :

1. Mettre les deux émetteurs en place sur l'empreinte magnétique du support moulé de PVC. Leur donner un écartement de 2 cm par exemple (le plus faible). Placer un récepteur dans une des empreintes en arc de cercle, en face de la valeur d'angle 0 (le récepteur est alors placé sur la médiatrice du segment qui joint les deux récepteurs et il est équidistant de chacun d'eux) et le relier à l'entrée verticale d'un oscilloscope.

2. Débrancher l'émetteur 2 et observer le signal émis par l'émetteur principal et capté par le récepteur. Noter la valeur de l'amplitude. Brancher l'émetteur 2 et placer le commutateur de l'émetteur principal sur la position *Arrêt* (dans cette position, le composant émetteur est coupé mais pas le générateur qui continue à fournir le même signal sur la prise BNC et donc à l'émetteur 2), seul l'émetteur 2 est alors actif. A l'aide du potentiomètre qu'il porte, régler l'amplitude du signal reçu à la même valeur que celle relevée précédemment.

3. Basculer le commutateur de l'émetteur principal dans la position *Marche* : les deux émetteurs fonctionnent alors en même temps et ont la même amplitude. Ceci se traduit par un maximum capté par le récepteur (un léger ajustement de sa position est alors parfois nécessaire pour l'obtenir, de 1 à 2 degrés).

❖ Mesures :

Quels sont les réglages de l'oscilloscope ?

- pour l'amplification verticale :
- pour le balayage horizontal :

Choisissez la distance a entre les 2 émetteurs et le rayon D de l'arc de déplacement du récepteur

- $D =$
- $a =$

Déplacez le récepteur et observez les maxima et les minima de l'amplitude du signal capté par le récepteur et observé sur l'écran de l'oscilloscope.

Quelle explication donnez-vous à cette observation ?

Comment procéder pour réussir de bonnes mesures ?

Remarque : Les minima sont plus aisément repérables que les maxima. Cependant, les minima ne sont pas nuls et sont de moins en moins marqués? Quelle explication donnez-vous à ce constat ?

❖ **Notez les résultats des mesures dans le tableau ci-dessous :**

Les angles sont notés algébriquement par rapport au zéro de la graduation.

θ minimum									
<i>écart</i> <i>minimum</i>									
θ maximum									
<i>écart</i> <i>maximum</i>									

Quelle variation de l'angle θ , d'un maximum au maximum voisin (de même que d'un minimum au minimum suivant) mesurez-vous ? Dans quel domaine d'angle est-ce vérifié ?

Quel est le nombre de maxima et de minima observés :

- maxima
- minima

Que dire de l'écart entre les maxima et les minima et de leur alternance ?

3.2 3^{ème} étape : l'exploitation des résultats

❖ **Étude théorique du phénomène d'interférences**

① **On fait appel au modèle de la superposition des ondes émises par les deux sources synchrones.**

La longueur d'onde est λ .

Les ondes issues des sources S_1 et S_2 présentent en un point M quelconque une différence de marche $\delta = d_2 - d_1$.

Qu'observez-vous si les deux ondes arrivent *en phase* au point M ?

La relation qui traduit cette condition est ; $\delta =$

Qu'observez-vous si les deux ondes arrivent *en opposition de phase* au point M ?

La relation qui traduit cette condition est ; $\delta =$

② Calcul de la différence de marche

Dans le schéma précédent du montage, on exprime la différence de marche $\delta = d_2 - d_1$.

d_2 et d_1 sont les hypoténuses de deux triangles rectangles (MhS_1 et MhS_2).

Exprimez les carrés de ces hypoténuses :

$$d_2^2 =$$

$$d_1^2 =$$

On écrit la différence : $d_2^2 - d_1^2 = (d_2 - d_1)(d_2 + d_1) =$

vérifiez que :

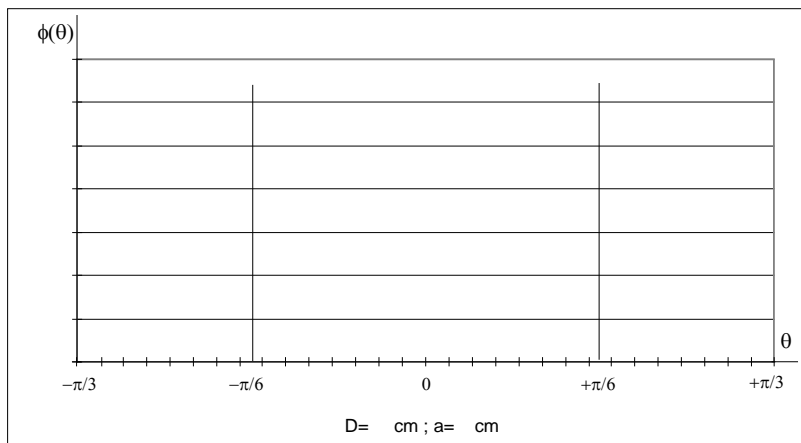
$$\delta = \frac{2aD \sin(\theta)}{\sqrt{D^2 + \frac{a^2}{4} + aD \sin(\theta)} + \sqrt{D^2 + \frac{a^2}{4} - aD \sin(\theta)}} *$$

③ Approximations

L'étude informatique du dénominateur $\Phi(\theta)$ de δ , à l'aide d'ACTILAB, donne ses variations dans les conditions de l'expérience.

Dessinez la courbe représentative de $\Phi(\theta)$ en fonction de θ :

(θ varie au maximum entre -60° et $+60^\circ$ ($-\pi/3$ et $+\pi/3$))



Calculez l'écart relatif $(\Phi(\theta) - 2D)/2D$ pour les différentes positions :

- $\theta = 0$:
- $\theta = +\pi/6$ ou $-\pi/6$:
- $\theta = +\pi/3$ ou $-\pi/3$:

Quelle conclusion en tirez-vous ?

Quelle est l'expression approchée de la différence de marche: $\delta \approx$

④ Calcul du nombre de maxima

Quelle est l'expression de δ pour les maxima ? (avec $\lambda=0,84$ cm).

Comme $\frac{\lambda}{a}$ est constant que dire de $\sin(\theta)$?

Calculez les valeurs numériques de k pour $-\pi/3 \leq \theta \leq +\pi/3$.

Les valeurs de k possibles pour les maxima d'amplitude sont : k=

⑤ Nombre de minima

Quelle est l'expression de δ pour les minima ? (avec $\lambda=0,84$ cm).

Comme $\frac{\lambda}{2a}$ est constant que dire de $\sin(\theta)$?

Calculez les valeurs numériques de k pour $-\pi/3 \leq \theta \leq +\pi/3$.

Les valeurs de k possibles pour les minima d'amplitude sont :

k=

⑥ Cas des angles petits

Dans le cas où $\sin(\theta)$ est petit (pour $\theta=25^\circ$ environ de part et d'autre de la position M_0 , on peut confondre l'angle et son sinus : $\theta \approx \sin(\theta)$)

- calculez les angles correspondant aux maxima observables (notez l'indice de θ):

$\theta =$ $\theta =$ $\theta =$

- calculez les angles correspondant aux minima observables (notez l'indice de θ):

$\theta =$ $\theta =$ $\theta =$

❖ Comparaison des résultats expérimentaux et des résultats théoriques

Les mesures expérimentales obtenues sont-elles en accord avec les résultats théoriques ?

Le nombre de maxima et le nombre de minima correspondent-ils à ceux qui ont été observés ?

Reportez et comparez dans le tableau ci-dessous les valeurs expérimentales et théoriques correspondant à des angles petits.

Conclusion

Maximum expérimental (en °)					
Maximum théorique (en °)					
Minimum expérimental (en °)					
Minimum théorique (en °)					

1 Description

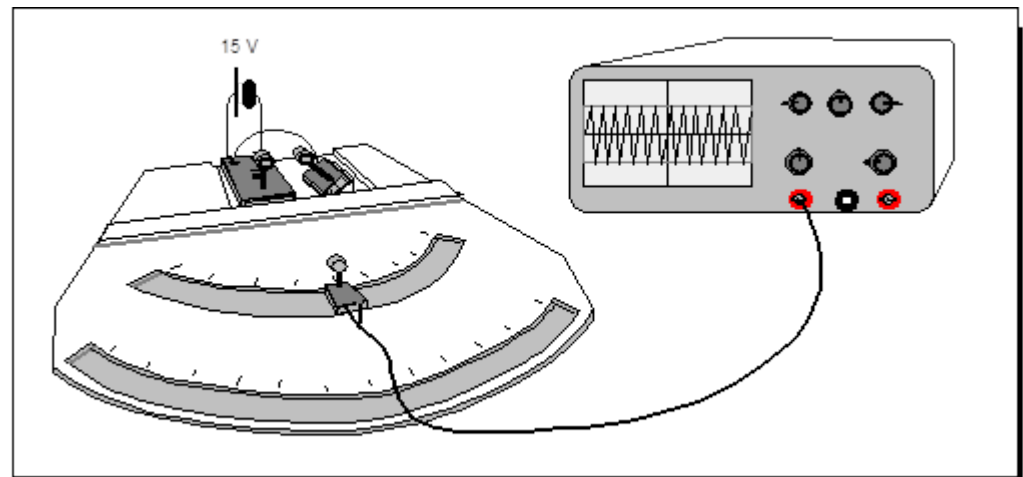
1.1 Moduson table

This is a moulded PVC tray with two parts that fit into each other:

- The first part functions as a support for the ultrasonic transmitters: a recess allows the accurate positioning of the transmitters at various locations. These positions are identified by silkscreen-printed marks and they correspond to distances of 2, 4 and 8 cm between the two transmitters, respectively, centred with respect to the midline of the instrument.

In order to maintain these positions stationary, the bottom of the recess and the bottom of the transmitters are covered with an adhesive magnetic sole.

- The second part has two arc-shaped recesses with centre-zero graduations in degrees in which the ultrasonic receiver can be moved. The arc radii are 15cm and 30cm, respectively.



