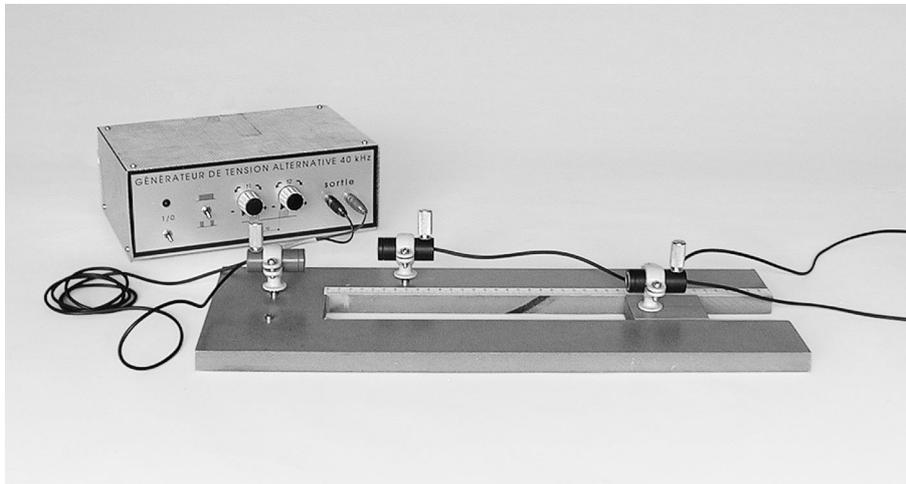


Collection pour l'étude des ultrasons

MV 4000 00003



Mode d'emploi



Centre technique et pédagogique
de l'Enseignement de la Communauté française

Sommaire

Introduction	1
Matériel de la collection	3
Manipulation 1	
Mesure de la fréquence des ondes ultrasonores	6
Manipulation 2	
Détermination de la célérité des ondes ultrasonores dans l'air	10
Manipulation 3	
Principe de fonctionnement d'un sonar	14
Manipulation 4	
Absorption des ondes ultrasonores par différents matériaux	18
Manipulation 5	
Détermination de la longueur d'onde des ondes ultrasonores	22
Manipulation 6	
Réflexion des ondes ultrasonores	25
Manipulation 7	
Mise en évidence de l'effet Doppler	29
Manipulation 8	
Détermination de la célérité des ondes ultrasonores dans différents matériaux	33
Manipulation 9	
Mise en évidence du phénomène d'interférence des ondes ultrasonores	38
Manipulation 10	
Détermination de la vitesse d'un récepteur par effet Doppler	43

Introduction

Les manipulations décrites dans ce fascicule sont destinées aux élèves de troisième année (niveau A), de quatrième année (niveau B) et de sixième année (cours à trois heures par semaine) de l'enseignement secondaire général.

Nous avons choisi de travailler avec des ondes ultrasonores, de même nature que les ondes sonores, pour les raisons suivantes:

1. Leur longueur d'onde est plus petite que celle des ondes sonores, ici de l'ordre de 8,5 mm dans l'air à 20 °C; elles sont donc plus directives.
2. Les manipulations «audibles» deviennent rapidement désagréables, voire douloureuses pour l'oreille; les expériences qui suivent présentent l'avantage d'être plus confortables.
3. Les ultrasons sont de plus en plus utilisés dans des domaines aussi divers que la médecine, la dentisterie, la bijouterie, la navigation maritime, le nettoyage... La technologie, les médias de vulgarisation, la zoologie... emploient souvent le terme «ultrasons». C'est pourquoi il nous a semblé intéressant de les étudier dès le deuxième degré.

Les cinq premières manipulations de ce fascicule permettent d'introduire, en les visualisant, les notions de fréquence, de célérité, de longueur d'onde des ondes ultrasonores. Les divers montages qui y sont mis en jeu sont simples et peuvent être compris par des élèves du deuxième degré s'ils s'insèrent dans le cours à la fin du module «Acoustique», après l'étude du principe de fonctionnement d'un oscilloscope.

Les cinq autres manipulations font appel à l'étude des phénomènes vibratoires (notions de plan d'onde, de déphasage, d'interférences, de battements, d'effet Doppler...) et s'adressent donc plus directement aux élèves de sixième année (cours à trois heures par semaine).

Pour réaliser l'ensemble des manipulations, un oscilloscope double trace est indispensable. Un fréquencemètre ne sera utile que si l'on désire mettre en évidence l'effet Doppler à la manipulation 7. Deux rails et trois chariots de la collection de mécanique Phywe sont nécessaires pour réaliser la manipulation 10.

Nous espérons que les élèves et leurs professeurs découvriront avec plaisir un domaine de la physique jusqu'à présent rarement illustré dans l'enseignement secondaire.

Paule Preux
Myriam Van Sinoy

Matériel de la collection

1. Un générateur de tension alternative rectangulaire* de fréquence 40 kHz ET 1200 23226.



Figure 1

- ① Commutateur marche-arrêt.
- ② Commutateur permettant de produire des signaux rectangulaires soit en mode **continu** (position haute, voir figure 2), soit en mode **pulsé**, par salves successives (position basse, voir figure 3).

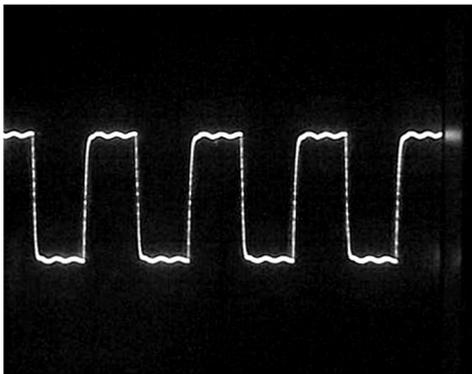


Figure 2

Réglages:

- base de temps: 10 μ s/div
- 5 V/div
- mode AC

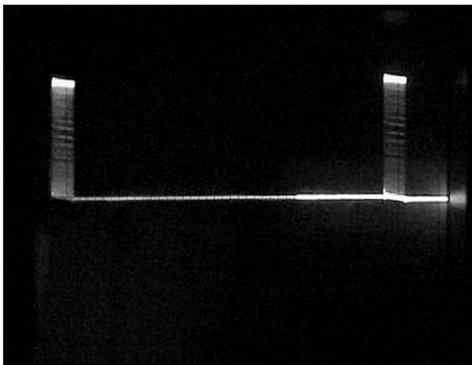


Figure 3

Réglages:

- base de temps: 2 ms/div
- 5 V/div
- mode AC

- ③ Bouton de réglage de la **durée** d'une rafale.
Celle-ci peut varier de façon continue de 1,0 ms à 2,7 ms.
- ④ Bouton de réglage de l'**intervalle de temps** séparant deux émissions consécutives de rafales.
Celui-ci peut varier de façon continue de 9 ms à 17 ms.
- ⑤ Bornes de sortie du signal. La borne noire est raccordée à la terre.

* Pour des raisons techniques, il est beaucoup plus facile de produire des signaux rectangulaires de 40 kHz que des signaux sinusoïdaux de même fréquence.

2. Quatre transducteurs piézo-électriques à ultrasons jouent, pour deux d'entre eux, le rôle d'émetteurs et, pour les deux autres, le rôle de récepteurs.

Ces transducteurs sont insérés dans des supports cylindriques dont on peut dévisser les tiges moletées.

Les cylindres rouges contiennent les émetteurs et les cylindres noirs les récepteurs.

• **Les émetteurs (rouges)** (MV 4200 00002)

La tension alternative rectangulaire appliquée entre les deux faces d'un cristal de quartz judicieusement taillé provoque la vibration de celui-ci à une fréquence égale à celle du signal électrique appliqué. Seule la composante fondamentale du signal appliqué produit l'onde ultrasonore qui, de se fait, est sinusoïdale.

• **Les récepteurs (noirs)** (MV 4300 00002)

Le cristal de quartz, excité par les ondes sinusoïdales ultrasonores reçues, vibre et engendre alors une tension alternative de même fréquence que celle des ondes captées.

La gorge creusée dans chacun des cylindres permet de repérer la position du cristal (émetteur ou récepteur) à l'intérieur de sa gaine de protection.

Les quatre cylindres contenant les transducteurs peuvent être fixés de deux manières:

- soit dans des colliers de serrage;
- soit directement dans un long tube de 1,2 m de longueur après que l'on aura dévissé et revissé les tiges moletées qui serviront à les manipuler.

Remarque:

Un émetteur et un récepteur d'ultrasons fonctionnent de façon inverse: le premier transforme de l'énergie électrique en énergie mécanique, le second transforme de l'énergie mécanique en énergie électrique.

Théoriquement, un émetteur peut être utilisé en récepteur et un récepteur en émetteur. Toutefois, la présence d'un condensateur, qui améliore les conditions de réception (en éliminant des signaux parasites), modifie l'impédance du dispositif. Il est donc recommandé d'utiliser chacun dans le rôle qui lui a été assigné.

3. Un tube de 1,2 m percé d'une longue fenêtre et placé sur une planchette graduée (MV 4400 00002). Il permet d'assurer l'alignement de l'émetteur et du récepteur ainsi que leur déplacement relatif. Il est utilisé lors des manipulations 1, 2 et 7.

4. Un obstacle plan d'inclinaison réglable (MV 4430 00002). Il est utilisé lors des manipulations 3 et 6.

5. Une tablette support en bois munie de trois douilles (MV 4420 00002). Ces douilles sont destinées à fixer l'émetteur et le récepteur lors des manipulations 3, 4 et 8.

6. Une planche découpée en U et graduée (MV 4460 00002). Elle porte le ou les émetteur(s) et récepteur(s) lors de la manipulation 5.

7. Trois socles de bois de 5 cm × 6,5 cm munis d'un collier (MV 4450 01012). Ils sont destinés à supporter soit un émetteur, soit un récepteur lors des manipulations 5, 6, 9 et 10.

8. Deux colliers munis de fiches bananes (MV 4410 00002). Ils sont utilisés lors des manipulations 3, 4, 5 et 8.

9. Des échantillons (20 cm × 14 cm) **de différents matériaux** (MV 4440 00002):

- 4 feuilles de mousse synthétique;
- 1 feuille de polystyrène expansé (ou *Frigolite*);
- 1 feuille de plastique transparent;
- 1 planchette de bois.

Ils sont utilisés lors des manipulations 4 et 8.

Manipulation 1

Mesure de la fréquence des ondes ultrasonores

1. But

Mesurer la fréquence du signal électrique émis par le générateur et celle du signal restitué par le récepteur recevant les ultrasons.

2. Principe

Afficher simultanément deux signaux sur l'écran d'un oscilloscope double trace: d'une part, le signal rectangulaire émis par le générateur et donc appliqué au cristal émetteur et, d'autre part, le signal sinusoïdal reçu par le récepteur.

3. Matériel nécessaire

- 1 générateur 40 kHz utilisé en mode continu
- 1 émetteur (rouge)
- 1 récepteur (noir)
- 1 tube de 1,2 m percé d'une longue fenêtre
- 1 oscilloscope double trace*
- Fils de connexion*

* Matériel ne faisant pas partie de la collection.

4. Schéma du montage

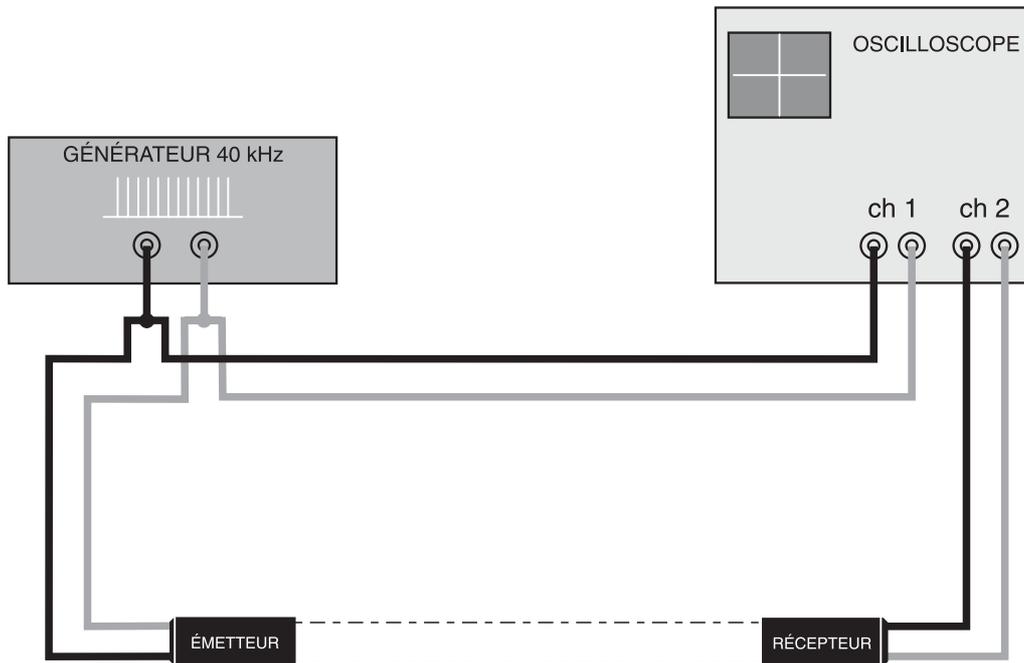


Figure 1.1

5. Manipulation

1. Dévisser les tiges moletées des cylindres de l'émetteur et du récepteur, puis insérer ceux-ci dans les extrémités du tube et revisser les tiges moletées (sans serrer exagérément).
2. Connecter les fiches de l'émetteur aux bornes de sortie du générateur (mode continu), en respectant les couleurs des douilles et des fiches de raccordement (figure 1.1).
3. Connecter les bornes d'entrée de l'oscilloscope (canal 1) aux bornes de sortie du générateur, en utilisant les connexions latérales des fiches bananes. Veiller à respecter les couleurs.
4. Connecter les fiches du récepteur aux bornes d'entrée de l'oscilloscope (canal 2), en respectant les couleurs.
5. Mettre le générateur et l'oscilloscope sous tension. Veiller à ce que le déclenchement du balayage de l'oscilloscope se fasse par le signal provenant du générateur. Mettre l'oscilloscope en mode *Dual*.
6. Effectuer les réglages pour observer simultanément les deux signaux.

