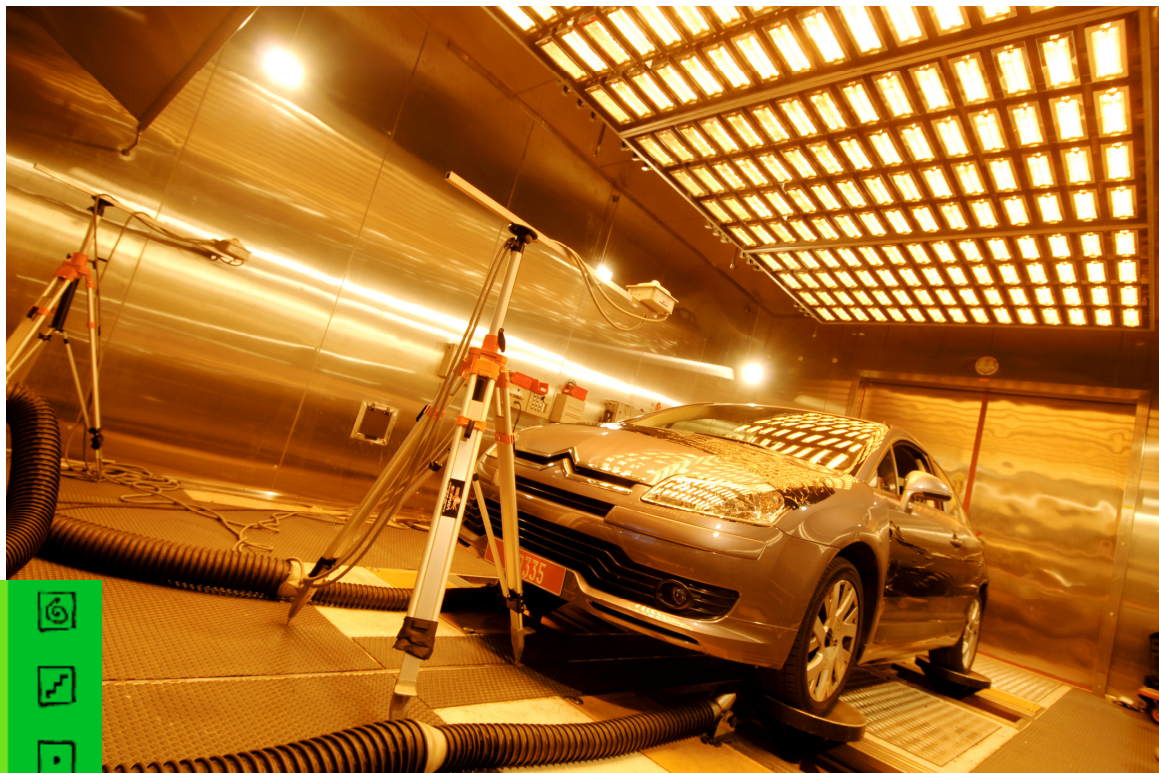


**TP
MECANIQUE VIBRATOIRE
ONDES**

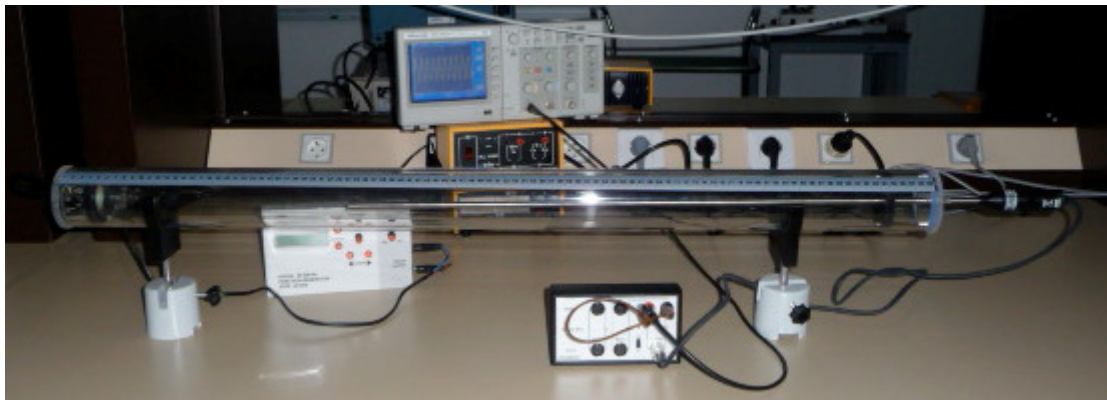
Le tube de Kundt est constitué d'un tube rigide dont une extrémité est fermée par un haut-parleur.