View of the MODUSON system (interference experiment)

2 Installation

2.1 Required additional equipment

- | | |
|---------------------------------------|----------------|
| - MODUSON ultrasonic transmitter | P/N 222 027 |
| - Or MODUSON 2 ultrasonic transmitter | P/N 222 076 |
| - MODUSON ultrasonic transmitter 2 | P/N 223 009 |
| - MODUSON ultrasonic receiver | P/N 222 028 |
| - Or MODUSON 2 ultrasonic receiver | P/N 222 078 |
| | |
| - Power supply model Evo 2 R15F5 | P/N 281 488 |
| - Oscilloscope | P/N 291 125 |
| - | Or P/N 291 123 |
| - | Or P/N 291 105 |

2.2 Recommended additional equipment

Banana-to-BNC adapter cable

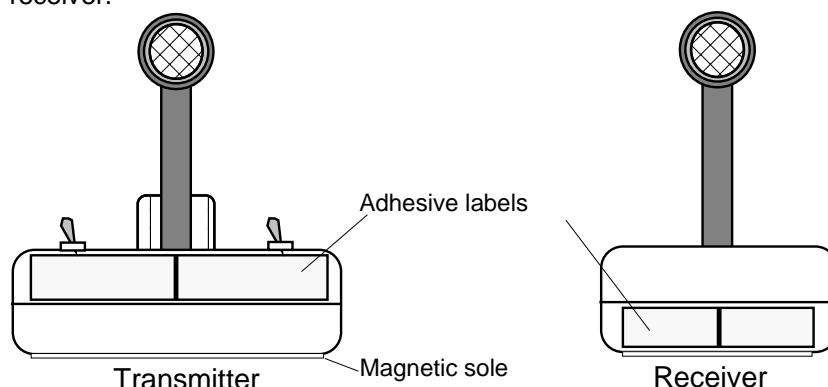
P/N 283 328

2.3 Setup

❖ A few changes must be made prior to installation:

Adhere the adhesive magnetic sole on the bottom of the MODUSON transmitter (P/N 222 027 or P/N 222 076) and place the self-adhesive label (12 mm x 63 mm) representing a white line on the front and in the upper part of the transmitter.

On one of the MODUSON receivers (P/N 222 028 or P/N 222 078), adhere the self-adhesive label (8 mm x 32 mm) representing a white line on the front and in the lower part of the receiver.



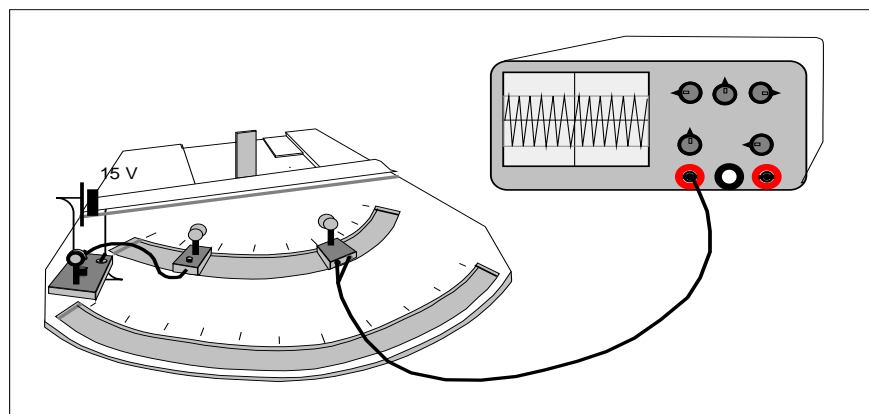
In both cases, these labels are indexes for locating the position of the transmitter or the position of the receiver inserted in their recesses on the moulded PVC base.

❖ MODUSON requires the use of a 15V stabilised power supply.

Note: A built-in protection circuit prevents any instrument damage in case of wrong polarity connection of the power supply.

❖ MODUSON Complement can be used to perform two experiments:

In fifth form for the study of reflection. In this experiment, the mirror with a magnetic base is used together with one transmitter and one receiver. The transmitter (P/N 222 027 or 222 076) can be used directly but its base is too large and does not fit into the recess in the moulded PVC table. It is preferable to use the complementary transmitter 2, which has a suitable size, at the expense of a slightly bulkier setup.



In scientific upper sixth forms, the study of interference phenomena requires the simultaneous use of the two (main and secondary) transmitters. The transmitter 2 is connected by means of a shielded cable to the BNC output of the main transmitter that delivers a common and synchronous signal for the two transmitters. See the figure on page 1.

3 Operation

3.1 Ultrasonic reflection and absorption

These experiments are proposed as a complement to the various experiments that can be performed with the MODUSON system.

The main transmitter is used in the *Continuous* position. It must be set beforehand at resonance via the *Frequency* knob so that a signal with the highest possible amplitude is transmitted. The BNC connector of the transmitter is connected to the MODUSON transmitter 2 placed inside the circular recess on the moulded table. This transmitter sends an ultrasonic wave towards a metallic mirror located at the middle of the recess.

The MODUSON receiver is also placed inside the circular recess. It senses the reflected signal. The maximum amplitude of the received signal is found by observation on the screen of the oscilloscope to which the receiver is connected.

The setup demonstrates or verifies the equality of the angle of incidence and of the angle of reflection.

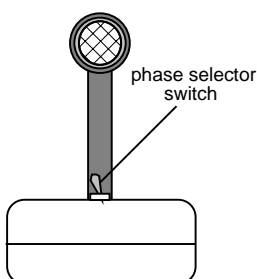
If the mirror is turned over, the reflective surface is replaced by plastic foam. Then the incident signal is entirely absorbed.

Note: The reflection of ultrasonic waves on the mirror goes along with a diffraction of the reflected signal. Owing to the small width of the mirror (4 cm), this phenomenon is not inconvenient: the centre peak is sharp enough and the secondary peaks are sufficiently weak and away from the main peak so that measurements can be easily performed in fifth forms.

3.2 Ultrasonic interference phenomena

The main transmitter (P/N 222 027 or 222 076) is assumed to be set at its maximum transmission level. It is connected to the MODUSON transmitter 2.

- The two transmitters connected to the same signal generator are synchronous sources. However, the following adjustments are required to give them an identical amplitude:
 1. Install the two transmitters in the magnetic recess on the moulded PVC table. Place them at a distance of e.g. 2 cm from each other (smallest distance). Place a receiver in one of the arc-shaped recesses opposite the zero-degree angle value (then the receiver is located on the median of the segment joining the two receivers and it is equidistant between them) and connect it to the vertical input of an oscilloscope.
 2. Disconnect the transmitter 2 and observe the signal transmitted by the main transmitter and sensed by the receiver. Record the amplitude value. Connect the transmitter 2 and switch the main transmitter *OFF* (in this position, the transmitter member is off but the generator is not and continues delivering the same signal on the BNC connector, hence to the transmitter 2), then only the transmitter 2 is active. Using the transmitter potentiometer, trim the amplitude of the received signal so that the amplitude value is identical to the previous reading.
 3. Switch the main transmitter *ON*: then the two transmitters operate simultaneously and they have the same amplitude. This produces a peak that is sensed by the receiver (a slight position adjustment by 1–2 degrees may be necessary to obtain this peak).



Note: Depending on the main transmitter and transmitter 2 used, the signal received at point 0 by the receiver when the two transmitters have identical amplitude settings may happen to yield a zero minimum instead of a peak. Then the two transmitters vibrate in opposition of phase instead of vibrating in phase as would be expected. To put them in phase, activate the phase selector switch.

- Once the receiver has been installed, its displacement inside the arc-shaped recess will produce a succession of peaks and minima having the amplitude of the signal sensed by the receiver and observed on the oscilloscope screen.

This is the series of the antinodes and nodes corresponding to the constructive and destructive interferences that appear in the vicinity of the two synchronous sources used.

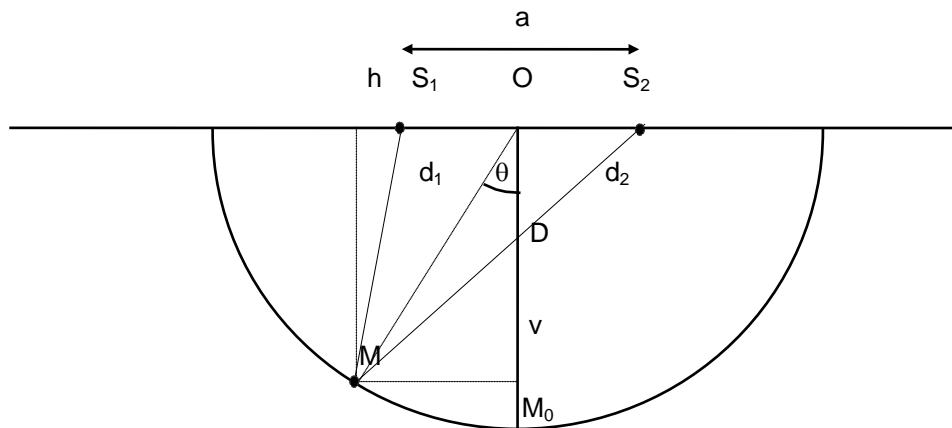
- Select the distance a between the 2 transmitters (3 values are marked: $a=2$ cm, $a=4$ cm and $a=8$ cm, but any other value from 2 to 4 cm can be measured by means of a 20-cm rule) and the radius D of the receiver displacement arc (2 radii can be used: $D=15$ cm and $D=30$ cm). The measurement of the angular X-axis values θ of the consecutive minima (or peaks) yields the value i of the interfringe distance and allows the verification of its expression versus a and D with a fairly good accuracy.

$$i = \frac{\lambda \cdot D}{a}$$

4 Theoretical study of interference phenomena

❖ Ultrasonic interference with MODUSON

- Theoretical study
 - The theoretical top-view diagram is as follows. The receiver M moves on the arc of circle with radius $OM_0=D$. The two synchronous sources S_1 and S_2 are spaced by a distance $S_1S_2=a$



For an arbitrary receiver position M , the difference in the courses of the ultrasonic waves from of S_1 and S_2 is $\delta = d_2 - d_1$

d_2 and d_1 are the hypotenuses of two rectangular triangles. The following can be expressed:

$$d_2^2 = hM^2 + hS_2^2 = Ov^2 + (Oh + a/2)^2 = D^2 \cos^2(\theta) + (D \sin(\theta) + a/2)^2 = D^2 + a^2/4 + aD \sin(\theta)$$

$$d_1^2 = hM^2 + hS_1^2 = Ov^2 + (Oh - a/2)^2 = D^2 \cos^2(\theta) + (D \sin(\theta) - a/2)^2 = D^2 + a^2/4 - aD \sin(\theta)$$

$$d_2^2 - d_1^2 = (d_2 - d_1)(d_2 + d_1) = \delta(d_2 + d_1) = 2 aD \sin(\theta)$$

$$\text{or } \delta = 2 aD \sin(\theta) / (d_2 + d_1)$$

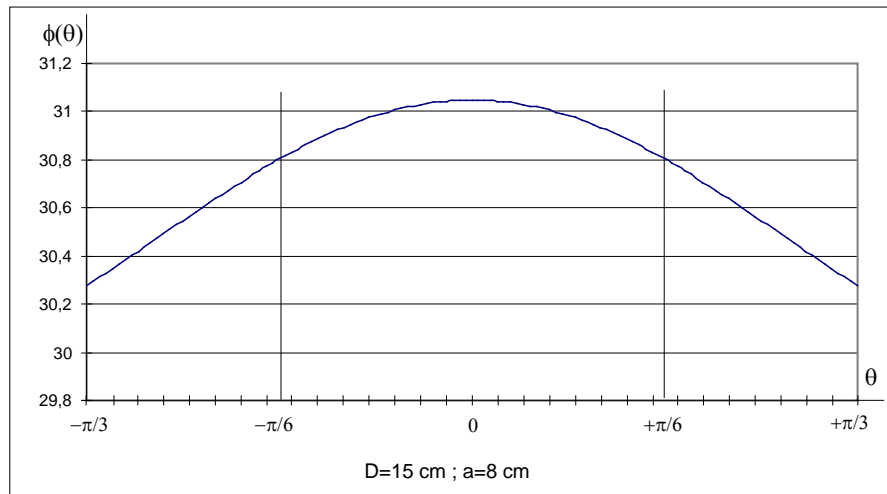
or else:

$$\delta = \frac{2aD \sin(\theta)}{\sqrt{D^2 + \frac{a^2}{4} + aD \sin(\theta)} + \sqrt{D^2 + \frac{a^2}{4} - aD \sin(\theta)}}$$