6. Exploitation

1. À partir du nombre total d'oscillations occupant la largeur de l'écran de l'oscilloscope, déterminer la période puis la fréquence de chacun des signaux.
2. Comparer ces deux mesures.

7. Résultats et interprétation

1. À titre indicatif, voici un exemple d'oscillogramme obtenu:

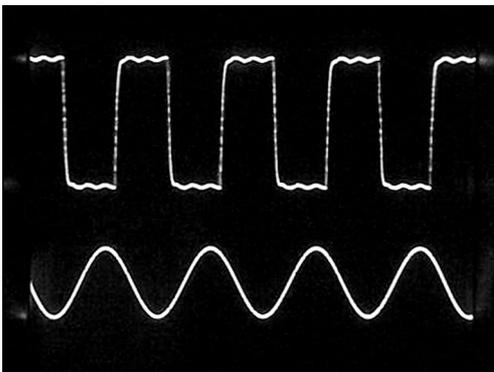


Figure 1.2

Réglages:

- base de temps: 10 $\mu\text{s}/\text{div}$
- canal 1: 5 V/div
mode AC
- canal 2: 1 V/div
mode AC

Quatre oscillations du signal relevé aux bornes de l'émetteur couvrent les dix divisions de l'écran, c'est-à-dire une durée de $10 \mu\text{s} \times 10 = 100 \mu\text{s}$.

La période T du signal émis vaut donc:

$$T = \frac{100}{4} = 25 \mu\text{s} = 25 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

Dès lors, sa fréquence ν est:

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{25 \cdot 10^{-6}} = \frac{10^6}{25} = 40\,000 \text{ Hz}$$

Il en est de même pour la fréquence du signal relevé aux bornes du récepteur.

Remarque: si l'on modifie la base de temps de l'oscilloscope, l'oscillogramme obtenu peut se présenter comme suit:

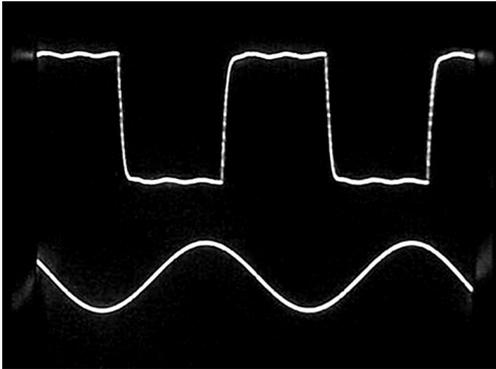


Figure 1.3

Réglages:

- base de temps: 5 $\mu\text{s}/\text{div}$
- canal 1: 5 V/div
mode AC
- canal 2: 1 V/div
mode AC

Dès lors: $T = 5 \times 5 \mu\text{s} = 25 \cdot 10^{-6} \text{ s}$

et: $\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{25 \cdot 10^{-6}} = \frac{10^6}{25} = 40\,000 \text{ Hz}$

2. L'égalité de ces deux fréquences permet d'affirmer que les signaux ultrasonores se sont propagés dans l'air sans modification de leur fréquence. Celle-ci est donc déterminée par le générateur et par lui seul.

Manipulation 2

Détermination de la célérité des ondes ultrasonores dans l'air

1. But

Mesurer la célérité des ondes ultrasonores dans l'air et la comparer à celle des ondes sonores dans le même milieu et à la même température.

2. Principe

Un émetteur envoie des ultrasons par rafales. Celles-ci sont captées par un récepteur. Les signaux émis par le générateur et produits par le récepteur sont visualisés à l'oscilloscope, ce qui permet d'estimer les durées de parcours correspondant à différentes distances entre l'émetteur et le récepteur. L'exploitation du graphe obtenu à partir des mesures de durée de parcours et des distances émetteur-récepteur permet d'estimer la célérité des ultrasons dans l'air à la température du local.

3. Matériel nécessaire

1 générateur 40 kHz utilisé en mode pulsé
1 émetteur (rouge)
1 récepteur (noir)
1 tube de 1,2 m percé d'une longue fenêtre
1 oscilloscope double trace*
Fils de connexion*

* Matériel ne faisant pas partie de la collection.

4. Schéma du montage

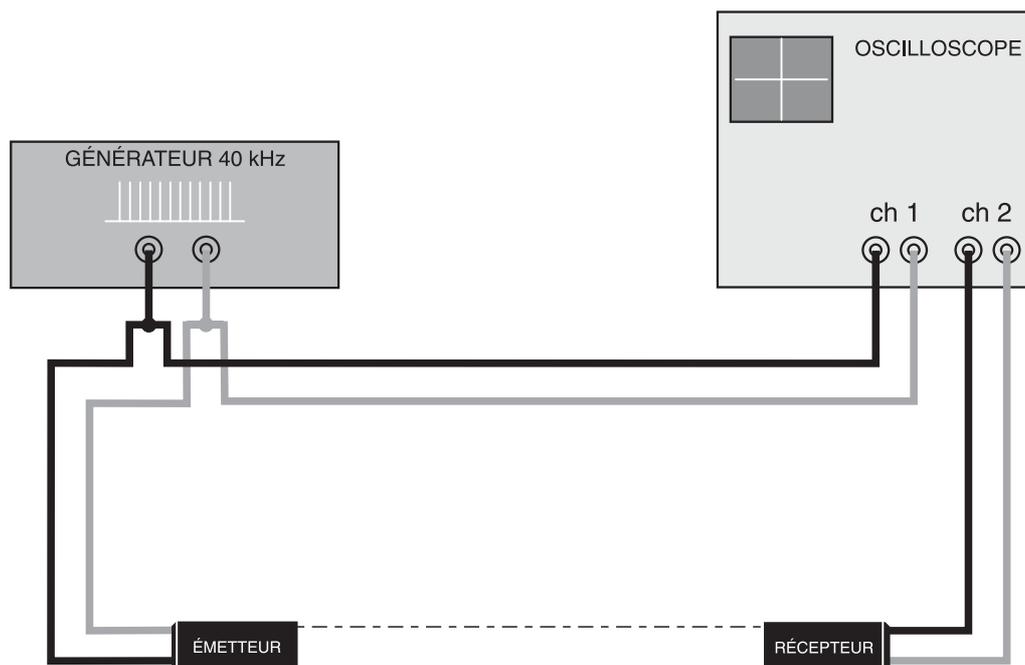


Figure 2.1

5. Manipulation

1. Dévisser les tiges moletées des cylindres de l'émetteur et du récepteur, puis insérer ceux-ci dans les extrémités du tube et les revisser (sans serrer exagérément).
2. Réaliser le montage schématisé à la figure 2.1, le générateur étant utilisé en mode pulsé. Respecter les couleurs des douilles et des fiches de raccordement.
3. Mettre le générateur et l'oscilloscope sous tension. Veiller à ce que le déclenchement du balayage de l'oscilloscope se fasse sur le signal provenant du générateur. Mettre l'oscilloscope en mode *Dual*.
4. Régler la durée des rafales à sa valeur minimale et l'intervalle de temps qui les sépare à sa valeur maximale à l'aide des boutons 3 et 4 (cf. description du générateur, p. 3). Afin d'optimiser la précision des mesures, il est judicieux de sélectionner, à l'oscilloscope, la plus petite base de temps qui permet de ne visualiser qu'une seule rafale.
5. Mesurer, à l'aide de la règle graduée, la distance (d) entre l'émetteur et le récepteur. Celle-ci peut être obtenue en bonne approximation en utilisant les repères des gorges dessinées dans les cylindres.
6. Déterminer, sur l'oscillogramme, la durée (t) séparant l'émission et la réception de la rafale.
7. Dans un tableau à deux colonnes, noter les valeurs obtenues et reprendre les points 5 et 6 pour des distances émetteur-récepteur (d) de plus en plus petites. Ne pas prendre de distances inférieures à 30 cm.

6. Exploitation

1. À partir du tableau de mesures, tracer le graphique représentant la distance (d) parcourue en fonction de la durée (t).
2. Quelle est l'allure du graphique obtenu?
Que peut-on en déduire?
3. Il est possible d'utiliser le graphique obtenu pour estimer la vitesse de propagation (ou célérité) des ultrasons.
Effectuer rapidement le calcul nécessaire.
4. Rechercher, dans la littérature, la vitesse (ou célérité) du son dans l'air à la température du local.
Comparer avec le résultat obtenu au point 3 de l'exploitation. Conclure.

7. Résultats et interprétation

1. Exemple d'oscillogramme obtenu:

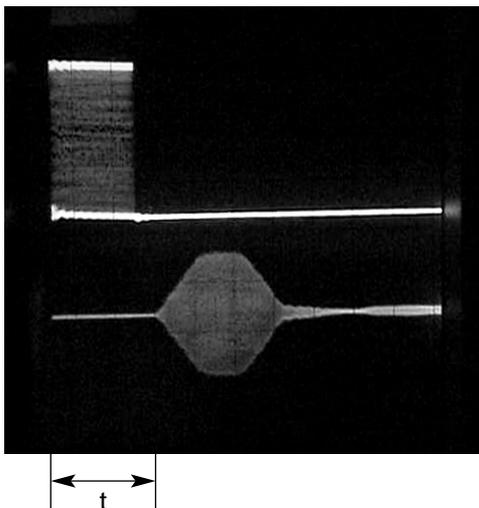


Figure 2.2

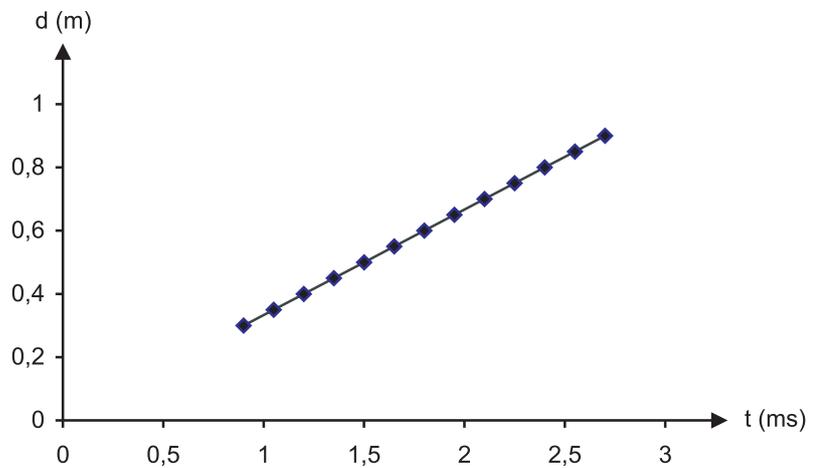
Réglages:

- base de temps: 0,5 ms/div
- canal 1: 5 V/div
mode AC
- canal 2: 0,5 V/div
mode AC

t : durée nécessaire à la rafale pour parcourir la distance entre l'émetteur et le récepteur.

Le tableau ci-dessous reprend une série de résultats obtenus lorsque l'air a une température de 24°C.

d (m)	t (ms)
0,30	0,90
0,35	1,05
0,40	1,20
0,45	1,35
0,50	1,50
0,55	1,65
0,60	1,80
0,65	1,95
0,70	2,10
0,75	2,25
0,80	2,40
0,85	2,55
0,90	2,70



- La représentation graphique de d en fonction de t est une droite. La distance parcourue par le signal acoustique est proportionnelle à la durée mise pour la parcourir.
- La pente de la droite permet de déterminer la célérité des ultrasons. On trouve:

$$v = 333 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

- D'après les tables, la célérité du son dans l'air à 24°C est de 345,7 m . s⁻¹. Si l'on tient compte de l'incertitude sur la base de temps de l'oscilloscope (donnée par le constructeur: 5 %) et de l'incertitude de lecture sur le cadran, la valeur déterminée expérimentalement est compatible avec la valeur réelle de la célérité.