L'autre extrémité peut être fermée ou non et permet le passage d'une tige équipée d'un micro pour mesurer la pression acoustique à l'intérieur du tube.

L'onde sonore est générée par un GBF relié au haut-parleur.

Le GBF délivre un signal sinusoïdal.

Le micro est relié à un oscilloscope. On veille en rectifiant l'amplitude du signal délivré par le GBF à ce que le signal mesuré reste sinusoïdal et ne présente pas de distorsion.



I – RAPPELS THEORIQUES

1°/ A quelles conditions peut-on obtenir l'apparition d'ondes stationnaires résonantes dans le tube ?

2°/ Rappeler l'expression de la fréquence du n^{ième} mode de vibration propre du tube.

3°/ Qu'appelle t-on nœud et ventre de vibration ? Quelle est la distance entre deux nœuds ?

II – ETUDE DES DIFFERENTS MODES

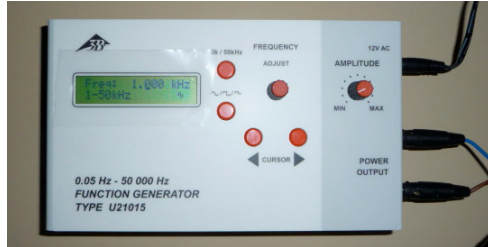
Mesurer la longueur utile du tube.

En prenant $c = 340 \text{ m/s}$, calculer la fréquence du mode fondamental.

Ajuster la fréquence du GBF pour obtenir ce 1^{er} mode

$L =$

$f_1 =$



Pour vérifier que la fréquence du GBF conduit à l'apparition d'ondes stationnaires, il faut :

- Placer le micro à l'extrémité du tube fermé
- Vérifier que l'amplitude est bien maximale (ventre de pression acoustique) et ajuster si nécessaire la fréquence du GBF. La fréquence du mode est alors affichée sur le fréquencemètre du GBF....

Par cette méthode, déterminer avec le plus de précision possible les fréquences des 6 premiers modes

n	1	2	3	4	5	6
f						

Tracer la courbe $f(n)$ et en déduire la vitesse de propagation de l'onde sonore dans le tube.

Courbe $f(n)$ collée ici

Donner la relation $f(n)$ théorique

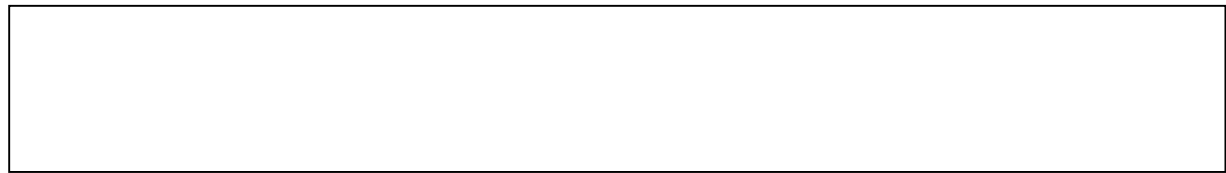
En déduire la vitesse de propagation de l'onde sonore dans le tube

III – ETUDE DU MODE 2

Déplacer le microphone pour déterminer la position et les amplitudes des nœuds et des ventres. Dessiner schématiquement la variation de l'amplitude de la pression acoustique dans le tuyau en marquant précisément la position des nœuds et des ventres et les amplitudes correspondantes.



Déterminer la distance entre deux nœuds consécutifs et en déduire la vitesse de propagation des ondes dans l'air. (Cf I-3°/)



IV – ETUDE DU MODE 3

Déplacer le microphone pour déterminer la position et les amplitudes des nœuds et des ventres. Dessiner schématiquement la variation de l'amplitude de la pression acoustique dans le tuyau en marquant précisément la position des nœuds et des ventres et les amplitudes correspondantes.



Déterminer la distance entre deux nœuds et en déduire la vitesse de propagation des ondes dans l'air.



V – TAUX D'ONDES STATIONNAIRES

Soit A_v l'amplitude de la pression acoustique correspondant à un ventre. Soit A_n celle correspondant à un nœud.