- Approximations
 - The computerised study of the denominator $\Phi(\theta)$ of δ by means of ACTILAB or of a spreadsheet, e.g. EXCEL, yields the denominator variations in the experimental conditions.
 - varies at most between -60 deg. and $+6$ deg. ($-\pi/3$ and $+\pi/3$)

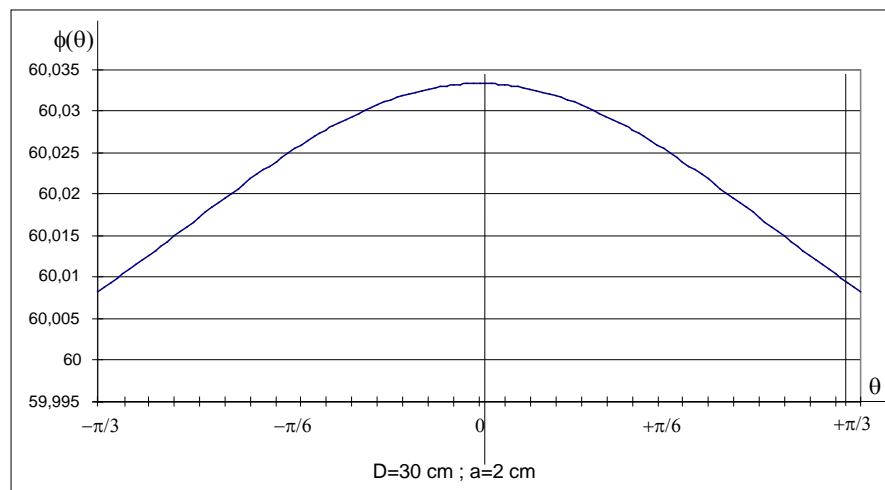
Note: The graphical study can also be performed by using a graphic calculator.

In worst-case conditions, the values of a and D are $a=8$ cm and $D=15$ cm. Our working domain is comprised between these limits and in this case. The representative curve of $\Phi(\theta)$ versus θ yields the following graph:



- For the value $2D=30$ cm, the relative deviation $(\Phi(\theta)-2D)/2D$ is $1.05/30$ or 3.5% maximum at the angular abscissa $\theta=0$. The relative deviation drops to approx. $0.8/30$ or 2.7% for $\theta=+\pi/6$ or $-\pi/6$ and to $0.3/30$ or 1% for $\theta=+\pi/3$ or $-\pi/3$.

In worst-case conditions, the values of a and D are, $a=2$ cm and $D=30$ cm. Then the representative curve of $\Phi(\theta)$ versus θ yields the following graph:

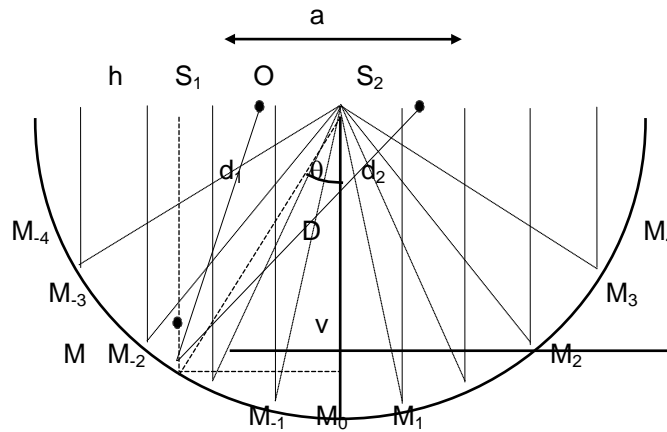


- For the value $2D=60$ cm, the relative deviation is $0.033/60$ or 0.055% maximum at the angular abscissa $\theta=0$.
- The conclusion is that $2D$ can be reasonably substituted for $\Phi(\theta)$ with an error that remains acceptably low.

$$\delta \approx a \sin(\theta)$$

- Expression of the interfringe distance
 - Constructive interferences are obtained when the two waves are in phase, i.e. when $\delta = k \cdot \lambda$ (λ is the wavelength of the ultrasonic signal, here $\lambda = 0.84$ cm).
 - Therefore we have $k \cdot \lambda \approx a \sin(\theta)$ or $\sin(\theta) \approx \frac{k \cdot \lambda}{a}$. Since $\frac{\lambda}{a}$ is constant for a given value of a , $\sin(\theta)$ is an integral multiple of $\frac{\lambda}{a}$.
 - For $a = 4$ cm, we obtain $\frac{\lambda}{a} = \frac{0.84}{4} = 0.21$ and on a $\sin(\theta) = 0.21 \cdot k$.
 - Since $-\pi/3 \leq \theta \leq +\pi/3$, we have $-0.866 \leq \sin(\theta) \leq +0.866$, or
 - $-0.866 \leq 0.21 \cdot k \leq +0.866$ or else $-4.12 \leq k \leq +4.12$,
 - which gives the possible values for k and the corresponding amplitude peaks:
 $k = -4, k = -3, k = -1, k = 0, k = 1, k = 2, k = 3$ and $k = 4$.

On the diagram below, the peaks are obtained by a simple trace when Oh meets the following condition:



Since $\sin(\theta) = Mv/OM = Oh/D$, then we must have: $Oh = \sin(\theta) \cdot D \approx \frac{k \cdot \lambda}{a} \cdot D$.

If we assume $D = 15$ cm, $a = 4$ cm and $\lambda = 0.84$ cm, the possible values for k are: $Oh = 3.15 \cdot k$, or
 $Oh_{-4} = -12.6$ cm, $Oh_{-3} = -9.45$ cm, $Oh_{-2} = -6.3$ cm, $Oh_{-1} = -3.15$ cm, $Oh_0 = 0$.
 $Oh_1 = 3.15$ cm, $Oh_2 = 6.3$ cm, $Oh_3 = 9.45$ cm, $Oh_4 = 12.6$ cm.

These values allow the plotting of an array of straight lines parallel to OM_0 and equidistant by $\frac{\lambda D}{a}$. Their intersection with the arc of circle gives the locations of the peaks.

- Case of small angles

When $\sin(\theta)$ is small, i.e. a is large enough, we observe that the arcs M_0M_1 , M_1M_2 , M_0M_{-1} , $M_{-1}M_{-2}$ are equal if the deviation with respect to the position M_0 is not too great. In practice a value $a = 8$ cm can be used.

Let θ_i , which is the measure of the angle between two successive peaks. We have:

$$\theta_i \approx \sin(\theta_i) = \lambda/a = 0.105 \text{ or } \theta_i = 6^\circ.$$

This is well verified by the experiment.

Similar reasoning can be applied to the amplitude minima.

5 After-Sales Service

This material is under a two year warranty and should be returned to our stores in the event of any defects.

For any repairs, adjustments or spare parts, please contact:

JEULIN - TECHNICAL SUPPORT
468 Rue Jacques Monod
CS 21900
27019 EVREUX CEDEX FRANCE

+33 (0)2 32 29 40 50

EXPERIMENTS

- ① The first part of this compendium of experiments is for teacher use only. It gathers a few simple experiments performed by using the MODUSON Complement. The numerical results contained therein are derived from actual measurements. However these measurements were taken in arbitrary conditions and they may differ from the experimenter's personal measurements, therefore the following measurements are not examples.
The first experiments are meant for fifth form students.
The last experiment on interferences is meant for sixth form science students.
- ② The second part of the compendium carries on with the experiments of the first part in the form of lab work sheets that can be used as such by the teacher in his/her class or easily modified. Questions are often asked in the student's text intended: these questions often correspond to the notes relevant to the observations, the experimental results and the conclusions of the first part.
- ③ Precautions of use: The preliminary setting of the transmitters consists in obtaining the signal with the highest possible amplitude received by the receiver. This must be done prior to any experiment.

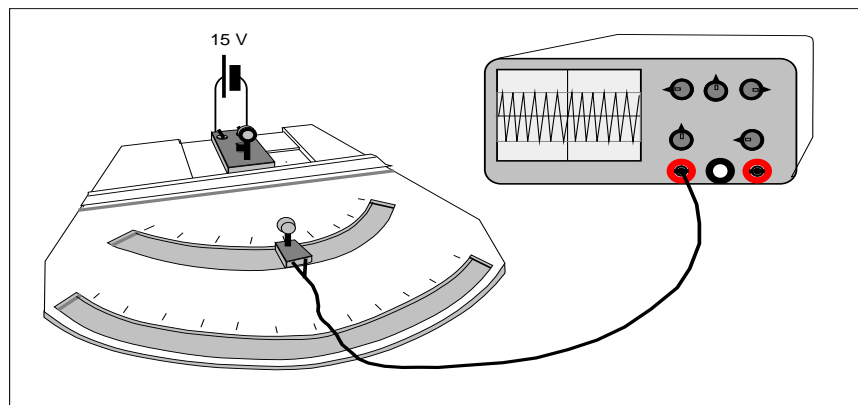
1 Directivity of ultrasonic waves

Introduction: The purpose of the experiment is to demonstrate the directional effect of ultrasonic waves and to define the notion of « sound radiation ».

1.1 Step 1: Setup

① The system is set up as follows:

The transmitter is connected to a 15V power source. It is set at the transmission maximum and powered up in *Continuous* mode. It is positioned at the centre O of the arc-shaped recess and it transmits ultrasonic waves towards the graduation zero.