Manipulation 3

Principe de fonctionnement d'un sonar

1. But

Déterminer, à l'aide d'ondes ultrasonores, la distance séparant un obstacle d'un ensemble émetteur-récepteur.

2. Principe

Un émetteur produit des ultrasons par rafales. Celles-ci sont réfléchies par un obstacle, puis captées par un récepteur. En mesurant la durée nécessaire à une rafale pour effectuer un trajet aller et retour, il est possible de déterminer la distance à laquelle se trouve l'obstacle, pour autant que soit connue la célérité des ultrasons dans le milieu envisagé (ici, l'air) ainsi que sa température (ici, celle du laboratoire).

Il faut remarquer que la mesure de la durée d'un trajet aller et retour d'un signal donné n'est possible que si on élimine la superposition des signaux incidents et réfléchis. C'est pourquoi il est indispensable d'utiliser des rafales (durée de l'ordre de 1 ms) émises à intervalles de temps réguliers (de l'ordre de 10 ms).

3. Matériel nécessaire

- 1 générateur 40 kHz utilisé en mode pulsé
- 1 émetteur (rouge)
- 1 récepteur (noir)
- 2 colliers munis de fiches bananes
- 1 amplificateur (pas indispensable mais vivement conseillé)
- 1 obstacle plan d'inclinaison réglable
- 1 tablette support
- 1 oscilloscope double trace*
- 1 tournevis*
- Fils de connexion*

* Matériel ne faisant pas partie de la collection.

4. Schéma du montage

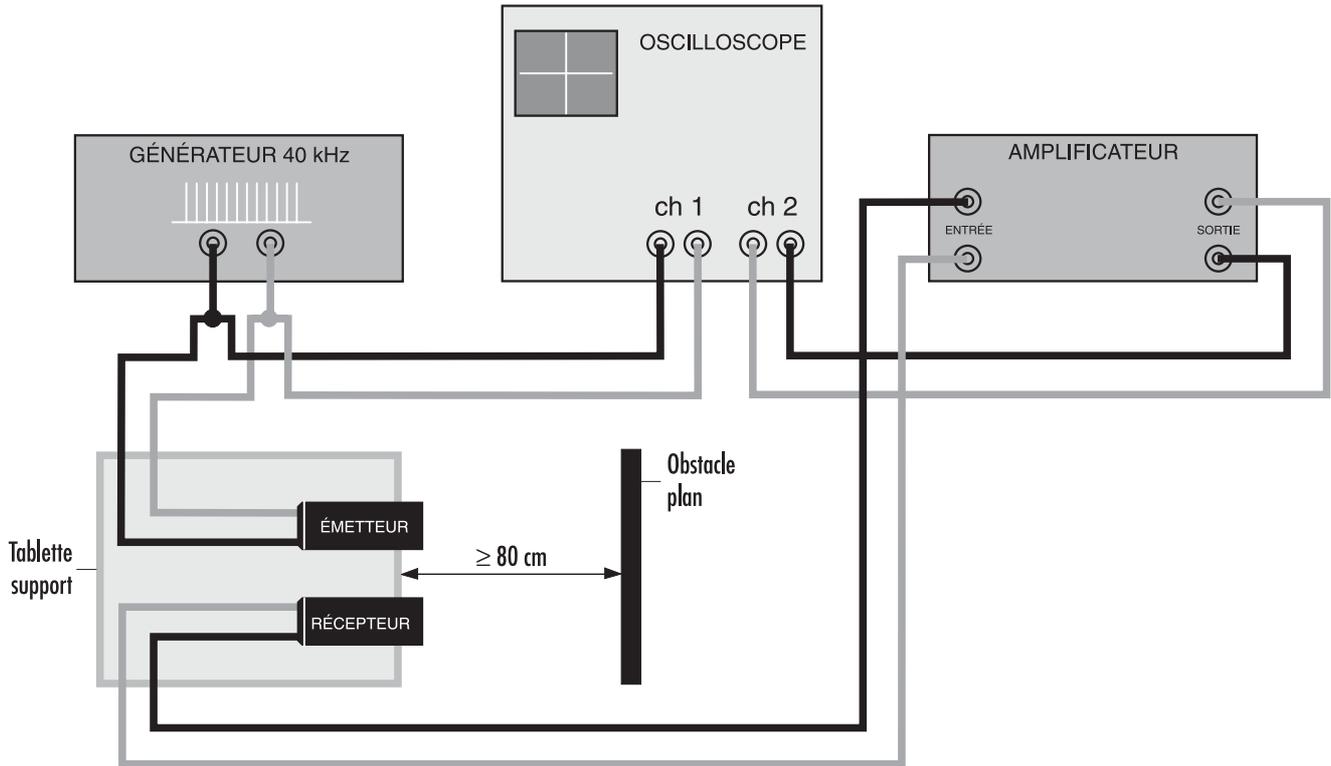


Figure 3.1

5. Manipulation

1. Fixer, à l'aide du tournevis, les cylindres émetteur et récepteur dans les colliers munis de fiches bananes.
2. Enficher les colliers ainsi garnis dans les deux douilles placées au bord de la tablette support. Le sonar* est ainsi surélevé d'une vingtaine de centimètres de la table, ce qui permet d'éviter les éventuelles réflexions parasites sur celle-ci. Régler la position des cylindres rouge et noir de manière à amener leur gorge à la verticale du bord de la tablette.
3. Disposer l'obstacle devant la tablette supportant le sonar à au moins 80 cm de celui-ci. Veiller à ce que l'obstacle soit placé perpendiculairement à l'axe de l'émetteur.
4. Réaliser le montage de la figure 3.1, le générateur étant utilisé en mode pulsé. Respecter les couleurs des douilles et des fiches de raccordement.

* Sigle de *sound navigation ranging*.

5. Mettre le générateur et l'oscilloscope sous tension. Veiller à ce que le déclenchement du balayage de l'oscilloscope se fasse sur le signal provenant du générateur. Mettre l'oscilloscope en mode *Dual*.
6. Régler la durée des rafales à sa valeur minimale et l'intervalle de temps qui les sépare à sa valeur maximale à l'aide des boutons 3 et 4 (cf. description du générateur, p. 3). Afin d'optimiser la précision des mesures, il est judicieux de sélectionner, à l'oscilloscope, la plus petite base de temps qui permet de ne visualiser qu'une seule rafale.
7. Modifier éventuellement l'inclinaison de l'obstacle de façon à optimiser le signal reçu.

6. Résultats

À titre d'exemple, voici l'oscillogramme obtenu pour une distance sonar-obstacle de 90 cm à 24°C:

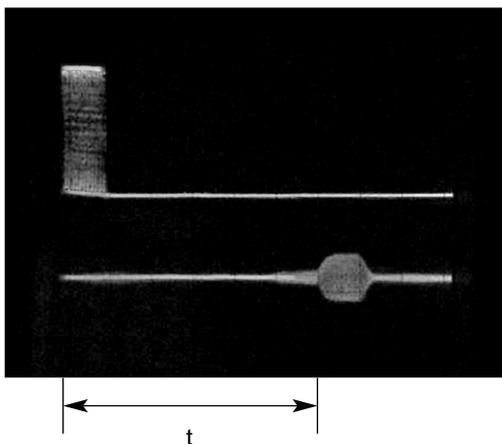


Figure 3.2

Réglages:

- amplificateur: $\times 100$
- volume: 3/4
- base de temps: 1 ms/div
- canal 1: 5 V/div
mode AC
- canal 2: 0,1 V/div
mode AC

t: durée nécessaire à la rafale pour parcourir la distance entre l'émetteur et le récepteur.

Dans ce cas:

- $t = 5,3 \text{ ms}$
- $v = 333 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- distance émetteur-obstacle-récepteur: $333 \cdot 5,3 \cdot 10^{-3} = 1,77 \text{ m}$
- distance sonar-obstacle: $\frac{1,77}{2} = 0,885 \text{ m}$

Remarque 1

On obtient les mêmes résultats sans amplificateur, mais la qualité de l'oscillogramme (canal 2) est médiocre (calibre 20 mV/div) comme le montre la photo ci-dessous.

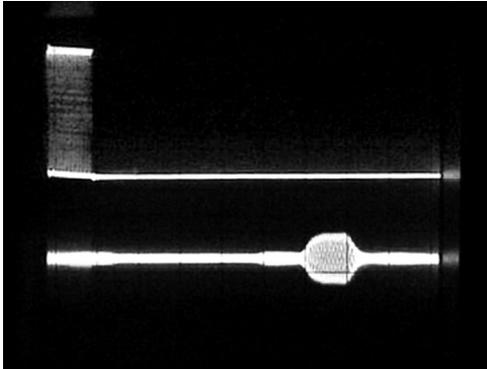


Figure 3.3

Réglages:

- base de temps: 1 ms/div
- canal 1: 5 V/div
mode AC
- canal 2: 20 mV/div
mode AC

Remarque 2

En choisissant une distance sonar-obstacle supérieure à 80 cm, d'une part on augmente la précision de la mesure, d'autre part on réduit le nombre de signaux dus aux réflexions successives et dont la présence nuit à la lisibilité de l'oscillogramme.

Manipulation 4

Absorption des ondes ultrasonores par différents matériaux

1. But

Mettre en évidence:

- que tous les matériaux, à épaisseur constante, n'absorbent pas les ultrasons de la même façon;
- qu'un matériau peut être transparent pour la lumière (onde électromagnétique) et absorbant pour les ultrasons (onde matérielle);
- que l'absorption des ultrasons augmente avec l'épaisseur du matériau.

2. Principe

Un émetteur envoie des signaux ultrasonores en mode continu. Après avoir traversé une certaine épaisseur de matériau, ces signaux sont captés par un récepteur. À partir des oscillogrammes obtenus, pour chaque type de matériau puis pour plusieurs épaisseurs d'un même matériau, on peut comparer les différents pouvoirs d'absorption.

3. Matériel nécessaire

1 générateur 40 kHz utilisé en mode continu
1 émetteur (rouge)
1 récepteur (noir)
2 colliers munis de fiches bananes
1 feuille de polystyrène expansé (*Frigolite*) de 9 mm d'épaisseur
4 feuilles de mousse synthétique de 7 mm d'épaisseur
1 feuille de plastique transparent
1 feuille de papier*
1 planchette de bois
1 oscilloscope double trace*
1 tournevis*
Fils de connexion*

* Matériel ne faisant pas partie de la collection.