Le TOS est défini par $TOS = A_v/A_n$

Le TOS est lié au coefficient de réflexion r :
$$TOS = (1+r) / (1-r)$$
$$\Rightarrow r = (TOS - 1) / (TOS + 1)$$

Enfin le facteur d'absorption de l'embout est $a = 1 - r^2$

En reprenant les mesures réalisées au III et IV, déterminer le TOS pour les modes 2 et 3 en plaçant le micro au voisinage du centre du tube pour les différentes fréquences correspondant aux modes. En déduire les coefficients de réflexion et d'absorption pour ces deux fréquences.

Mode 2

$A_v =$

$A_n =$

TOS =

$r =$

$a =$

Mode 3

$A_v =$

$A_n =$

TOS =

$r =$

$a =$

VI – TUBE OUVERT

Vérifier que l'on obtient un nœud de pression acoustique à l'extrémité du tube ouvert.

Régler la fréquence du GBF pour obtenir le mode 2.

Déplacer le microphone pour déterminer la position et les amplitudes des nœuds et des ventres.

Dessiner schématiquement la variation de l'amplitude de la pression acoustique dans le tuyau en marquant précisément la position des nœuds et des ventres et les amplitudes correspondantes.

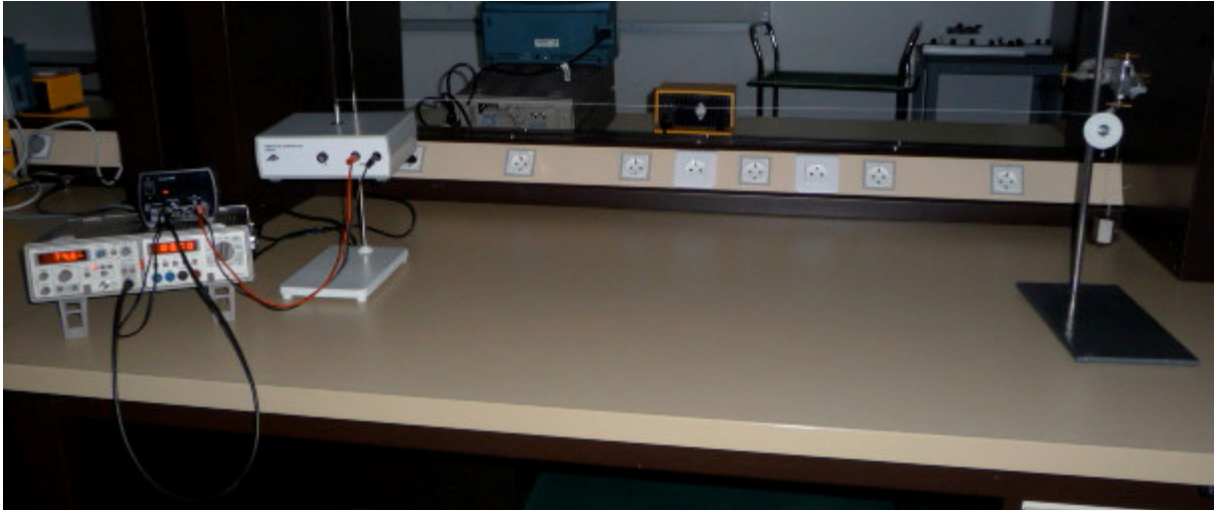


Déterminer la distance entre deux nœuds consécutifs et en déduire la vitesse de propagation des ondes dans l'air. (Cf I-3°/)

A – CORDE DE MELDE

Régler le dispositif pour avoir une longueur de fil de 100 cm
La hauteur est réglée à 30 cm environ.
Le fil doit être horizontal.

Le GBF est relié au vibreur via un ampli de puissance.
L'amplitude du signal délivré par le GBF sera de 5V environ.



I – RAPPELS THEORIQUES

1°/ A quelles conditions peut-on obtenir l'apparition d'ondes stationnaires résonantes dans le tube ?

2°/ Rappeler l'expression de la fréquence du n^{ième} mode de vibration propre de la corde.

3°/ Qu'appelle t-on nœud et ventre de vibration ? Quelle est la distance entre deux nœuds ?

II – ETUDE DES DIFFERENTS MODES

1°/La masse est fixée à 100 g.

Rechercher les modes de vibration en faisant varier la fréquence du GBF, relever les fréquences d'excitation correspondantes.

n	1	2	3	4	5	6
f						

Tracer la courbe $f(n)$ et en déduire la vitesse de propagation de l'onde sonore dans le tube.

Courbe $f(n)$ collée ici

Donner la relation $f(n)$ théorique

En déduire la vitesse de propagation de l'onde mécanique sur la corde

2°/La masse est fixée à 200 g.