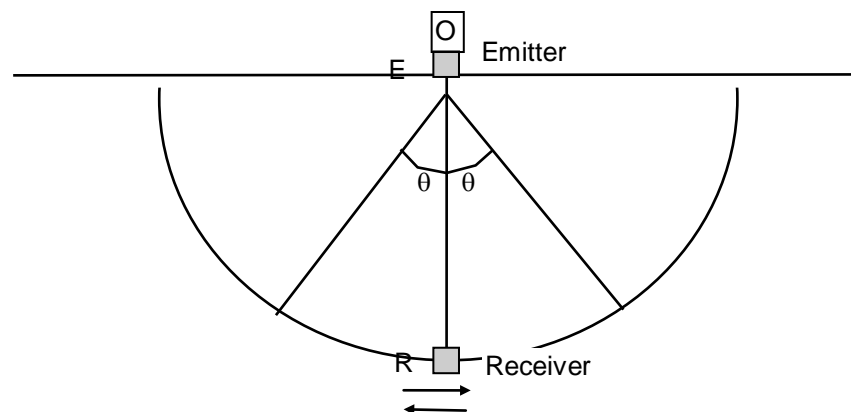


The receiver is positioned in the circular recess closest to the transmitter (radius = 15 cm) in which it can be moved. It is connected by means of a shielded cable to the vertical input of the oscilloscope.

② Material :

- MODUSON main ultrasonic transmitter
- One ultrasonic receiver
- MODUSON moulded PVC table (two elements)
- 0–15V stabilised variable power supply
- Oscilloscope
- Banana-to-BNC adapter cable

③ Setup schematic



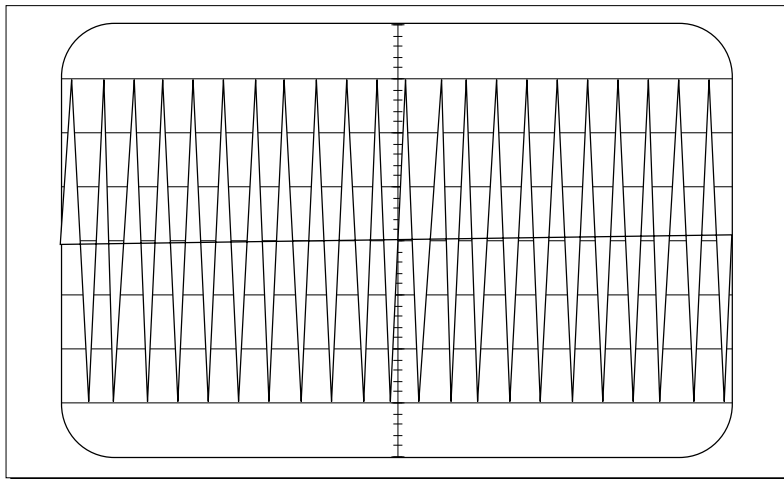
1.2 Step 2: Protocol

Directivity of ultrasonic waves

① Determination of the reception peak:

The reception peak is obtained by finding the receiver position on the arc of circle that yields the highest amplitude for the received signal.

The oscilloscope settings are 0.1 V/div for vertical amplification and 0.1 msec/div for horizontal sweep. The periodical signal is then very narrow and its amplitude is better readable. The amplitude is 0.3 V.



The amplitude peak of the signal sensed by the receiver corresponds to the zero graduation.

② Sound transmission cone:

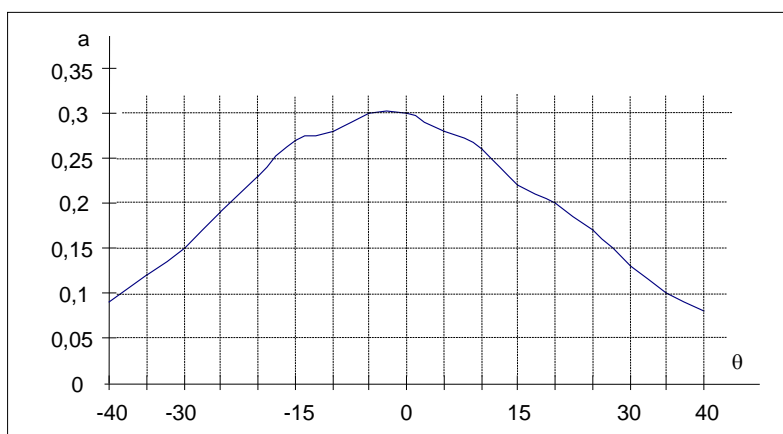
The ultrasonic waves are emitted by the transmitter in a zone to be determined.

Record the value a of the received signal amplitude for a variable value θ of the angle defining the position of the ultrasonic receiver (θ is negative on the left of 0 and positive on the right).

The following results are obtained:

a in V	0,09	0,12	0,15	0,19	0,23	0,27	0,28	0,3	0,3	0,28	0,26	0,22	0,20	0,17	0,13	0,10	0,08
θ in °	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40

③ The corresponding graph is shown below:



④ Approximation of the measurement :

Determine the minimum variation of the angle for which the amplitude observed on the oscilloscope screen is the highest.

Observe that this value is about 5 degrees.

Therefore the determination of the amplitude peak is rather inaccurate.

❖ Conclusion :

We find that ultrasonic waves are rather directive (however much less so than light waves!)

The ultrasonic transmission zone (assuming that it is symmetrical about the transmitter axis), for an amplitude value decreased by half its maximum value, is a cone having an angle close to 60 degrees (angle α_{Ob} on the diagram).

Note: The experiment can be repeated by using the second recess for the receiver displacement.

1.3 Step 3: Exploitation of the results

❖ Notion of sound direction or « sound radiation »:

The so-called « sound radiation » is the direction of transmission that corresponds to the amplitude peak of the signal received by the receiver.

❖ Representation of sound radiation

This radiation is represented by an oriented line with an arrow pointing outwards from the transmitter. Its direction blends with the geometrical axis of the transmitter.

ER represents the sound radiation

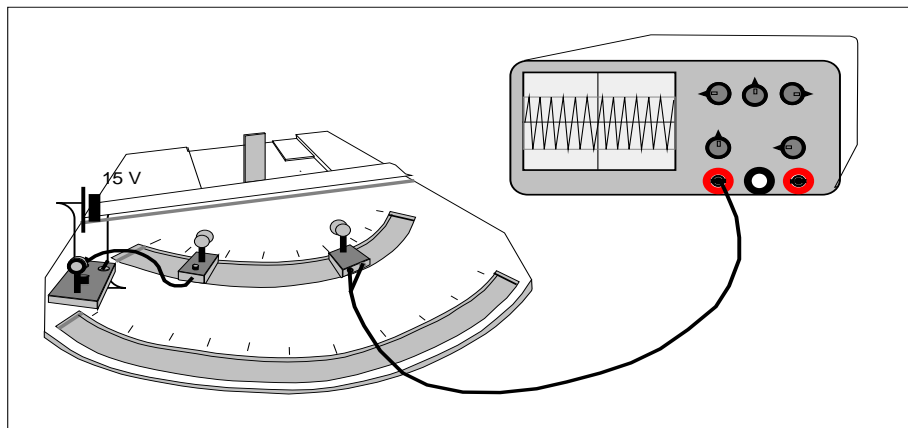
2 Reflection of ultrasonic waves

Introduction: The purpose of the experiment is to verify the law of reflection. The influence of the absorption phenomenon on the ultrasonic waves can also be observed.

2.1 Step 1: Setup

❖ The system is set up as follows:

The reflective plane (mirror) fitted with a magnetic sole is positioned at the centre of the arc-shaped recesses. An ultrasonic transmitter and a receiver are positioned as shown on the diagram. The MODUSON main transmitter can be used directly but its base is too large and does not fit into the recess in the moulded PVC table. *It is preferable to use the complementary transmitter 2*, which has a suitable size, at the expense of a slightly bulkier setup. The transmitter 2 is positioned e.g. on the 30 deg. graduation on the left.



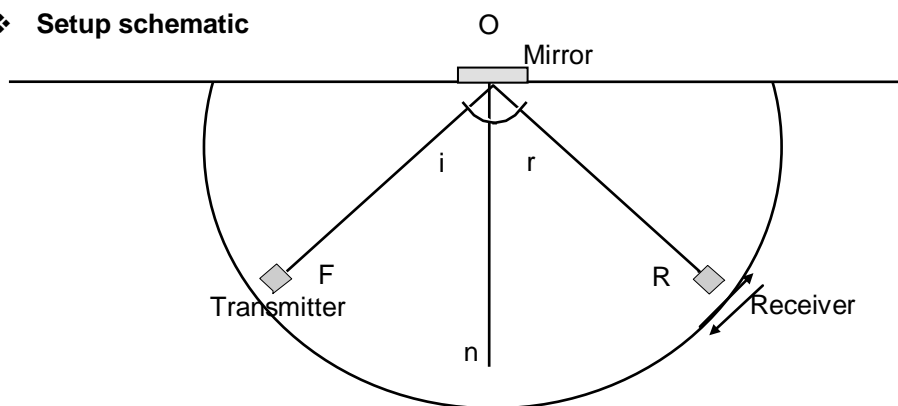
The transmitter 2 is connected to the main transmitter. The main transmitter is powered via a 15 V power supply and its switches are set on Continuous and OFF, respectively (then its transmitting member is cut off and only the transmitter 2 is powered).

The receiver is positioned in the circular recess closest to the transmitter (radius = 15 cm) in which it can be moved. It is located in the right portion. It is connected by means of a shielded cable to the vertical input of the oscilloscope.

❖ **Material :**

- MODUSON main ultrasonic transmitter and transmitter 2
- One ultrasonic receiver
- MODUSON moulded PVC table (two elements)
- 0–15V stabilised variable power supply
- Oscilloscope
- Banana-to-BNC adapter cable

❖ **Setup schematic**



2.2 Step 2: Protocol

❖ **Definitions**

On the above schematic, the symbols have the following meanings:

- On is the perpendicular to the mirror
- i is the angle of incidence between the incident sound radiation EO and the perpendicular to the mirror On
- r is the angle of reflection between the reflected sound radiation OR and the perpendicular to the mirror On

❖ **Measurements :**

Different values are assigned to i by moving the transmitter in its guide and the position to be given to the transmitter in order to obtain the direction of the radiation reflected on the mirror is determined.

This direction is obtained by determining the receiver position on the arc of circle that yields the highest amplitude for the received signal.

The oscilloscope settings are 0.1 V/div for vertical amplification and on 0.1 msec/div for horizontal sweep.

To perform correct measurements, proceed as follows:

- position the transmitter on the first value (10 degrees)
- slowly move the receiver from the lowest value (towards 0 degree)
- stop as soon as the first amplitude peak of the received signal is observed
- read the corresponding value
- fine-tune as required.