4. Schéma du montage

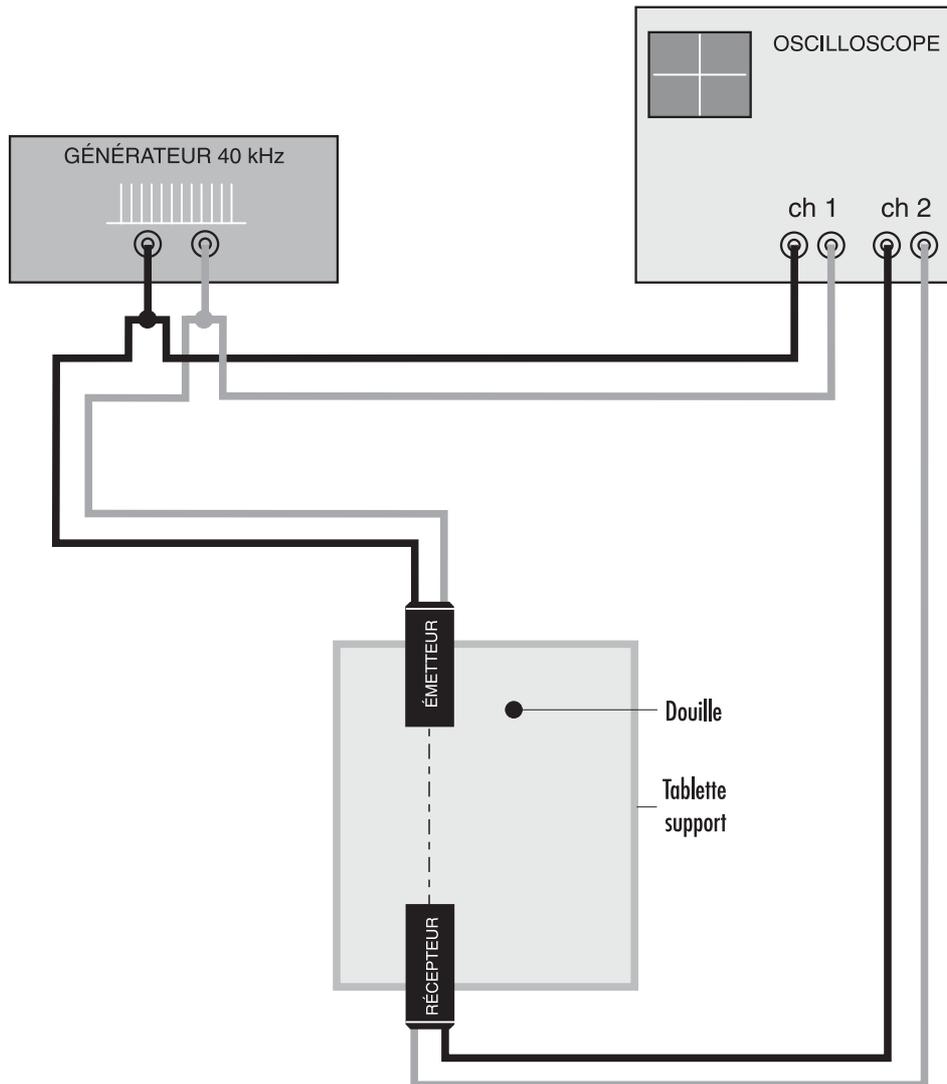


Figure 4.1

5. Manipulation

1. Fixer, à l'aide du tournevis, les cylindres de l'émetteur et du récepteur dans les colliers munis de fiches bananes.
2. Réaliser le montage schématisé à la figure 4.1, le générateur étant utilisé en mode continu. Respecter les couleurs des douilles et des fiches de raccordement. Les colliers, équipés de l'émetteur et du récepteur, sont enfichés dans la tablette support.
3. Mettre le générateur et l'oscilloscope sous tension. Veiller à ce que le déclenchement du balayage de l'oscilloscope se fasse sur le signal provenant du générateur. Mettre l'oscilloscope en mode *Dual* et éliminer la trace du signal provenant du générateur en la déplaçant hors de l'écran.

4. Choisir une base de temps de 10 $\mu\text{s}/\text{div}$.
5. Aligner soigneusement les cylindres de l'émetteur et du récepteur.
6. Mesurer, de pic à pic, l'amplitude du signal reçu sans matériau interposé entre l'émetteur et le récepteur. Noter la valeur mesurée.
7. Placer successivement les matériaux suivants **contre la sortie de l'émetteur**:
 - une feuille de mousse synthétique de 7 mm d'épaisseur;
 - une feuille de polystyrène de 9 mm d'épaisseur;
 - une feuille de plastique transparent;
 - une feuille de papier;
 - une planchette de bois.

Mesurer, dans chaque cas, l'amplitude des signaux reçus (canal 2) et noter sa valeur.

8. Placer successivement à la sortie de l'émetteur une, deux, trois puis quatre feuilles de mousse synthétique. Mesurer dans chaque cas l'amplitude des signaux reçus et noter sa valeur.

6. Exploitation

1. À partir des résultats obtenus au point 7 de la manipulation, classer les matériaux utilisés par ordre de pouvoir d'absorption décroissant.
2. Après examen des résultats obtenus au point 8 de la manipulation, que peut-on dire de l'influence de l'épaisseur du matériau interposé sur l'amplitude du signal reçu? La relation entre ces deux grandeurs est-elle une relation simple du type «directement ou inversement proportionnelle» ou est-elle plus complexe?

7. Résultats et interprétation

1. À titre d'exemples, voici des résultats obtenus:

Matériau	Amplitude du signal (mv)
Air	400
Mousse (7 mm)	300
Polystyrène (9 mm)	30
Papier (1 feuille)	20
Plastique (1 feuille)	15
Bois (7 mm)	non mesurable

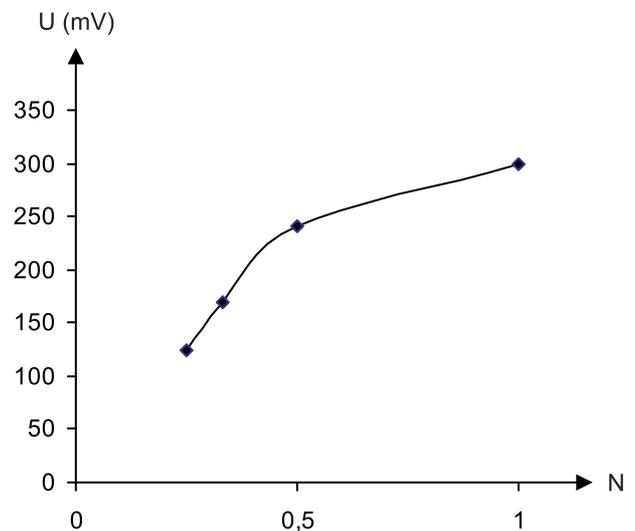
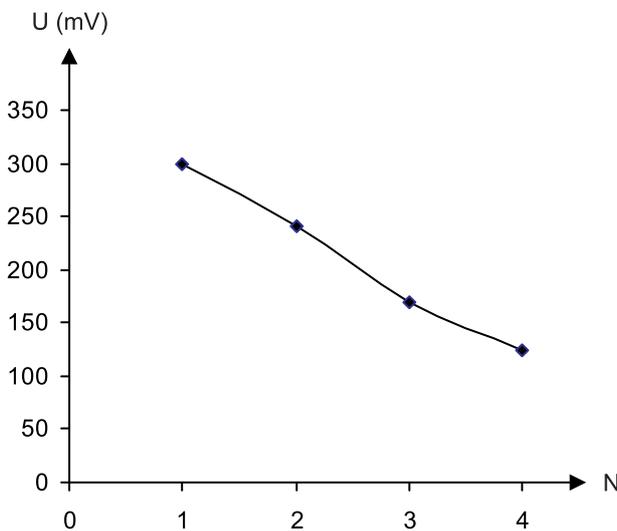
Tous les matériaux ne transmettent pas de la même façon l'énergie des ultrasons qui les frappent. Le plastique, transparent à la lumière, est pratiquement opaque aux ondes ultrasonores.

2. À titre d'exemple, voici des résultats obtenus; N est le nombre de couches et U l'amplitude du signal.

N	U (mV)
1	300
2	240
3	170
4	125

On observe que l'amplitude du signal transmis diminue à mesure que l'épaisseur de la mousse synthétique interposée augmente.

L'amplitude du signal reçu n'est pas inversement proportionnelle à l'épaisseur du matériau interposé comme le montre les graphiques ci-dessous. La relation entre ces deux grandeurs est plus complexe et sort du cadre de ces manipulations.



Remarque

La mousse synthétique se comporte de la même façon vis-à-vis des ondes sonores et des ondes ultrasonores. Son pouvoir d'absorption est élevé, ce qui justifie son emploi dans le domaine de l'isolation acoustique (un local entièrement tapissé de mousse épaisse est dit **anéchoïde**, c'est-à-dire que les ondes sonores qui atteignent ses parois sont entièrement absorbées par celles-ci).

Manipulation 5

Détermination de la longueur d'onde des ondes ultrasonores

1. But

Mettre en évidence la périodicité spatiale des ultrasons et calculer leur longueur d'onde.

2. Principe

Un émetteur envoie des signaux ultrasonores vers deux récepteurs mobiles situés face à lui. Au départ, ces derniers sont situés côte à côte et les signaux qu'ils reçoivent sont en phase. Par la suite, le déplacement relatif du premier récepteur par rapport au second entraîne, à l'écran de l'oscilloscope, la translation d'un signal par rapport à l'autre. On met ainsi en évidence la périodicité spatiale en observant les mises en phase des signaux. C'est le lien entre le nombre de celles-ci et le déplacement relatif des récepteurs qui permet de calculer la longueur d'onde.

3. Matériel nécessaire

- 1 générateur 40 kHz utilisé en mode continu
- 1 émetteur (rouge)
- 2 récepteurs (noir)
- 2 colliers munis de fiches bananes
- 1 socle de bois muni d'un collier
- 1 planche découpée en U et graduée
- 1 oscilloscope double trace*
- 1 tournevis*

* Matériel ne faisant pas partie de la collection.

4. Schéma du montage

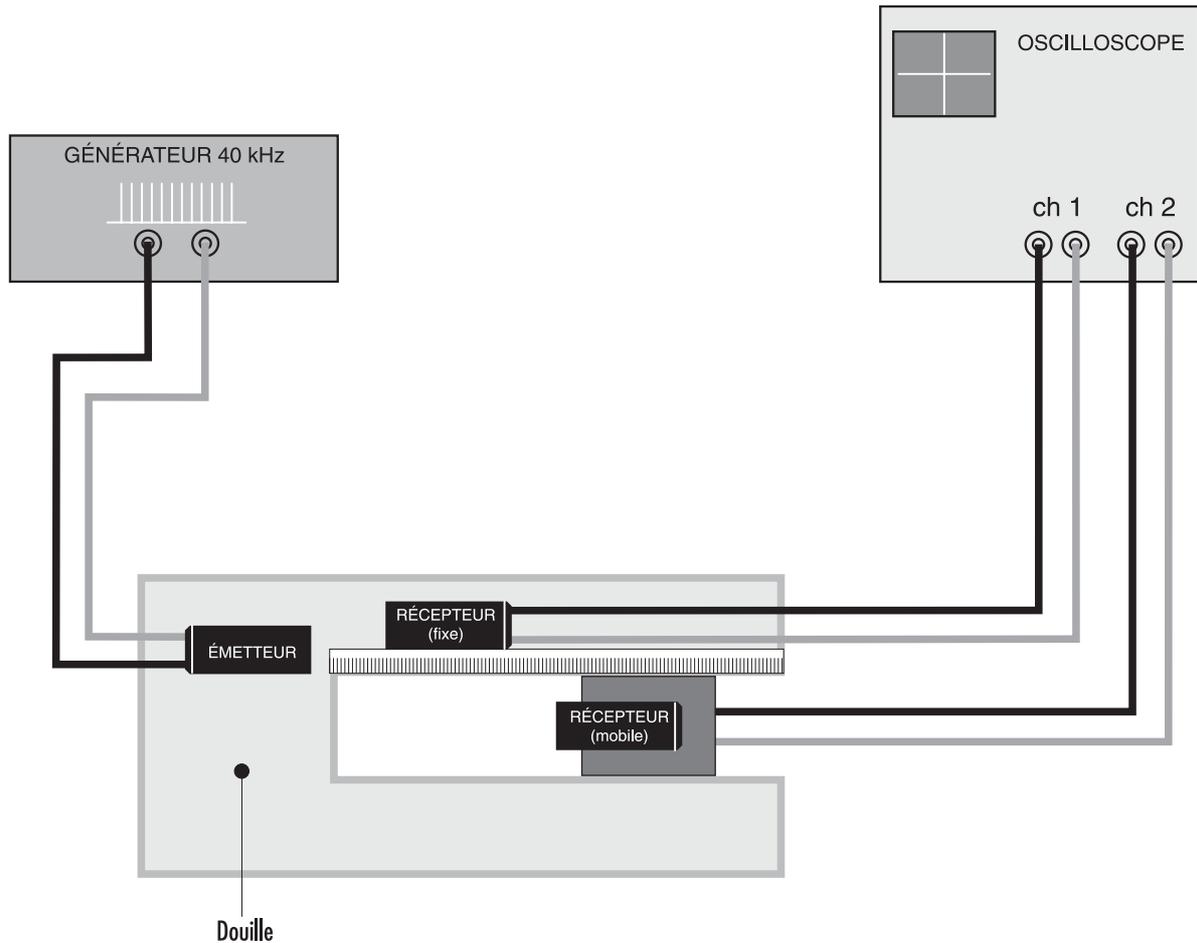


Figure 5.1

5. Manipulation

1. Fixer, à l'aide du tournevis, les cylindres de l'émetteur et du récepteur dans les colliers munis d'une fiche banane.
2. Fixer, à l'aide du tournevis, le deuxième récepteur dans le collier vissé sur un socle de bois. Régler la position du cylindre de manière à amener sa gorge à la verticale du bord du socle comme indiqué sur la figure 5.2.
3. Réaliser le montage schématisé à la figure 5.1, le générateur étant utilisé en mode continu. Respecter les couleurs des douilles et des fiches de raccordement.
4. Placer les deux récepteurs côte à côte, de part et d'autre de la règle graduée, face à l'émetteur.