Rechercher les modes de vibration en faisant varier la fréquence du GBF, relever les fréquences d'excitation correspondantes.

n	1	2	3	4	5	6
f						

Tracer la courbe $f(n)$ et en déduire la vitesse de propagation de l'onde sonore dans le tube.

Courbe $f(n)$ collée ici

Donner la relation $f(n)$ théorique

En déduire la vitesse de propagation de l'onde mécanique sur la corde

III – INFLUENCE DE LA MASSE

Rechercher les fréquences correspondantes au 3^{ème} mode pour différentes masses : de 200 à 250 g par pas de 10 g. Calculer alors la vitesse de l'onde mécanique à partir de la relation $f = 3c / (2 L)$

m	200	210	220	230	240	250
f						
$C = 2fL/3$						

On rappelle que $c = \sqrt{T/\mu}$, T étant la tension de la corde : $T = mg$ et μ sa masse linéique en kg/m. Tracer C en fonction de $\sqrt{m}$

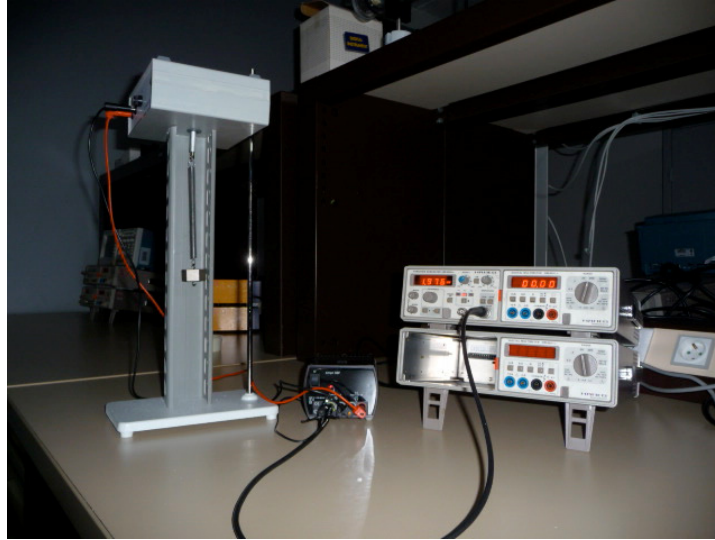
Courbe $C(\sqrt{m})$ collée ici

Ecrire la relation C en fonction de $\sqrt{m}$

En déduire la masse linéique du fil.

B – SYSTEME MASSE RESSORT

Le système étudié comporte un vibreur, un ressort et une masse.



I – ETUDE EN STATIQUE

Mesurer la longueur du ressort 1 à vide

Mesurer la longueur du ressort lorsque l'on suspend une masse de 100 g et que le système est à l'équilibre.

En déduire la raideur k du ressort.

Longueur l à vide :	}	Allongement : $\Delta l =$
Longueur avec masse 100 g :		
Condition équilibre :	=> Expression de k : $k =$	
	Valeur de k : $k =$	

II – ETUDE EN DYNAMIQUE, OSCILLATIONS LIBRES

Ecarter la masse de sa position d'équilibre et mesurer la pseudopériode des oscillations amorties à l'aide d'un chronomètre : pour plus de précision, mesurer la durée pour plusieurs oscillations

$T_{ps} =$

Comparer avec la période propre : $T_0 = 2\pi \sqrt{m/k}$

Peut-on affirmer que le système est faiblement amorti, pourquoi ?

III – ETUDE EN DYNAMIQUE, OSCILLATION FORCEES

Relier le GBF au vibreur par l'intermédiaire de l'amplificateur de puissance.

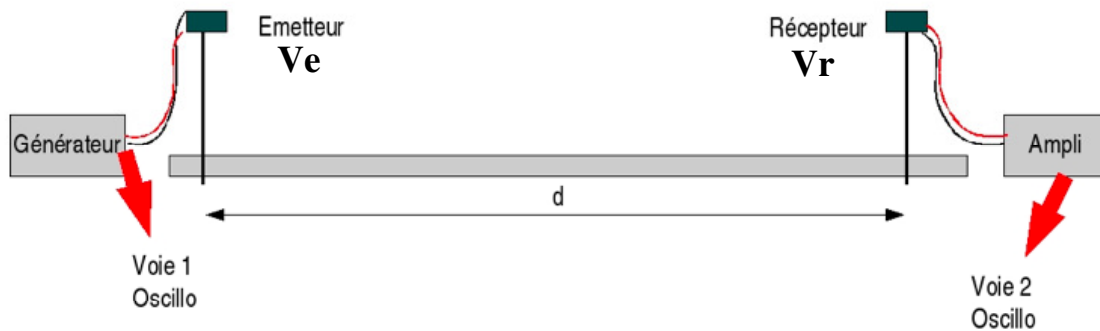
Rechercher la fréquence de résonance pour une masse de 50, 70 et 100 g.