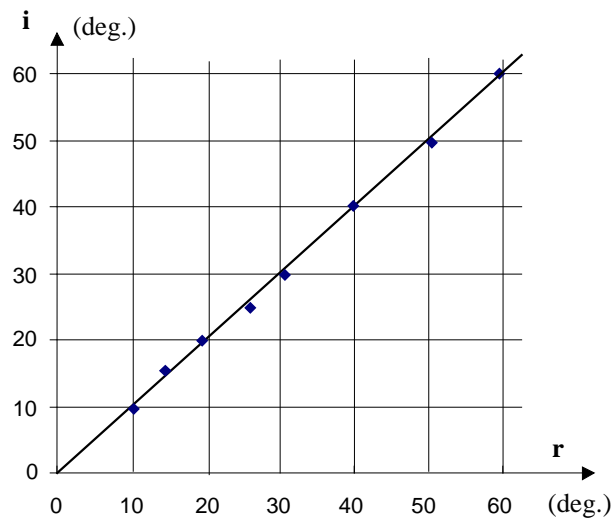
Note: The presence of other peaks (with lower amplitudes) is observed. This is due to complex phenomena called « diffraction phenomena ».

The results are summarised in the table below:

i in deg.	10	15	20	25	30	40	50	60
r in deg.	11	14	19	27	31	40	51	59

❖ **Plotting of the curve :**

Graphic representation of the function $i=f(r)$



❖ **Observation of the curve :**

The obtained curve is a straight line passing through the origin (within the limits of the domain under study).

❖ **Ultrasonic absorption :**

Complementary experiment.

Turn the mirror over so that its foam-coated side faces the ultrasonic beam from the transmitter.

For a few values of the angle i , try to obtain of the corresponding values of r .

Observe that the signal is no longer reflected: no observable amplitude can be obtained for the signal sensed by the receiver.

2.3 Step 3: Exploitation of the results

❖ **Verification of the law of reflection**

The measurements are rather tricky and they are limited to an approximate verification of the relationship

$$i=r$$

❖ **Ultrasonic absorption**

The ultrasonic waves are absorbed by the foam coating of the support used.

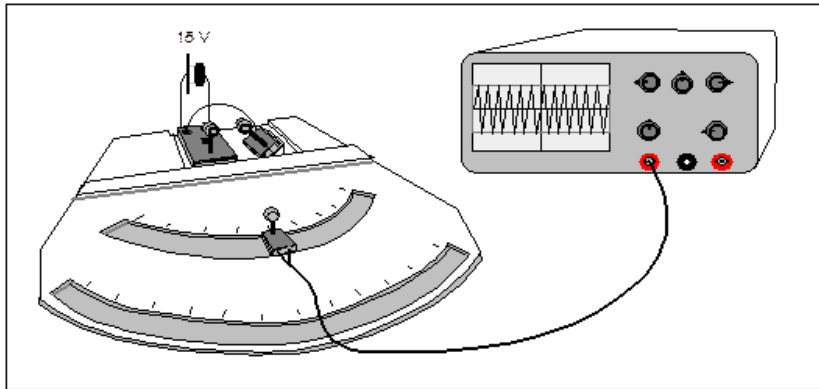
Note: The experiment can be repeated by using the second recess for the displacement of the transmitter or (and) of the receiver.

3 Interference of ultrasonic waves

Introduction: The purpose of the experiment is to conduct an interference experiment with ultrasonic waves and to compare the experimental measurements obtained with the theoretical results derived from the wave model of the phenomenon.

3.1 Step 1: Setup

❖ The system is set up as follows:



The transmitter 2 is positioned on a magnetic support inclined at 45 deg. This special position is necessary to achieve short distances between the two transmitters. Thus they contact each other in their smallest spacing (2 cm).

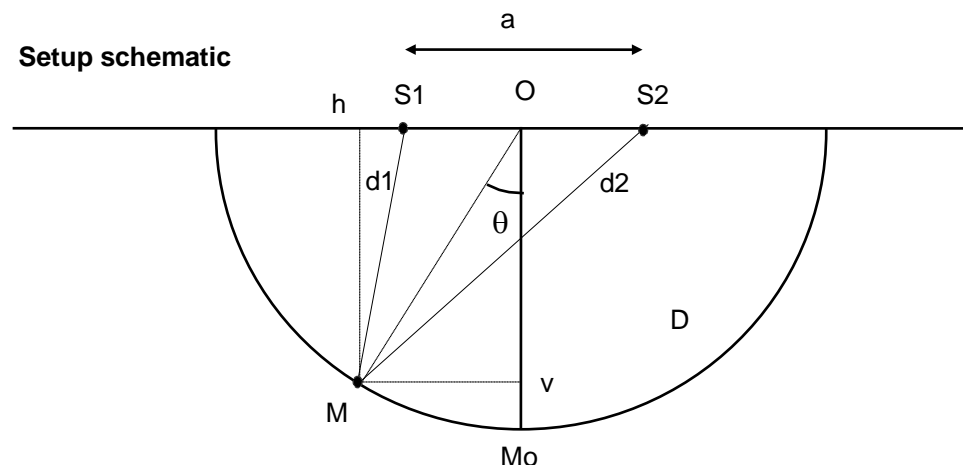
The transmitter 2 is connected to the main transmitter. The main transmitter is powered via a 15 V power supply and its switches are set on *Continuous* and *OFF*, respectively (its transmitting element is then cut off and only the transmitter 2 is powered).

The receiver is positioned in the circular recess closest to the transmitter (radius = 15 cm) in which it can be moved. It is positioned on the zero graduation. It is connected by means of a shielded cable to the vertical input of the oscilloscope.

❖ **Material :**

- MODUSON main ultrasonic transmitter and transmitter 2
- One ultrasonic receiver
- - MODUSON moulded PVC table (two elements)
- 0–15V stabilised variable power supply
- Oscilloscope
- Banana-to-BNC adapter cable

❖ **Setup schematic**



3.1 Step 2: Protocol

❖ Preliminary setting of the transmitters

The main transmitter is assumed to be set at its maximum transmission level. It is connected to the MODUSON transmitter 2.

The two transmitters connected to the same signal generator are synchronous sources. However, the following adjustments are required to give them an identical amplitude:

1. Install the two transmitters in the magnetic recess on the moulded PVC table. Place them at a distance of e.g. 2 cm from each other (smallest distance). Place a receiver in one of the arc-shaped recesses opposite the zero-degree angle value (then the receiver is located on the median of the segment joining the two receivers and it is equidistant between them) and connect it to the vertical input of an oscilloscope.
2. Disconnect the transmitter 2 and observe the signal transmitted by the main transmitter and sensed by the receiver. Record the amplitude value. Connect the transmitter 2 and switch the main transmitter *OFF* (in this position, the transmitter member is off but the generator is not and continues delivering the same signal on the BNC connector, hence to the transmitter 2), then only the transmitter 2 is active. Using the transmitter potentiometer, trim the amplitude of the received signal so that the amplitude value is identical to the previous reading.
3. Switch the main transmitter *ON*: then the two transmitters operate simultaneously and they have the same amplitude. This produces a peak that is sensed by the receiver (a slight position adjustment by 1–2 degrees may be necessary to obtain this peak).

❖ Measurements:

The oscilloscope settings are 0.1 V/div for vertical amplification and on 0.1 msec/div for horizontal sweep.

- Select the distance a between the 2 transmitters (3 values are marked: $a=2$ cm, $a=4$ cm and $a=8$ cm, but any other value from 2 to 4 cm can be measured by means of a 20-cm rule) and the radius D of the receiver displacement arc (2 radii can be used: $D=15$ cm and $D=30$ cm).
- Let for example the values $a=4$ cm and $D=15$ cm.
- Once the receiver has been installed, its displacement inside the arc-shaped recess will produce a succession of peaks and minima having the amplitude of the signal sensed by the receiver and observed on the oscilloscope screen.
- This is the series of the antinodes and nodes corresponding to the constructive and destructive interferences that appear in the vicinity of the two synchronous sources used.
- To obtain good measurements, proceed as follows:
 - position the transmitter opposite the zero-degree graduation
 - this corresponds to an amplitude peak (trim as required)
 - slowly move the receiver towards the increasing values of the angle θ (e.g. to the right)
 - stop when the first amplitude peak of the received signal is obtained, trim, read and record the corresponding value
 - continue until the extreme receiver position is reached
 - repeat these steps for the values of the angle θ to the left.
- Repeat the above steps for the angles corresponding to the amplitude minima.

Note : The minima are more easily identified than the peaks. However, the minima are not zero and they are less and less marked. The amplitudes of the interfering signals are not equal and the difference between them increases as the distances d_1 and d_2 become different.

❖ The results are summarised in the table below:

The angles are given in algebraic notation relative to the graduation zero.

θ minimum	Not measurable	-32	-18	-6		6	18	32	47
minimum difference			14	12	12	12	14	15	
θ maximum	Not measurable	-38	-24	-12	0	11.5	24	38	54
minimum difference		14	12	12		11.5	12.5	14	16

We observe that for angles in the range of -25 deg. to +25 deg., the variation of the angle θ from one peak to the adjacent peak (and from a minimum to the adjacent minimum) is constant and equal to:

$$\Delta\theta \approx 12^\circ$$

As for the number of peaks and of minima, we have:

- 8 peaks (the 9th one could not be read)
- 7 minima (the 8th one could not be read)

The differences between the peaks and the minima is identical and there are regularly alternated.

Note: The results are similar with other values. For example with $a=8$ cm and $D=30$ cm, the mean difference is $\Delta\theta \approx 6^\circ$

3.2 Step 3: Exploitation of the results

❖ Theoretical study of the interference phenomenon

① The superposition model of the waves from the two synchronous sources is used.

The wavelength is λ .

- At an arbitrary point M, the waves from the sources S_1 and S_2 exhibit a course difference $\delta=d_2-d_1$.
- If the two waves arrive *in phase* at point M, they have constructive a effect and their amplitudes are added: this yields a maximum amplitude point called *internode*.

This condition is rendered by $\delta=k \cdot \lambda$.

- If the two waves arrive *in opposition of phase* at point M, they have a destructive effect and their amplitudes are subtracted: this yields a point with zero amplitude (if the amplitudes are equal) or a low amplitude (equal to the amplitude difference), called *node*.

This condition is rendered by $\delta=(2k+1) \cdot \lambda/2$.

② Calculation of the course difference

In the above setup schematic, the course difference is expressed as $\delta=d_2-d_1$.

d_2 and d_1 are the hypotenuses of two rectangular triangles (MhS_1 and MhS_2).