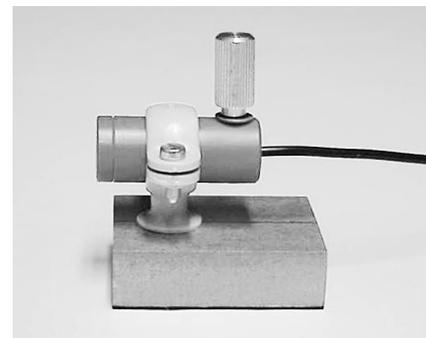


Figure 5.2

5. Mettre le générateur et l'oscilloscope sous tension. Veiller à ce que le déclenchement du balayage de l'oscilloscope se fasse sur le signal provenant du récepteur fixe. Mettre l'oscilloscope en mode *Dual*.
6. Ajuster la position du récepteur mobile de façon à obtenir les signaux en phase.
7. Déplacer très lentement le récepteur mobile le long de la règle et observer la translation du signal sur l'écran de l'oscilloscope. Effectuer quelques mesures de la façon suivante: compter, pour chaque déplacement du récepteur mobile, le nombre de mises en phase successives des signaux observés. Noter ce nombre (N) ainsi que la mesure du déplacement (d) du récepteur mobile.

6. Exploitation

1. À partir d'une documentation, rechercher la définition de la longueur d'onde.
2. À partir de cette définition et des résultats obtenus au point 7 de la manipulation, calculer la longueur d'onde des ondes ultrasonores utilisées ici.

7. Résultats et interprétation

1. Une longueur d'onde:
 - a la même mesure que la distance parcourue par l'onde pendant une période;
 - est la plus petite distance séparant deux points de l'onde dans le même état vibratoire (c'est-à-dire deux points vibrant en concordance de phase).
2. À titre d'exemple:

d (mm)	N	λ (mm)
89	10	8,9
87	10	8,7
88	10	8,8
89	10	8,9
178	20	8,9

Ces résultats ont été obtenus à la température de 22°C.

La longueur d'onde peut également être calculée à partir de la fréquence des ultrasons (40 kHz) et de leur célérité dans l'air.

À 22°C, la célérité des ondes ultrasonores (tables de référence) est 344,54 m . s⁻¹.

La longueur d'onde vaut alors:

$$\lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{344,54}{40\,000} = 0,0086 \text{ m} = 8,6 \text{ mm}$$

Manipulation 6

Réflexion des ondes ultrasonores

1. But

Vérifier la loi de réflexion dans le cas d'ondes ultrasonores.

2. Rappel théorique

- ◆ **Front d'onde:** lieu géométrique des points vibrant en phase et avec la même amplitude. Dans le cas d'une source ponctuelle, les fronts d'onde sont sphériques.
- ◆ **Ligne d'onde:** intersection d'un plan et d'un front d'onde. Dans le cas d'une source ponctuelle, les lignes d'onde sont circulaires.

3. Principe

À partir du repérage d'une ligne d'onde formée par l'onde réfléchiée, tracer la direction de propagation de ces ondes réfléchiées; tracer ensuite la direction de propagation des ondes incidentes.

4. Matériel nécessaire

1 générateur 40 kHz utilisé en mode continu
1 émetteur (rouge)
1 récepteur (noir)
2 socles de bois munis d'un collier
1 obstacle plan d'inclinaison réglable
1 ou plusieurs feuilles de papier ou de carton (format A3)*
1 oscilloscope double trace*
1 tournevis*
Fils de connexion*

* Matériel ne faisant pas partie de la collection.

5. Schéma du montage

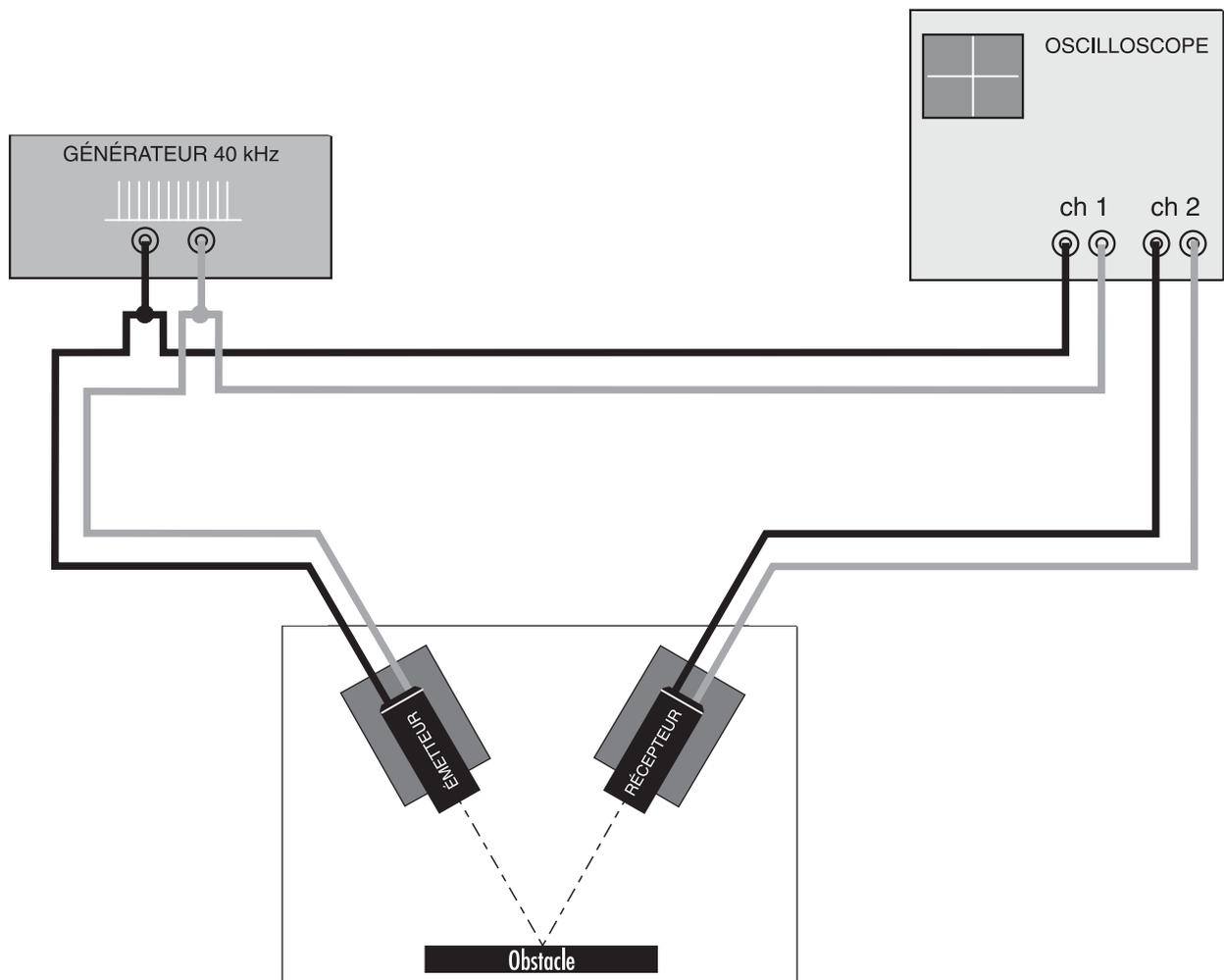


Figure 6.1

6. Manipulation

1. Fixer, à l'aide du tournevis, les cylindres émetteur et récepteur dans les colliers vissés sur les socles de bois. Régler la position des cylindres de manière à amener leur gorge à la verticale du bord des socles comme indiqué sur la figure 6.2.
2. Disposer l'obstacle sur la feuille de papier (format A3) parallèlement à la longueur pour qu'il recouvre la feuille de 2 cm environ.
3. Tracer, sur la feuille de papier, la ligne d, intersection de l'obstacle et de cette feuille.



Figure 6.2

4. Réaliser le montage schématisé à la figure 6.1, le générateur étant utilisé en mode continu. Respecter les couleurs des douilles et des fiches de raccordement.
5. Placer l'émetteur sur son socle à une vingtaine de centimètres de l'écran en l'orientant de façon telle que le faisceau émis arrive sur l'écran sous une incidence d'environ 30° .
6. Marquer, sur la feuille, le point S correspondant à la projection du centre de la surface émettrice.
7. Placer le récepteur sur son socle à environ 20 cm de l'écran, en orientant approximativement l'axe du cylindre vers la partie de l'écran qui reçoit les ondes émises.
8. Mettre le générateur et l'oscilloscope sous tension. Veiller à ce que le déclenchement du balayage de l'oscilloscope se fasse par le signal provenant du générateur. Mettre l'oscilloscope en mode *Dual* et éliminer la trace du signal provenant du générateur en la déplaçant hors de l'écran.
9. Effectuer les réglages pour que le signal reçu occupe toute la hauteur de l'écran. Au besoin, décalibrer le gain du canal 2 de l'oscilloscope.
10. Repérer, sur la feuille, le point R_0 correspondant à la projection du centre de la surface réceptrice.
11. Déplacer lentement le récepteur, de part et d'autre de R_0 , pour tracer, point par point, la ligne d'onde* passant par R_0 . **Bien veiller à ce que l'amplitude et la phase du signal reçu ne changent pas.**
12. Tracer le segment** AB limité par les deux points extrêmes A et B repérés sur la ligne d'onde.
13. Tracer la médiatrice du segment AB qui coupe d en I.
14. Joindre le point I à S et tracer par I la normale à d.
15. Mener une parallèle à d passant par S (ou par R_0) de façon à faire apparaître deux grands triangles rectangles de part et d'autre de la normale.
16. Calculer*** la valeur des angles d'incidence i et de réflexion r à partir de la mesure des côtés de l'angle droit.
17. Noter les résultats dans un tableau tel celui ci-dessous:

i (°)	r (°)

18. Reprendre les points 5 à 17 de la manipulation pour d'autres positions de l'émetteur, en veillant à ne pas choisir des angles d'incidence inférieurs à 25° .

* Cette ligne est circulaire, si on suppose que la source est ponctuelle.

** Ce segment est une corde de la ligne d'onde, pour autant que la source soit ponctuelle.

*** La précision de la valeur des angles est meilleure par le calcul trigonométrique que par la mesure directe avec un rapporteur.

7. Exploitation

Comparer les angles i et r . La loi de réflexion est-elle vérifiée?

8. Résultats

À titre d'exemples, voici des résultats obtenus:

i (°)	r (°)
29,3	29,5
31,3	31,1
25,1	24,7
32,2	30,7
26,2	25,0

La figure 6.3 reproduit, à l'échelle 0,62, une des constructions réalisées.

La loi de réflexion est vérifiée avec une approximation inférieure à 5 % (incertitude sur la détermination des angles i et r).

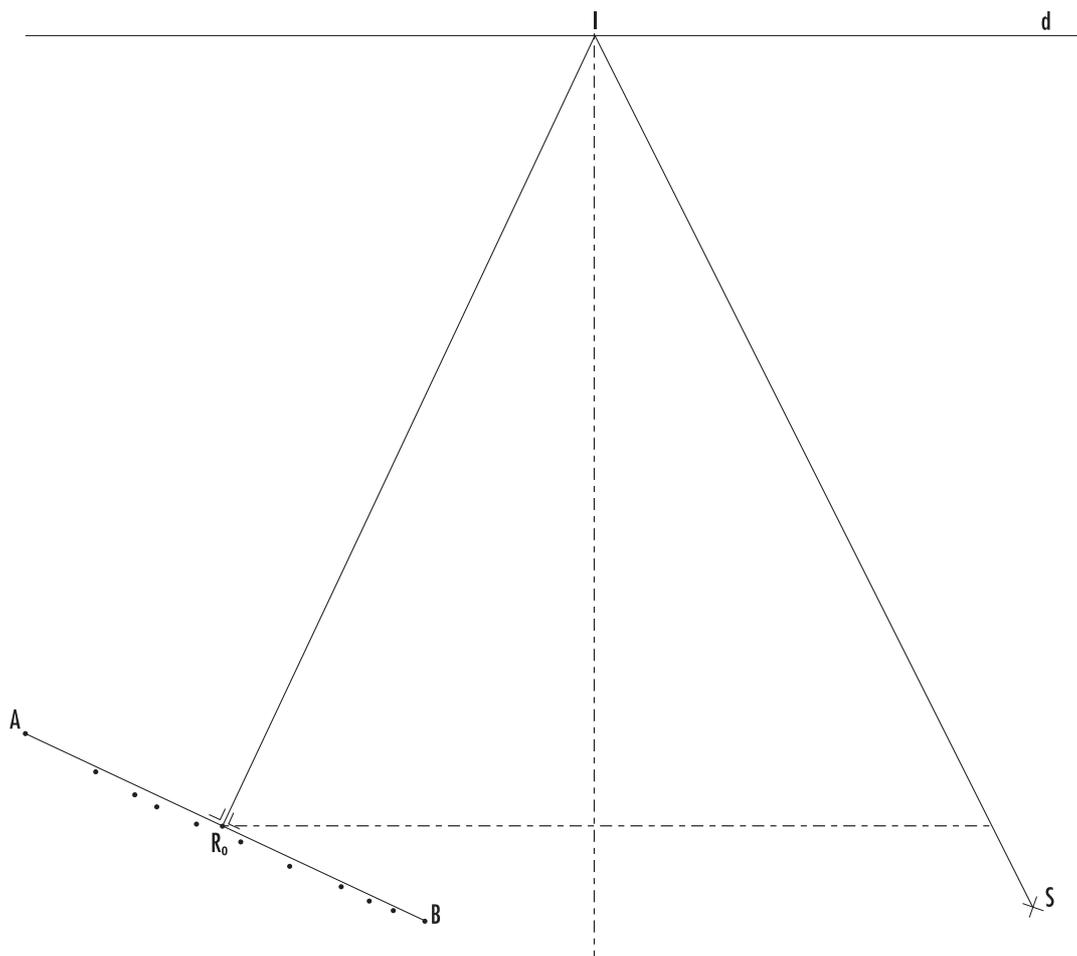


Figure 6.3

Manipulation 7

Mise en évidence de l'effet Doppler

1. But

Montrer que la fréquence du signal ultrasonore capté par un récepteur est liée au mouvement relatif de celui-ci par rapport à l'émetteur.

2. Principe

Un récepteur situé face à un émetteur capte des ondes ultrasonores. Un fréquencemètre connecté aux bornes de ce récepteur mesure et affiche la fréquence des ondes qu'il reçoit. La lecture de cette fréquence au cours de différents mouvements du récepteur par rapport à l'émetteur permet de présenter **qualitativement** l'effet Doppler.

3. Matériel nécessaire

- 1 générateur 40 kHz utilisé en mode continu
- 1 émetteur (rouge)
- 1 récepteur (noir)
- 1 tube de 1,2 m percé d'une longue fenêtre
- 1 fréquencemètre* (avec mesure de la fréquence tous les 0,1 s; par exemple: EA 3300 33285)
- 1 latte rigide* (longueur maximale 30 cm)

* Matériel ne faisant pas partie de la collection.

4. Schéma du montage

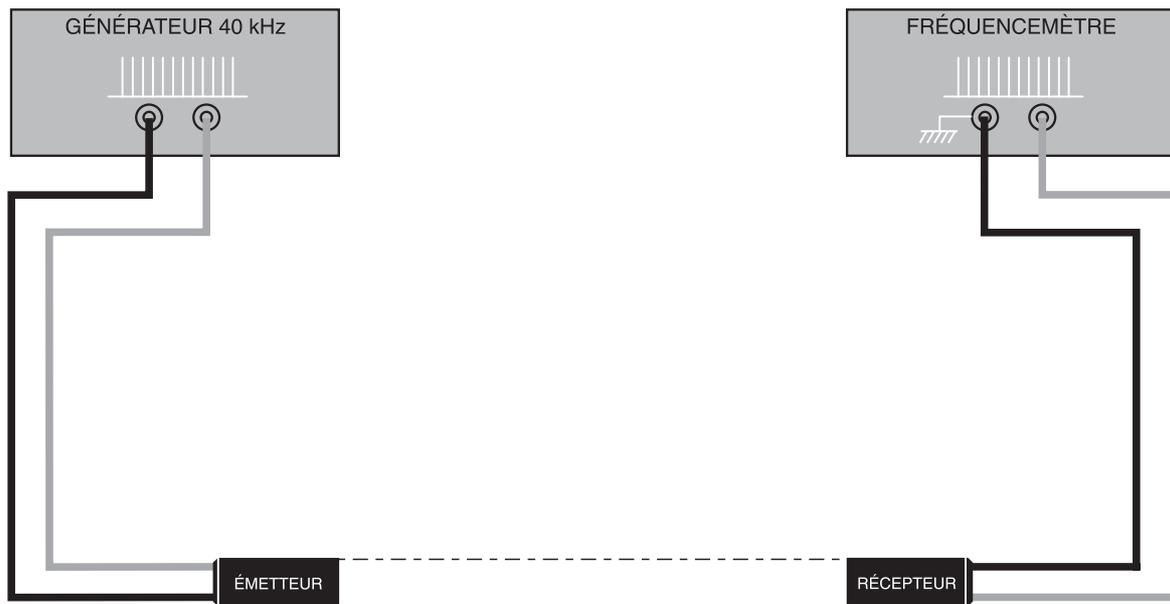


Figure 7.1

5. Manipulation

1. Dévisser les tiges moletées des cylindres de l'émetteur et du récepteur, puis insérer ceux-ci aux extrémités du tube et revisser les tiges moletées (sans serrer exagérément). Ne pas caler le récepteur.
2. Réaliser le montage de la figure 7.1, le générateur étant utilisé en mode continu. Respecter les couleurs des douilles et des fiches de raccordement.
3. Mettre le générateur et le fréquencesmètre sous tension.
4. Sélectionner, sur le fréquencesmètre, la sensibilité 50 mV ainsi que le calibre $\times 1\,000$ Hz.
5. Lire la fréquence des ondes reçues par le récepteur lorsque celui-ci est au repos puis en mouvement; modifier les caractéristiques des mouvements de l'émetteur et du récepteur. Noter les résultats obtenus dans un tableau tel que celui ci-après.

	Caractéristiques des mouvements de l'émetteur et du récepteur		Fréquence
Émetteur fixe Récepteur fixe			
Émetteur fixe et récepteur en mouvement	Rapprochement de l'émetteur	Lent	
		Rapide	
	Éloignement de l'émetteur	Lent	
		Rapide	
Récepteur fixe et émetteur en mouvement	Rapprochement du récepteur	Lent	
		Rapide	
	Éloignement du récepteur	Lent	
		Rapide	
Émetteur en mouvement et récepteur en mouvement	Rapprochement de l'émetteur et du récepteur	Lent	
		Rapide	
	Éloignement de l'émetteur et du récepteur	Lent	
		Rapide	
	Distance émetteur-récepteur constante*	Lent	
		Rapide	

6. Exploitation

1. Rechercher, à partir d'une documentation, la définition de ce qu'on appelle mouvement relatif et vitesse relative d'un objet ponctuel par rapport à un autre.
2. Rechercher dans le tableau établi au point 5 de la manipulation un lien entre:
 - les fréquences affichées et les mouvements relatifs du récepteur par rapport à l'émetteur (éloignement, rapprochement, distance constante);
 - les fréquences affichées et les vitesses relatives du récepteur par rapport à l'émetteur (lent, rapide).

* Pour conserver la distance émetteur-récepteur constante, maintenir les tiges moletées des cylindres émetteur et récepteur de chaque côté de la latte (sans visser les tiges), ensuite, faire glisser l'ensemble émetteur-latte-récepteur lentement puis rapidement.

7. Résultats et interprétation

1. On dit qu'il y a mouvement relatif de deux objets ponctuels A et B lorsque, dans un référentiel donné, la distance qui les sépare varie au cours du temps.

Dans un référentiel lié à l'objet A, la vitesse de l'objet B est appelée vitesse relative de B par rapport à A.

2. Voici un exemple de résultats obtenus.

	Caractéristiques des mouvements de l'émetteur et du récepteur		Fréquence
Émetteur fixe Récepteur fixe			40 000 Hz
Émetteur fixe et récepteur en mouvement	Rapprochement de l'émetteur	Lent	40 020 Hz
		Rapide	40 060 Hz
	Éloignement de l'émetteur	Lent	39 980 Hz
		Rapide	39 930 Hz
Récepteur fixe et émetteur en mouvement	Rapprochement du récepteur	Lent	40 030 Hz
		Rapide	40 060 Hz
	Éloignement du récepteur	Lent	39 980 Hz
		Rapide	39 930 Hz
Émetteur en mouvement et récepteur en mouvement	Rapprochement de l'émetteur et du récepteur	Lent	40 050 Hz
		Rapide	40 140 Hz
	Éloignement de l'émetteur et du récepteur	Lent	39 950 Hz
		Rapide	39 850 Hz
	Distance émetteur-récepteur constante	Lent	40 000 Hz
		Rapide	40 000 Hz

Les résultats notés dans le tableau permettent d'établir que:

- chaque fois qu'il y a **rapprochement** du récepteur par rapport à l'émetteur, la fréquence des ondes reçues par le récepteur est **supérieure** à la fréquence des ondes émises par l'émetteur;
chaque fois qu'il y a **éloignement** du récepteur par rapport à l'émetteur, la fréquence des ondes reçues par le récepteur est **inférieure** à la fréquence des ondes émises par l'émetteur;
- chaque fois que la **distance** entre l'émetteur et le récepteur **reste constante** au cours du temps, c'est-à-dire lorsqu'il n'y a **pas de mouvement relatif** du récepteur par rapport à l'émetteur, la fréquence des ondes reçues par le récepteur est **égale** à la fréquence des ondes émises par l'émetteur;
- la différence entre la fréquence des ondes émises et celle des ondes reçues augmente lorsque la vitesse relative augmente.

Manipulation 8

Détermination de la célérité des ondes ultrasonores dans différents matériaux

1. But

Calculer la célérité des ondes ultrasonores dans de la mousse synthétique et dans du polystyrène après avoir déterminé l'indice de réfraction (pour des ondes ultrasonores) de ces deux matériaux par rapport à l'air, à une température donnée.

2. Théorie

La célérité v des ondes ultrasonores dans l'air est donnée par la relation:

$$v = \frac{e}{\Delta t} \quad (1)$$

où: e : épaisseur d'une couche d'air (m)

Δt : durée de la traversée de la couche d'air (s)

La célérité v' des ondes ultrasonores dans un matériau différent de l'air mais de même épaisseur e s'écrit:

$$v' = \frac{e}{\Delta t + \alpha T} \quad (2)$$

où: T : période des ultrasons (s)

αT : retard pris par les ultrasons lors de la traversée du matériau (s)

Mais:

$$\lambda = vT \quad (3)$$

où: λ : longueur d'onde dans l'air (m)

En tenant compte de (1) et de (3), (2) devient:

$$v' = \frac{e}{\frac{e}{v} + \alpha \frac{\lambda}{v}}$$
$$v' = \frac{ev}{e + \alpha\lambda} = \frac{v}{1 + \alpha \frac{\lambda}{e}} \quad (4)$$

On définit l'indice de réfraction n d'un matériau par rapport à un autre (par exemple l'air) comme étant:

$$n = \frac{v}{v'} \quad (5)$$

En remplaçant (4) dans (5), on a:

$$n = \frac{\frac{v}{1 + \alpha \frac{\lambda}{e}}}{\frac{v}{1 + \alpha \frac{\lambda}{e}}} = 1 + \alpha \frac{\lambda}{e}$$

$$n = 1 + \alpha \frac{\lambda}{e}$$

3. Principe

Un récepteur d'ultrasons placé face à un émetteur capte les ondes émises par celui-ci. Si on interpose un morceau de mousse synthétique ou de polystyrène entre l'émetteur et le récepteur, la durée du parcours de l'onde ultrasonore est plus grande, ce qui entraîne, sur l'écran de l'oscilloscope, un déplacement du signal reçu. Connaissant l'épaisseur du matériau interposé et le retard que ce dernier entraîne, il est possible de calculer l'indice de réfraction de ce matériau par rapport à l'air et donc la célérité des ultrasons dans le matériau considéré.

4. Matériel nécessaire

- 1 générateur 40 kHz utilisé en mode continu
- 1 émetteur (rouge)
- 1 récepteur (noir)
- 2 colliers munis de fiches bananes
- 1 tablette support en bois
- 1 échantillon de polystyrène
- 3 ou 4 échantillons de mousse synthétique
- 1 oscilloscope double trace*
- 1 tournevis*
- Fils de connexion*

* Matériel ne faisant pas partie de la collection.