The following relationships can be expressed:

$$d_2^2 = hM^2 + hS_2^2 = Ov^2 + (Oh + a/2)^2 = D^2 \cos^2(\theta) + (D \sin(\theta) + a/2)^2 = D^2 + a^2/4 + aD \sin(\theta)$$

$$d_1^2 = hM^2 + hS_1^2 = Ov^2 + (Oh - a/2)^2 = D^2 \cos^2(\theta) + (D \sin(\theta) - a/2)^2 = D^2 + a^2/4 - aD \sin(\theta)$$

The difference is written as follows:

$$d_2^2 - d_1^2 = (d_2 - d_1)(d_2 + d_1) = \delta(d_2 + d_1) = 2 aD \sin(\theta)$$

$$\text{or } \delta = 2 aD \sin(\theta) / (d_2 + d_1)$$

or else:

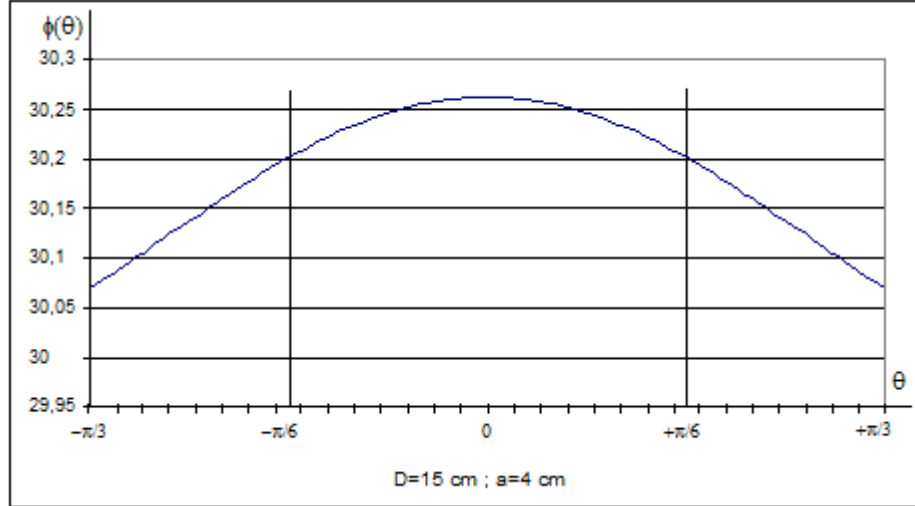
$$\delta = \frac{2aD \sin(\theta)}{\sqrt{D^2 + \frac{a^2}{4} + aD \sin(\theta)} + \sqrt{D^2 + \frac{a^2}{4} - aD \sin(\theta)}}$$

③ Approximations

The computerised study of the denominator $\Phi(\theta)$ of δ by means of ACTILAB yields its variations in the experimental conditions.

θ varies at most in the range from -60° to $+60^\circ$ (from $-\pi/3$ to $+\pi/3$)

For the selected values of a and D , the representative curve of $\Phi(\theta)$ versus θ gives the following graph:



For the value $2D=30$ cm, the relative difference $(\Phi(\theta)-2D)/2D$ is 0.27/30 or 0.9% maximum at the angular abscissa $\theta=0^\circ$. The relative difference drops to about 0.21/30 or 0.7% for $\theta=+\pi/6$ or $-\pi/6$, and it reached 0.6/30 or 0.2% for $\theta=+\pi/3$ or $-\pi/3$.

Therefore, $2D$ can be substituted for $\Phi(\theta)$.

Then the expression of the course difference is:

$$\delta \approx a \sin(\theta)$$

④ Number of peaks

For the peaks, we express $\delta = k \cdot \lambda \approx a \sin(\theta)$ or $\sin(\theta) \approx \frac{k \cdot \lambda}{a}$ ($\lambda=0.84$ cm).

Since $\frac{\lambda}{a}$ is constant for a given value of a , $\sin(\theta)$ is an integral multiple of $\frac{\lambda}{a}$.

For $a=4$ cm, we have $\frac{\lambda}{a} = \frac{0.84}{4} = 0.21$ and we have $\sin(\theta) = 0.21 \cdot k$.

Since $-\pi/3 \leq \theta \leq +\pi/3$, we have $-0.866 \leq \sin(\theta) \leq +0.866$, or

$$-0.866 \leq 0.21 \cdot k \leq +0.866 \text{ or else } -4.12 \leq k \leq +4.12$$

The possible values of k for the amplitude peaks are:

$k=-4, k=-3, k=-2, k=-1, k=0, k=1, k=2, k=3$ and $k=4$.

⑤ Number of minima

For the minima, we have $\delta = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2} \approx a \sin(\theta)$ or $\sin(\theta) \approx \frac{(2k + 1) \cdot \lambda}{2a}$

Since $\frac{\lambda}{2a}$ is constant for a given value of a, $\sin(\theta)$ is a integral multiple impair of $\frac{\lambda}{2a}$

For a=4 cm, we have $\frac{\lambda}{2a} = \frac{0,84}{8} = 0,105$ and on a $\sin(\theta) = 0.105 \cdot (2k+1)$.

Since $-\pi/3 \leq \theta \leq +\pi/3$, we have $-0.866 \leq \sin(\theta) \leq +0.866$, or

$-0.866 \leq 0,105 \cdot (2k + 1) \leq +0.866$ or encore $-4.63 \leq k \leq +3.63$

The possible values of k for the amplitude minima are:

$k=-4, k=-3, k=-2, k=-1, k=0, k=1, k=2$, and $k=3$

⑥ Case of small angles

When $\sin(\theta)$ is small (for θ = about 25 deg. about on both sides of position M_0),

- we have for the peaks: $\theta \approx \sin(\theta) = k \cdot \lambda / a = 0.21 \cdot k$, with $k=-2, k=-1, k=0, k=1$ and $k=2$

$\theta_{-2} = -24.2^\circ; \theta_{-1} = -12.1^\circ; \theta_0 = 0^\circ; \theta_1 = 12.1^\circ; \theta_2 = 24.2^\circ$

- we have for the minima: $\theta \approx \sin(\theta) = (2k+1) \cdot \lambda / 2a = 0.105 \cdot (2k+1)$, with $k=-2, k=-1, k=0, k=1$ and $k=2$

$\theta_{-2} = -18.4^\circ; \theta_{-1} = -6^\circ; \theta_0 = 6^\circ; \theta_1 = 18.4^\circ; \theta_2 = 31.7^\circ$

❖ Comparison of experimental and theoretical results

The experimental measurements obtained agree fairly well with the theoretical results.

- As for the number of peaks and the number of minima, the extreme negative values could not be obtained but the other 8 ones could be observed.
- With small angles, the difference between the experimental positions and the theoretical values is slight:

Experimental peak (in degrees)	-18	-6	6	18	32
Theoretical peak (in degrees)	-18.4	-6	6	18.4	31.7
Experimental minimum (in degrees)	-24	-12	0	11.5	24
Theoretical minimum (in degrees)	-24.2	-12.1	0	12.1	24.2

Moduson complément

LAB WORK SHEETS



Student's Documents



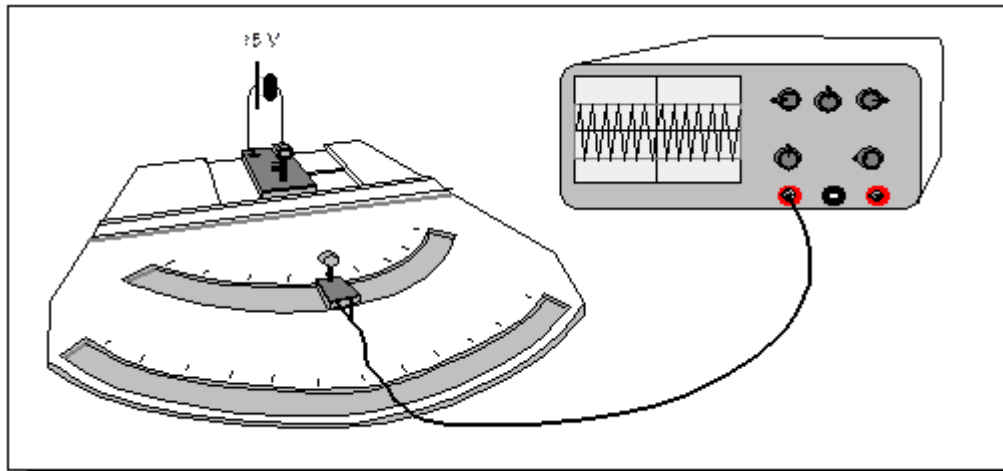
1 Directivity of ultrasonic waves

Introduction: The purpose of the experiment is to demonstrate the directional effect of ultrasonic waves and to define the notion of « sound radiation ».

1.1 Step 1: Setup

① The system is set up as follows:

The transmitter is connected to a 15V power supply. It is set at its maximum transmission level and operated in *Continuous* mode. It is positioned at the centre O of the arc-shaped recess and it transmits ultrasonic waves towards the graduation zero.



The receiver is positioned in the circular recess closest to the transmitter (radius = 15 cm) in which it can be moved. It is connected by means of a shielded cable to the vertical input of the oscilloscope.

② Material:

List the equipment used

③ Setup schematic: draw the schematic of the system

1.2 Step 2: Protocol

❖ Directivity of ultrasonic waves

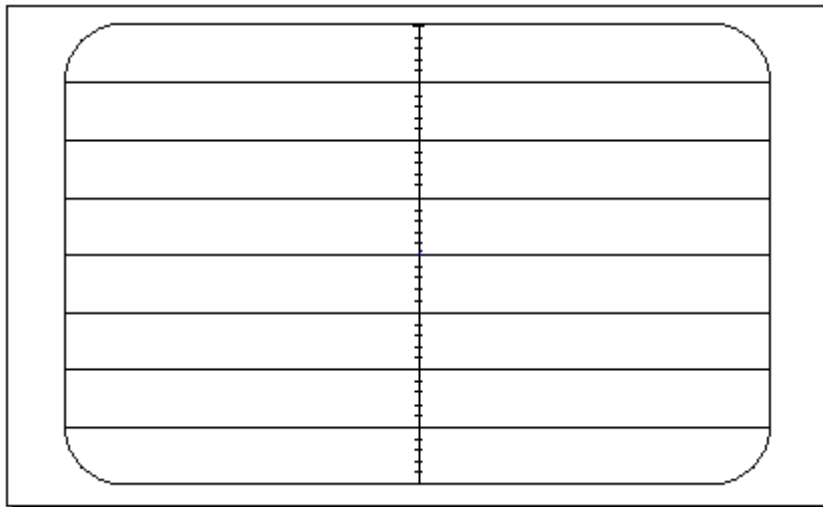
① Determination of the reception peak :

It is obtained in determining the receiver position on the arc of circle that yield the highest amplitude for the received signal.

Specify the settings used for the oscilloscope:

- vertical amplification :
- horizontal sweep :

In the frame below, draw a diagram of what you see on the oscilloscope screen.



What is the value of the angle that produces the maximum amplitude of the received signal?

② Sound transmission cones:

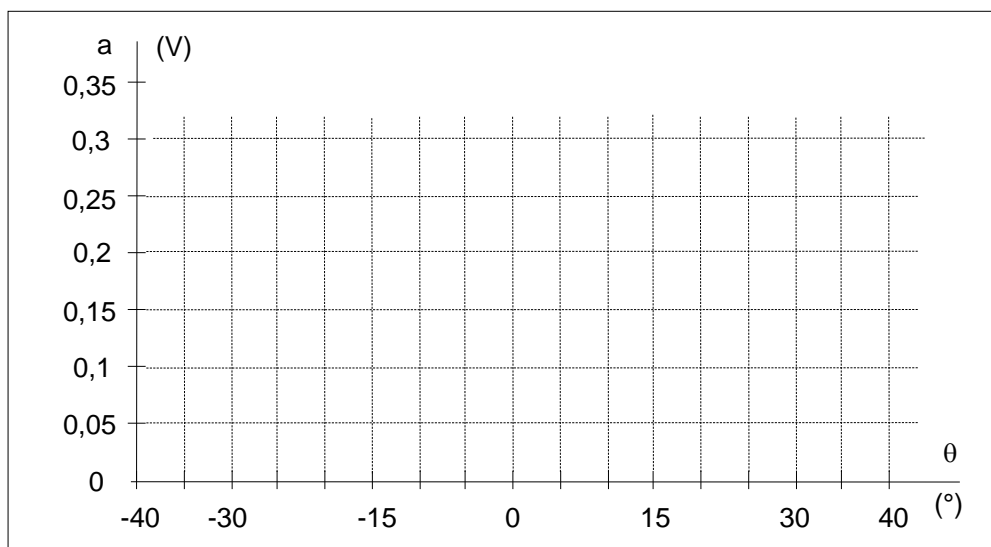
The ultrasonic waves are emitted by the transmitter in a zone to be determined.

In the table below, record the amplitude values a of the received signal for the values θ of the angle that identifies the ultrasonic receiver position.

(θ is negative on the left of the graduation zero and positive on the right).

a in V																	
θ in deg.	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40

③ Plot the corresponding graph below:



④ **Approximation of the measurement:**

Determine the minimum angular variation that produces the highest amplitude on the oscilloscope screen.

$\Delta\theta \approx \dots\dots\dots$

❖ **Conclusion :**

Are ultrasonic waves directional?

What is the value of the angle of a transmitter transmission cone?

Draw the transmission cone on the diagram below.

Note: The experiment can be repeated by using the second recess for the displacement of the receiver.

1.3 Step 3: Exploitation of the results

❖ **Notion of sound direction or « sound radiation »:**

We call « sound radiation » the direction of transmission from the transmitter to the receiver corresponding to the peak amplitude of the signal received by the receiver. An arrow symbolises its direction.

❖ **Representation of sound radiation**

Represent this radiation on the diagram below.

E ☐ Transmitter

R ☐ Receiver

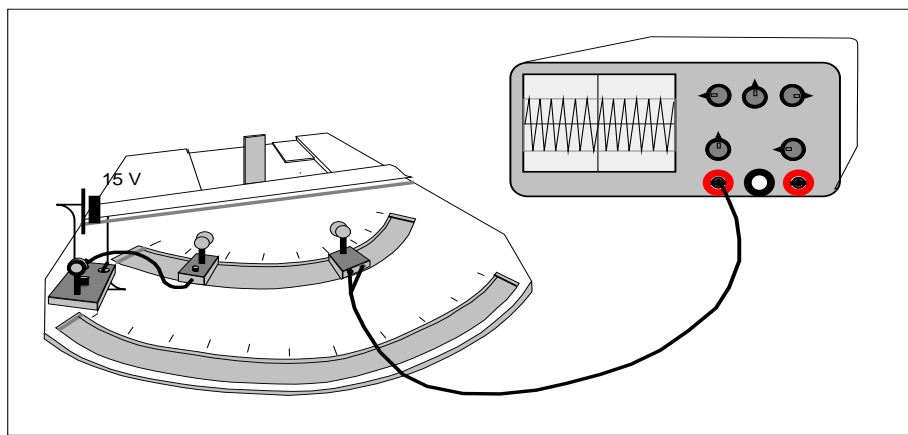
2 Reflection of ultrasonic waves

Introduction: The purpose of the experiment is to verify the law of reflection. The influence of the absorption phenomenon of waves ultrasonic will also be observed.

2.1 Step 1: Setup

❖ The system is set up as follows:

The reflective plane (mirror) with magnetic sole is positioned at the centre of the arc-shaped recesses. An ultrasonic transmitter and a receiver are positioned as shown on the diagram. The MODUSON main transmitter can be used directly but its base is too large and does not fit into the recess in the moulded PVC table. *It is preferable to use the complementary transmitter 2*, which has a suitable size, at the expense of a slightly bulkier setup. The transmitter 2 is positioned e.g. on the 30 deg. graduation on the left.



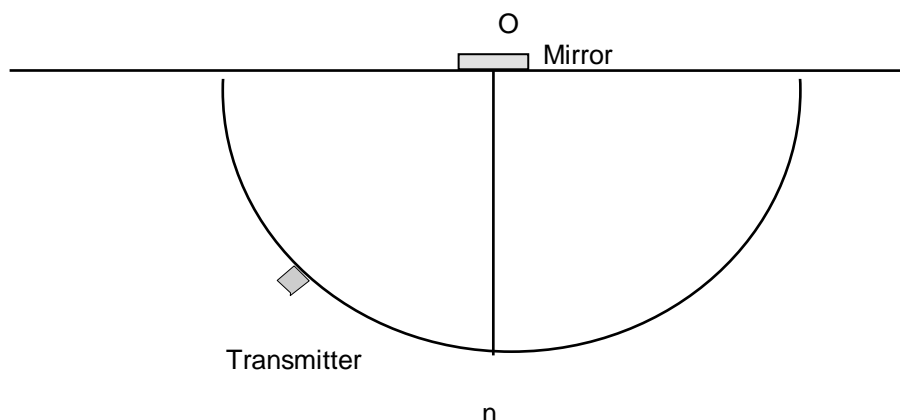
The transmitter 2 is connected to the main transmitter. The main transmitter is powered via a 15 V power supply and its switches are set on *Continuous* and *OFF*, respectively (its transmitting element is then cut off and only the transmitter 2 is powered).

The receiver is positioned in the circular recess closest to the transmitter (radius = 15 cm).

❖ **Material:**

List the equipment used.

Setup schematic: complete the following schematic (use the definitions given on the next page)



2.2 Step 2: Protocol

❖ Definitions

On the above schematic, the symbols have the following meanings:

- On is the perpendicular to the mirror
- i is the angle of incidence between the incident sound radiation EO and the perpendicular to the mirror On
- r is the angle of reflection between the reflected sound radiation OR and the perpendicular to the mirror On

❖ Measurements :

Different values are assigned to i by moving the transmitter in its guide and the receiver position to be used to obtain the direction of the radiation reflected on the mirror is determined.

How do you identify this direction?

What are the oscilloscope settings?

- for vertical amplification :
- or horizontal sweep :

Describe how a measurement is performed.

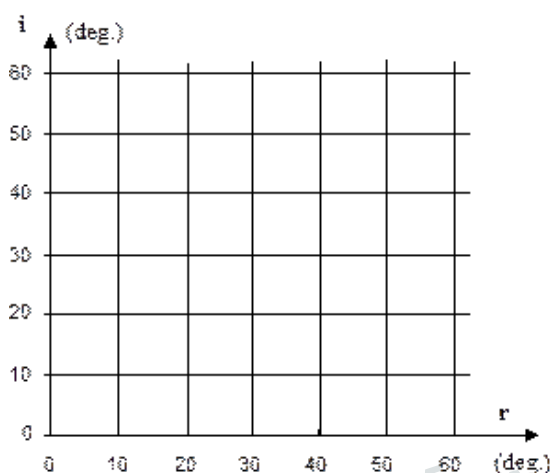
Note : The presence of other peaks (with lower amplitudes) is observed. This is due to complex phenomena called diffraction.

Record the results in the table below:

i in deg.	10	15	20	25	30	40	50	60
r in deg.								

❖ Plot the corresponding curve on the graph below:

Graphic representation of the function $i=f(r)$



Observations of the curve:

What is the nature of the curve?

❖ **Ultrasonic absorption:**

Complementary experiment.

The mirror is turned over so that the foam-coated side faces the ultrasonic beam from the transmitter.

For a few values of the angle i , try to obtain the corresponding values of r .

What do you observe concerning the signal received by the receiver?

2.3 Step 3: Exploitation of the results

❖ **Law of reflection**

Write the law of reflection that can be derived from the measurements performed.

❖ **Ultrasonic absorption**

What conclusion can you make?

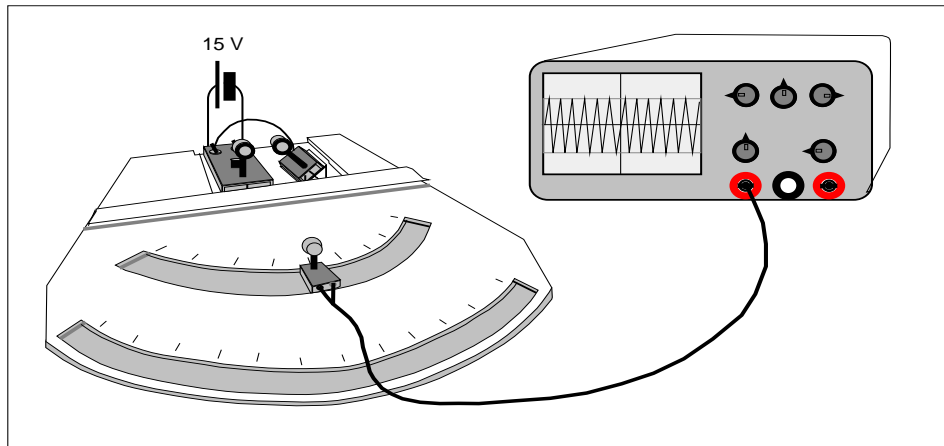
Note: The experiment can be repeated by using the second recess for the displacement of the transmitter or (and) of the receiver.