5. Schéma du montage

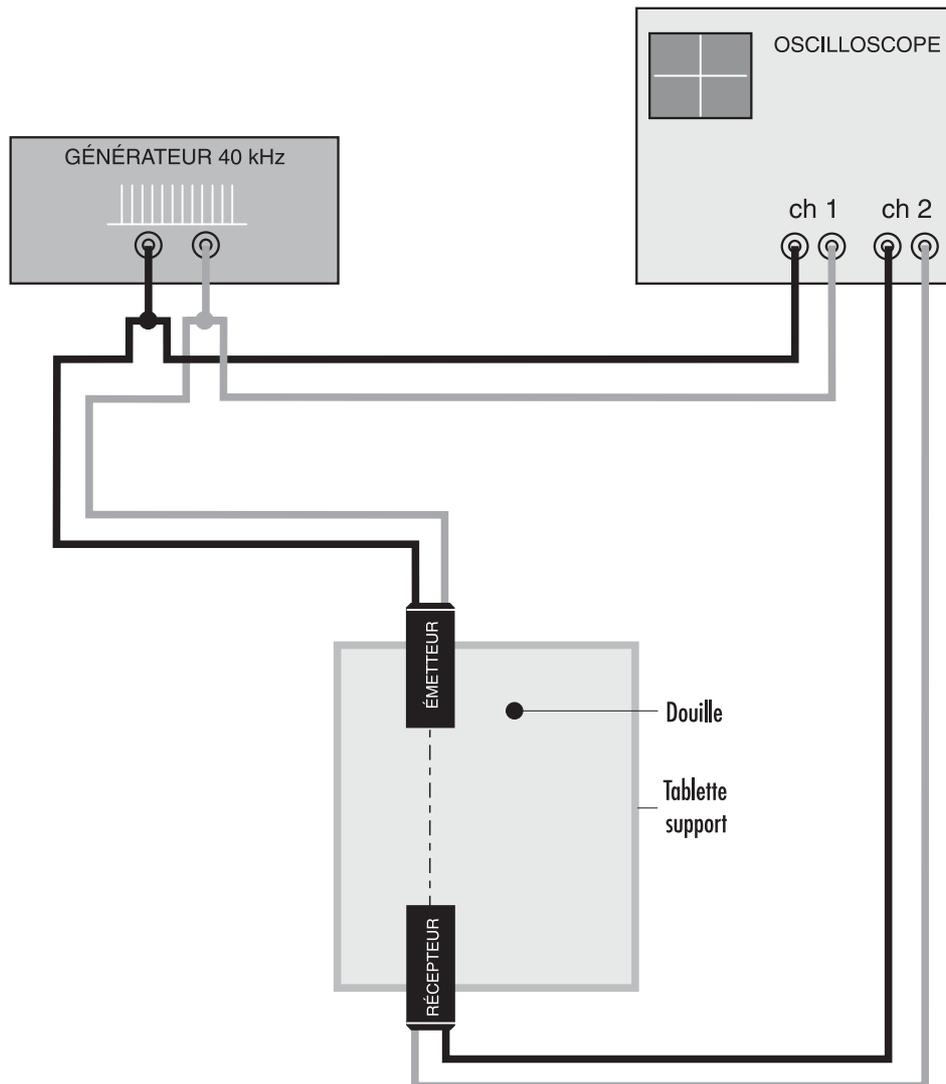


Figure 8.1

6. Manipulation

1. Fixer, à l'aide du tournevis, les cylindres de l'émetteur et du récepteur dans les colliers munis de fiches bananes.
2. Réaliser le montage schématisé à la figure 8.1, le générateur étant utilisé en mode continu. Respecter les couleurs des douilles et des fiches de raccordement. Les colliers, équipés de l'émetteur et du récepteur, sont enfichés sur la tablette support.
3. Mettre le générateur et l'oscilloscope sous tension. Veiller à ce que le déclenchement du balayage de l'oscilloscope se fasse par le signal provenant du générateur. Mettre l'oscilloscope en mode *Dual* et éliminer la trace du signal provenant du générateur en le déplaçant hors de l'écran.

4. Choisir une base de temps de 5 $\mu\text{s}/\text{div}$.
5. Aligner soigneusement les cylindres de l'émetteur et du récepteur.
6. Mesurer, à l'oscilloscope, la période T des ondes reçues (exprimée en nombre de divisions de l'écran). Noter la valeur.
7. Placer l'écran de polystyrène contre le récepteur. Mesurer le déplacement δ du signal reçu (exprimé en nombre de divisions de l'écran) ainsi que l'épaisseur e de l'écran et les noter.
8. Refaire le point 7 de la manipulation en remplaçant le polystyrène par trois ou quatre échantillons de mousse synthétique.

7. Exploitation

1. À partir de la relation (6), calculer:

- le retard α (en fraction de période) sachant que $\alpha = \frac{\delta}{T}$;
- l'indice de réfraction du polystyrène par rapport à l'air;
- l'indice de réfraction de la mousse synthétique par rapport à l'air.

2. À partir des valeurs calculées au point 1 de l'exploitation, déterminer la célérité des ondes ultrasonores:

- dans le polystyrène;
- dans la mousse synthétique.

8. Résultats

1. Voici les résultats obtenus successivement avec le polystyrène* et la mousse synthétique:

a) polystyrène:

$$T = 5 \text{ divisions}$$

$$\delta = 3,8 \text{ divisions}$$

$$e = 9 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{3,8}{5} = 0,76$$

$$n = 1 + 0,76 \frac{345,12}{9 \cdot 10^{-3}} = 1,7$$

* Le déplacement δ du signal dépend de la masse volumique de la partie du polystyrène placée devant le récepteur. D'une expérience à l'autre, les résultats peuvent être différents.

b) mousse synthétique:

$$T = 5 \text{ divisions}$$

$$\delta = 1 \text{ division}$$

$$e = 2,1 \text{ cm}$$

$$\alpha = \frac{1}{5} = 0,2$$

$$n = 1 + 0,2 \frac{345,12}{2,1 \cdot 10^{-2}} = 1,1$$

2. Puisque $v' = \frac{v}{n}$, que la fréquence des ultrasons est de 40 kHz et que, d'après les tables, à la température de 23°C, la vitesse des ondes sonores est de 345,12 m/s, on a:

a) polystyrène:

$$v' = \frac{v}{n} = \frac{345,12}{1,7} = 203 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

b) mousse synthétique:

$$v' = \frac{v}{n} = \frac{345,12}{1,1} = 314 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Manipulation 9

Mise en évidence du phénomène d'interférence des ondes ultrasonores

1. But

Montrer que, lorsque deux signaux interfèrent, certains points de l'espace reçoivent des signaux en phase ou en opposition; il en résulte que les amplitudes de ces signaux s'additionnent ou se soustraient et que la différence de marche par rapport aux deux sources est un nombre pair ou impair de demi-longueurs d'onde.

2. Principe

Deux émetteurs placés côte à côte envoient des ondes ultrasonores en continu dans la même direction. Un récepteur capte le signal résultant, qui est visualisé sur un oscilloscope. En modifiant la position du récepteur, il est possible de repérer la position des maxima et des minima de vibration.

3. Matériel nécessaire

- 1 générateur 40 kHz utilisé en mode continu
- 2 émetteurs (rouge)
- 1 récepteur (noir)
- 3 socles de bois munis d'un collier
- 1 planchette de bois
- 1 oscilloscope double trace*
- 1 tournevis*
- 1 feuille de papier ou de carton (format A3)*
- 1 règle graduée de 40 ou 50 cm*
- Fils de connexion*

* Matériel ne faisant pas partie de la collection.

4. Schéma du montage

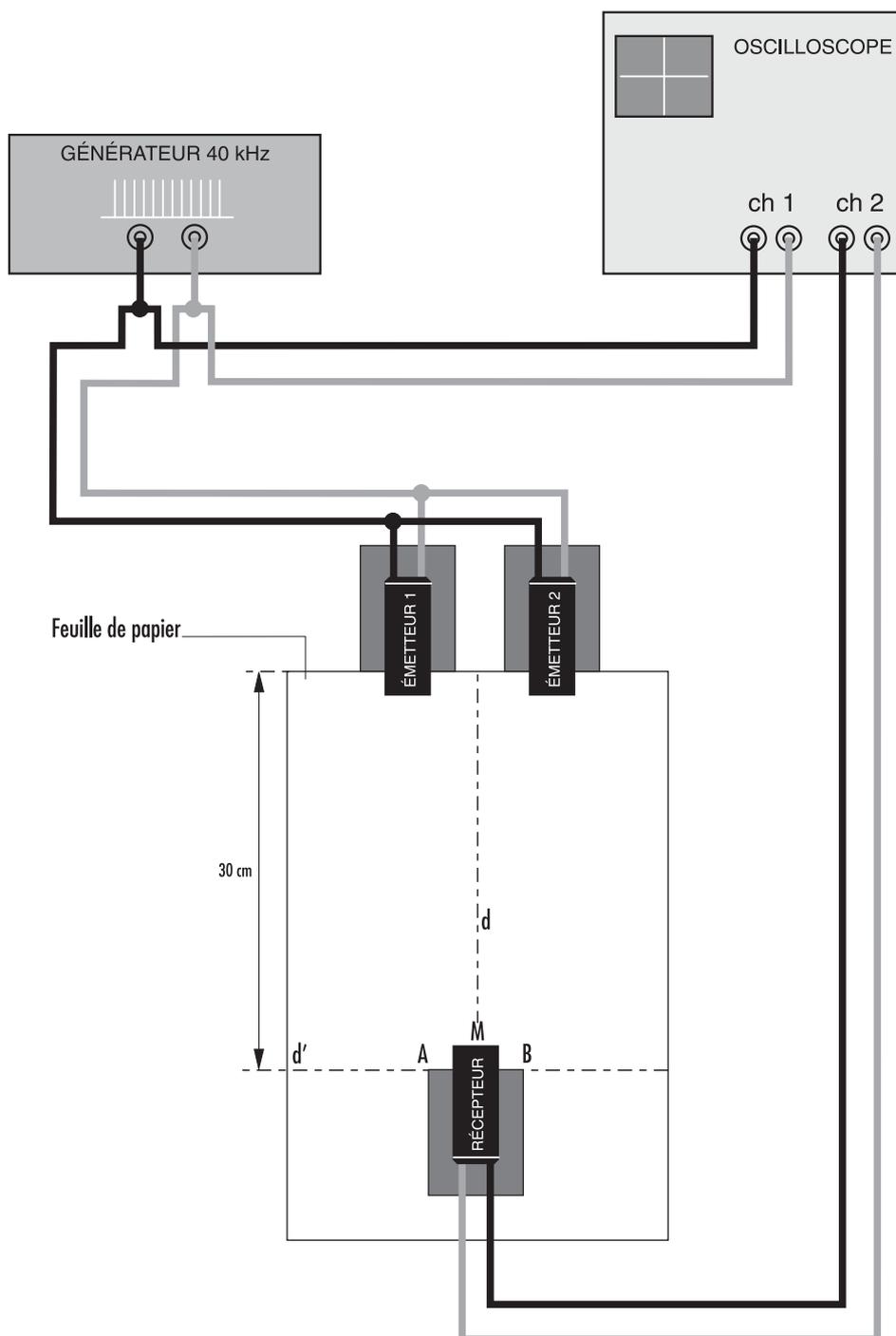


Figure 9.1

5. Manipulation

1. Fixer, à l'aide du tournevis, les cylindres des émetteurs et du récepteur dans les colliers vissés sur les socles de bois. Régler la position des cylindres de manière à amener leur gorge à la verticale du bord du socle comme indiqué sur la figure 9.2.
2. Disposer la feuille de papier de format A3 sur la table et tracer la droite d représentant la plus grande des médianes. En se référant à la figure 9.1, placer les deux émetteurs côte à côte et de chaque côté de la prolongation de la droite d .

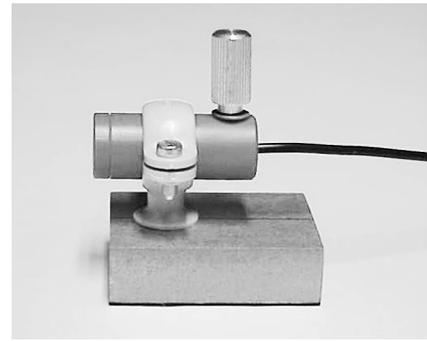


Figure 9.2

3. Repérer, sur la feuille de papier, les deux points S_1 et S_2 correspondant à la projection du centre de chacune des surfaces émettrices.
4. Tracer, sur la feuille de papier, à environ 30 cm des émetteurs, une ligne d' perpendiculaire à la droite d . Soit M l'intersection de d et de d' .
5. Réaliser le montage schématisé à la figure 9.1, le générateur étant utilisé en mode continu. Respecter les couleurs des douilles et des fiches de raccordement. Placer le récepteur de manière telle que son axe soit situé au dessus de la droite d .
6. Mettre le générateur et l'oscilloscope sous tension. Veiller à ce que le déclenchement du balayage de l'oscilloscope se fasse par le signal provenant du générateur. Mettre l'oscilloscope en mode *Dual* et éliminer la trace du signal provenant du générateur en la déplaçant hors de l'écran.
7. Choisir une base de temps de $5 \mu\text{s}/\text{div}$.
8. Vérifier si le récepteur se trouve à l'endroit d'un ventre de vibration. Pour cela, il y a lieu de le déplacer légèrement de part et d'autre du point M , en veillant à ce que le côté AB de son support se déplace le long de la droite d' . Si M n'est pas un ventre de vibration, placer le récepteur en un point M_0 sur la droite d' correspondant au maximum le plus proche. Marquer la position M_0 de ce point sur la feuille de papier (elle correspond au milieu de AB).
9. Mesurer, à l'oscilloscope, la tension U (pointe à pointe) du signal $1 + 2$ (provenant des deux sources S_1 et S_2) reçu par le récepteur et la noter.
10. Cacher, avec la planchette de bois, un des deux émetteurs. Mesurer, à l'oscilloscope, la tension U_1 du signal 1 reçu par le récepteur et la noter. Déterminer la différence de phase $\Delta\phi_1$ entre le signal $1 + 2$ et le signal 1 en enlevant puis en remettant la planchette de bois masquant l'émetteur.
11. Refaire le point 10 de la manipulation en cachant l'autre émetteur. Noter la tension U_2 et le déphasage $\Delta\phi_2$. Enlever ensuite la planchette de bois utilisée pour masquer les émetteurs.