3 Interference of ultrasonic waves

Introduction: The purpose of the experiment is to perform an experiment on ultrasonic interference and to compare the experimental measurements obtained with the theoretical results derived from the wave model of the phenomenon.

3.1 Step 1: Setup

❖ The system is set up as follows:



The transmitter 2 is positioned on a magnetic support inclined at 45 deg. This special position is necessary to achieve short distances between the two transmitters. Thus they contact each other in their smallest spacing (2 cm).

The transmitter 2 is connected to the main transmitter. The main transmitter is powered via a 15 V power supply and its switches are set on *Continuous* and *OFF*, respectively (its transmitting element is then cut off and only the transmitter 2 is powered).

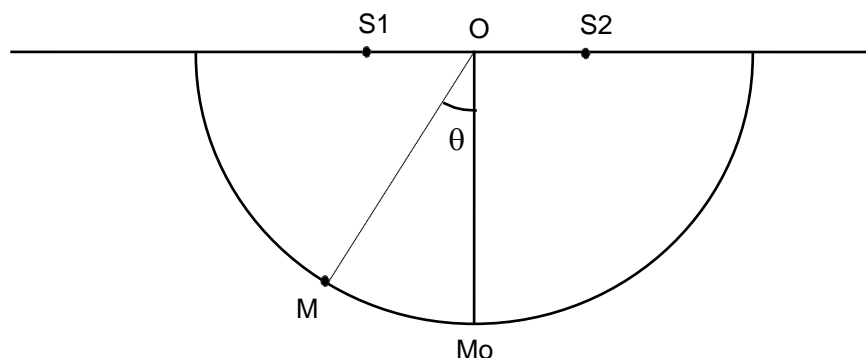
The receiver is positioned in the circular recess closest to the transmitter (radius = 15 cm) in which it can be moved. It is positioned on the zero graduation. It is connected by means of a shielded cable to the vertical input of the oscilloscope.

❖ **Material:**

List the equipment used.

❖ **Complete the setup schematic**

(plot the 2 sound radiations that reach an arbitrary point M)



3.1 Step 2: Protocol

❖ Preliminary setting of the transmitters

- The main transmitter is assumed to be set at its maximum transmission level. It is connected to the MODUSON transmitter 2.
- The two transmitters connected to the same signal generator are synchronous sources. However, the following adjustments are required to give them an identical amplitude:
 1. Install the two transmitters in the magnetic recess on the moulded PVC table. Place them at a distance of e.g. 2 cm from each other (smallest distance). Place a receiver in one of the arc-shaped recesses opposite the zero-degree angle value (then the receiver is located on the median of the segment joining the two receivers and it is equidistant between them) and connect it to the vertical input of an oscilloscope.
 2. Disconnect the transmitter 2 and observe the signal transmitted by the main transmitter and sensed by the receiver. Record the amplitude value. Connect the transmitter 2 and switch the main transmitter OFF (in this position, the transmitter member is off but the generator is not and continues delivering the same signal on the BNC connector, hence to the transmitter 2), then only the transmitter 2 is active. Using the transmitter potentiometer, trim the amplitude of the received signal so that the amplitude value is identical to the previous reading.
 3. Switch the main transmitter ON: then the two transmitters operate simultaneously and they have the same amplitude. This produces a peak that is sensed by the receiver (a slight position adjustment by 1–2 degrees may be necessary to obtain this peak).

❖ Measurements:

What are the oscilloscope settings?

- for vertical amplification :
- for horizontal sweep :

Select the distance a between the 2 transmitters and the radius D of the receiver displacement arc.

- $D=$
- $a=$

Move the receiver and observe the amplitude peaks and minima of the signal sensed by the receiver and observe on the screen of the oscilloscope.

What explanation can you give about this observation?

How to proceed to perform correct measurements?

Note: The minima are more easily identified than the peaks. However, the minima are not zero and they are less and less marked. What explanation can you give about this finding?

❖ **Record the measurement results in the table below:**

The angles are given in algebraic notation relative to the graduation zero.

θ minimum									
minimum difference									
θ maximum									
minimum difference									

What is the measured variation for the angle θ from one maximum to the adjacent maximum (and from one minimum to the adjacent minimum)? In what angular domain is this verified?

What is the number of the observed peaks and minima:

- peaks
- minima

What can be said about the difference between the peaks and the minima and about their alternation?

3.2 Step 3: Exploitation of the results

❖ **Theoretical study of the interference phenomenon**

① **The superposition model of the waves from the two synchronous sources is used.**

The wavelength is λ .

At an arbitrary point M, the waves from the sources S_1 and S_2 exhibit a course difference $\delta = d_2 - d_1$.

What do you observe if the two waves arrive *in phase* at point M?

The relationship that renders this condition is: $\delta =$

What do you observe if the two waves arrive *in opposition of phase* at point M?

The relationship that renders this condition is: $\delta =$

② Calculation of the course difference

In the above setup schematic, the course difference is expressed as $\delta = d_2 - d_1$.

d_2 and d_1 are the hypotenuses of two rectangular triangles (MhS_1 and MhS_2).

Express the squares of these hypotenuses:

$$d_2^2 =$$

$$d_1^2 =$$

Write the difference:

$$d_2^2 - d_1^2 = (d_2 - d_1)(d_2 + d_1) =$$

verify that:

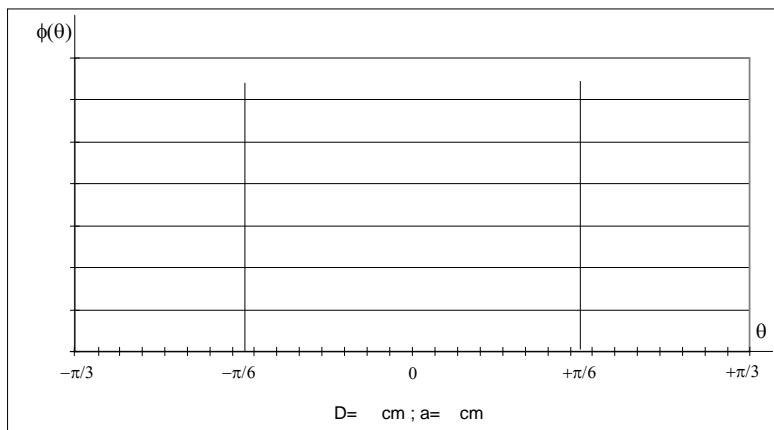
$$\delta = \frac{2aD \sin(\theta)}{\sqrt{D^2 + \frac{a^2}{4} + aD \sin(\theta)} + \sqrt{D^2 + \frac{a^2}{4} - aD \sin(\theta)}}$$

③ Approximations

The computerised study of the denominator $\Phi(\theta)$ of δ by means of ACTILAB yields its variations in the experimental conditions.

Plot the representative curve of $\Phi(\theta)$ versus θ :

(θ varies at most from -60° to $+60^\circ$ ($-\pi/3$ to $+\pi/3$))



Calculate the relative difference $(\Phi(\theta) - 2D)/2D$ for the various positions:

$$\theta = 0 \quad :$$

$$\theta = +\pi/6 \text{ or } -\pi/6 \quad :$$

$$\theta = +\pi/3 \text{ or } -\pi/3 \quad :$$

What conclusion can you make?

What is the approximate expression of the course difference: $\delta \approx$

④ Calculation of the number of peaks

What is the expression of δ for the peaks? (with $\lambda = 0.84$ cm).

Since $\frac{\lambda}{a}$ is constant, what can be said about $\sin(\theta)$?

Calculate the numerical values of k for $-\pi/3 \leq \theta \leq +\pi/3$.

The possible values of k for the amplitude peaks are:

$$k =$$

⑤ Number of minima

What is the expression of δ for the minima? (with $\lambda = 0.84 \text{ cm}$).

Since $\frac{\lambda}{2a}$ is constant, what can be said about $\sin(\theta)$?

Calculate the numerical values of k for $-\pi/3 \leq \theta \leq +\pi/3$.

The possible values of k for the amplitude minima are:

$$k =$$

⑥ Case of small angles

When $\sin(\theta)$ is small (for $\theta =$ about 25 deg. about on both sides of position M_0), the angle and its sine may be used indifferently: $\theta \approx \sin(\theta)$

- calculate the angles corresponding to the observable peaks (note the index of θ):

$$\theta = \quad \theta = \quad \theta = \quad \dots$$

- calculate the angles corresponding to the observable minima (note the index of θ):

$$\theta = \quad \theta = \quad \theta = \quad \dots$$

❖ Comparison of the experimental and theoretical results

Do the experimental measurements obtained agree with the theoretical results?

Do the number of peaks and the number of minima correspond to those observed?

Record and compare in the table below the experimental and theoretical values corresponding to of the small angles.

Conclusion:

Experimental peak (in degrees)					
Theoretical peak (in degrees)					
Experimental minimum (in degrees)					
Theoretical minimum (in degrees)					



Assistance technique en direct

Une équipe d'experts
à votre disposition
du lundi au vendredi
de 8h30 à 17h30

- Vous recherchez une information technique ?
- Vous souhaitez un conseil d'utilisation ?
- Vous avez besoin d'un diagnostic urgent ?

Nous prenons en charge
immédiatement votre appel
pour vous apporter une réponse
adaptée à votre domaine
d'expérimentation :
Sciences de la Vie et de la Terre,
Physique, Chimie, Technologie.

Service gratuit*

0 825 563 563 choix n°3**

* Hors coût d'appel. 0,15 € TTC/min à partir d'un poste fixe.
** Numéro valable uniquement pour la France
métropolitaine et la Corse. Pour les DOM-TOM et les EFE,
composez le +33 2 32 29 40 50.

Aide en ligne
FAQ.jeulin.fr



Direct connection for technical support

A team of experts
at your disposal
from Monday to Friday
(opening hours)

- You're looking for technical information ?
- You wish advice for use ?
- You need an urgent diagnosis ?

We take in charge your request
immediatly to provide you
with the right answers regarding
your activity field : Biology, Physics,
Chemistry, Technology.

Free service*

+33 2 32 29 40 50**

* Call cost not included.
** Only for call from foreign countries.



468, rue Jacques-Monod, CS 21900, 27019 Evreux cedex, France
Métropole • Tél : 02 32 29 40 00 - Fax : 02 32 29 43 99 - www.jeulin.fr - support@jeulin.fr
International • Tél : +33 2 32 29 40 23 - Fax : +33 2 32 29 43 24 - www.jeulin.com - export@jeulin.fr
SAS au capital de 1 000 000 € - TVA intracommunautaire FR47 344 652 490 - Siren 344 652 490 RCS Evreux