12. Déplacer très lentement le récepteur de telle manière que AB soit toujours confondu avec d' et repérer le premier minimum m_{+1} . Refaire les points 9 à 11 de la manipulation.
13. Continuer à déplacer le récepteur dans la même direction et repérer le deuxième maximum M_{+1} . Refaire les points 9 à 11 de la manipulation.
14. Poursuivre la manipulation en refaisant les mesures pour le minimum suivant m_{+2} et le maximum M_{+2} .
15. Refaire la manipulation en déplaçant cette fois le récepteur de l'autre côté de la droite d. Repérer les points correspondant aux minima m_{-1} , m_{-2} et aux maxima M_{-1} , M_{-2} . Noter les tensions et les déphasages mesurés.
16. Enlever les deux émetteurs et le récepteur. Mesurer avec la règle graduée les distances entre chacune des sources (représentées par les points S_1 et S_2) et les positions des différents maxima et minima.
17. Noter tous les résultats obtenus dans un tableau tel celui ci-dessous.

Position	Distance par rapport à S_1 (mm)	Distance par rapport à S_2 (mm)	Δ (mm)	$\frac{\Delta}{\lambda}$ 2	U (mV)	U_1 (mV)	U_2 (mV)	U_c (mV)	$\Delta\phi_1$ (rad)	$\Delta\phi_2$ (rad)
M_0										
m_{+1}										
M_{+1}										
m_{+2}										
M_{+2}										
m_{-1}										
M_{-1}										
m_{-2}										
M_{-2}										

6. Exploitation

1. Compléter la quatrième colonne du tableau en calculant, pour chaque point, la différence de marche Δ sachant que $\Delta = |(\text{distance par rapport à } S_1 - \text{distance par rapport à } S_2)|$.
2. Calculer la cinquième colonne du tableau en calculant le rapport entre la différence de marche Δ et la demi-longueur d'onde $\frac{\lambda}{2}$. Vérifier si les résultats obtenus donnent un nombre pair (pour un ventre de vibration) ou un nombre impair (pour un nœud de vibration).
3. Compléter la neuvième colonne du tableau en calculant la tension résultante U_c à partir des valeurs de U_1 et de U_2 . Comparer U_c et U.

4. Vérifier, à partir du tableau, pour chaque position du récepteur correspondant à un ventre de vibration, si les signaux provenant des deux émetteurs sont en phase et si, pour chaque position du récepteur correspondant à un nœud de vibration, les signaux sont en opposition de phase.

7. Résultats et interprétation

1. Les résultats obtenus sont indiqués dans le tableau ci-dessous.

D'après les tables, à la température de 24°C, la célérité des ondes sonores est de 345,7 m/s. La fréquence étant de 40 kHz, la longueur d'onde λ vaut:

$$\lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{345,7}{40\,000} = 8,6 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad \rightarrow \quad \frac{\lambda}{2} = 4,3 \text{ mm}$$

Position	Distance par rapport à S ₁ (mm)	Distance par rapport à S ₂ (mm)	Δ (mm)	$\frac{\Delta}{\frac{\lambda}{2}}$	U (mV)	U ₁ (mV)	U ₂ (mV)	U _c (mV)	$\Delta\phi_1$ (rad)	$\Delta\phi_2$ (rad)
M ₀	314	314	0	0	285	150	140	290	0	0
m ₊₁	317	313	4	1	12,5	170	150	20	π	0
M ₊₁	322	313	9	2	270	170	110	280	0	0
m ₊₂	331	317	14	3	24	136	106	30	0	π
M ₊₂	341	324	17	4	215	115	110	225	0	0
m ₋₁	317	313	4	1	40	144	118	26	π	0
M ₋₁	323	314	9	2	225	140	100	240	0	0
m ₋₂	330	317	13	3	56	136	96	40	0	π
M ₋₂	341	324	17	4	200	135	80	215	0	0

2. En tenant compte des incertitudes, on constate que:

- les minima sont situés en des points tels que la différence de marche des signaux par rapport aux deux sources correspond à un nombre impair de $\frac{\lambda}{2}$;
- les maxima sont situés en des points tels que la différence de marche des signaux par rapport aux deux sources correspond à un nombre pair de $\frac{\lambda}{2}$.

3. En tenant compte des incertitudes, on constate que $U \approx U_c$.

4. D'après les deux dernières colonnes du tableau, on constate que:

- les amplitudes maximales sont obtenues lorsque les deux sources vibrent en phase;
- les amplitudes minimales sont obtenues lorsque les deux sources vibrent en opposition de phase.

Manipulation 10

Détermination de la vitesse d'un récepteur par effet Doppler

1. But

Déterminer, en utilisant l'effet Doppler, la vitesse d'un récepteur en mouvement.

2. Principe

Un émetteur fixe envoie des ondes ultrasonores. Celles-ci sont captées par deux récepteurs qui, au départ, sont placés côte à côte. Au cours de la manipulation, un des récepteurs reste fixe, l'autre peut être mis en mouvement. L'addition des signaux reçus par ces récepteurs engendre des battements. La mesure de la période de ces derniers permet d'estimer, par application de l'effet Doppler, la vitesse du récepteur en mouvement.

3. Matériel nécessaire

- 1 générateur 40 kHz utilisé en mode continu
- 1 émetteur (rouge)
- 2 récepteurs (noir)
- 3 socles de bois munis d'un collier
- 1 oscilloscope double trace*
- 1 tournevis*
- 2 rails de la collection de mécanique Phywe* (Me 0136 10002)
- 3 chariots de la collection de mécanique Phywe* (ME 0132 52123)

* Matériel ne faisant pas partie de la collection.

4. Schéma du montage

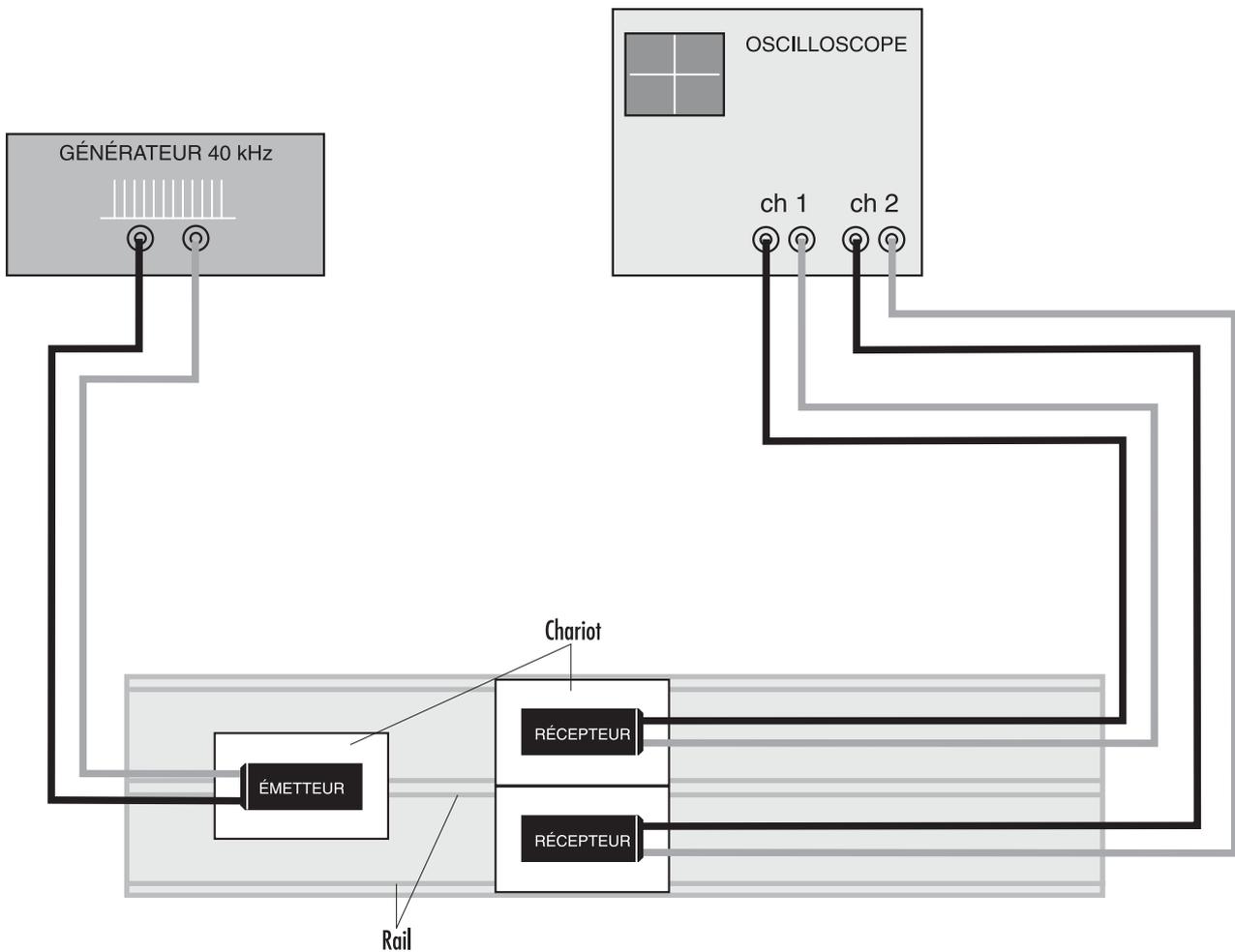


Figure 10.1

5. Manipulation

1. Fixer, à l'aide du tournevis, les cylindres de l'émetteur et des récepteurs dans les colliers vissés sur les socles de bois.
2. Placer les deux rails côte à côte. Y poser les trois chariots équipés des récepteurs et de l'émetteur comme indiqué à la figure 10.1.
3. Réaliser le montage schématisé à la figure 10.1, le générateur étant utilisé en mode continu. Respecter les couleurs des douilles et des fiches de raccordement.
4. Mettre le générateur et l'oscilloscope sous tension. Veiller à ce que le déclenchement du balayage de l'oscilloscope se fasse par le signal provenant du récepteur 1. Sélectionner le mode *Addition**

* Si l'oscilloscope utilisé n'est pas muni du mode *Addition*, vous pouvez rentrer les signaux aux bornes du canal 1 après avoir connecté les récepteurs en série. Veiller à respecter les couleurs des douilles.

5. Choisir une base de temps de 5 ms/div afin de visualiser les battements.
6. Rapprocher **lentement** le récepteur 2 de l'émetteur, en essayant de maintenir sa vitesse constante. Observer le signal à l'oscilloscope. Répéter plusieurs fois l'opération pour déterminer le mieux possible la période T du phénomène de battement. Noter le résultat obtenu.
7. Refaire le point 6 de la manipulation lorsque le chariot se déplace plus rapidement.

6. Exploitation

1. Déterminer, à partir des mesures de périodes T effectuées aux points 6 et 7 de la manipulation, la fréquence ν des battements.
2. Calculer, dans chaque cas, la fréquence ν_2 perçue par le récepteur mobile.
3. Calculer, à partir de la formule de l'effet Doppler, la vitesse du chariot 2.

7. Résultats

1. Mouvement lent:

$$T = 40 \text{ ms} \quad \nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{40 \cdot 10^{-3}} = 25 \text{ Hz}$$

Mouvement rapide:

$$T = 15 \text{ ms} \quad \nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{15 \cdot 10^{-3}} = 67 \text{ Hz}$$

2. La fréquence ν d'un battement vaut:

$$\nu = |\nu_1 - \nu_2|$$

On en déduit:

mouvement lent: $\nu_2 = 40\,000 + 25 = 40\,025 \text{ Hz}$

mouvement rapide: $\nu_2 = 40\,000 + 67 = 40\,067 \text{ Hz}$

3. D'après la formule de l'effet Doppler, lorsque le récepteur se rapproche de l'émetteur fixe, on a:

$$v_2 = v_1 \frac{v + v_2}{v}$$

La température de l'air au moment de l'expérience étant de 23°C, les tables donnent une vitesse du son égale à 347,12 m/s. On a alors:

Mouvement lent: $40\,025 = 40\,000 \frac{345,12 + v_2}{345,12}$

On en déduit: $v_2 = 0,2 \text{ m/s}$

Mouvement rapide: $40\,067 = 40\,000 \frac{345,12 + v_2}{345,12}$

On en déduit: $v_2 = 0,6 \text{ m/s}$