Calculer la fréquence propre pour chaque valeur de masse : $f_0 = (1/2\pi) \sqrt{k/m}$

m	50	70	100
fr			
f0			

Conclusion :

On dispose d'un banc d'optique sur lequel on peut déplacer un émetteur et un récepteur ultrasons. Les ultrasons n'étant pas audibles, le travail peut s'effectuer dans le silence ... L'émetteur sera directement commandé par un générateur. Le signal reçu sera amplifié avant d'être observé à l'aide d'un oscilloscope.



I - SELECTIVITE DES CAPTEURS

Les émetteurs récepteurs sont réversibles. Le même capteur peut être utilisé pour émettre ou recevoir. Les capteurs seront alignés avec la direction du banc.

Alimenter l'émetteur par un signal sinusoïdal de 40 kHz délivré par un GBF.

Placer le récepteur à environ 20 cm de l'émetteur.

Régler l'amplitude du signal appliqué à l'émetteur pour ne pas saturer l'ampli du récepteur et observer une tension V_r non distordue.

En faisant varier la fréquence du signal émis, repérez la fréquence de résonance des capteurs (f_r). On appelle $V_{r_{max}}$ l'amplitude du signal reçu à la fréquence f_r .

Observer V_r et V_e à l'oscilloscope.

Tracez la courbe de réponse en fréquence du capteur : $G_{dB} = 20 \log (V_r / V_{r_{max}})$.

N.B : Par cette définition, le gain à la fréquence f_r est de 0 dB.

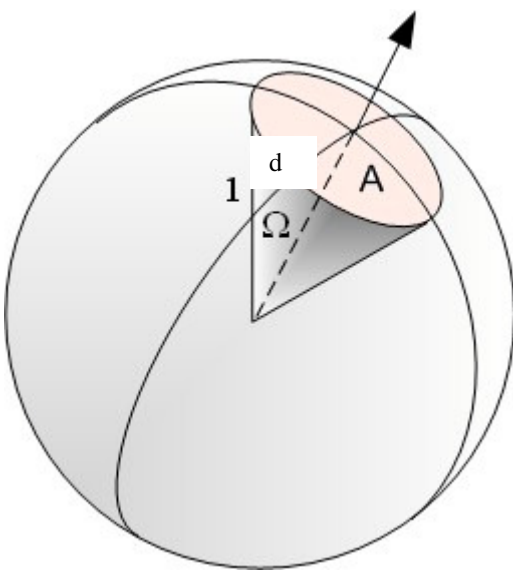
On se limitera à un intervalle de fréquence tel que G varie entre 0 et -20 dB donc tel que V_r varie entre $V_{r_{max}}$ et $0,1 V_{r_{max}}$.

f					f_r					
V_r	$0,1 V_{r_{max}}$				$V_{r_{max}}$					$0,1 V_{r_{max}}$
G					0					

Courbe G(fr) collée ici

II - DECROISSANCE DE L'ENERGIE REÇUE AVEC LA DISTANCE

1°/ Préparation : Soit une source ultrasonore de puissance $\mathcal{P}$ émettant une onde sphérique dans un angle solide Ω .



Exprimer la surface de la calotte sphérique en fonction de Ω et d : $S =$

En déduire l'expression de l'intensité acoustique I en fonction de d. $I =$

Rappeler la relation liant l'intensité acoustique I à la pression acoustique P dans un milieu de propagation de masse volumique ρ et de vitesse de propagation c .

$I =$

En déduire l'expression de P en fonction de d.

$P =$

Sachant qu'un micro délivre une tension proportionnelle à la pression acoustique $V_r = K P$, en déduire l'expression de V_r en fonction de d

En déduire que la courbe $20 \log (V_r/V_e)$ en fonction de $\log d$ doit être une droite si l'onde est sphérique.

2°/ Expérimentation : On règle la fréquence de l'émetteur à F_r .

Si V_e est la tension appliquée à l'émetteur et V_r la tension mesurée en sortie de l'amplificateur, Mesurer les amplitudes V_e et V_r pour différentes distances.

d										
V_e										
V_r										
G										

Tracez la courbe $20 \log (V_r/V_e)$ en fonction de $\log d$ sur papier millimétré.

Courbe G(log d) collée ici

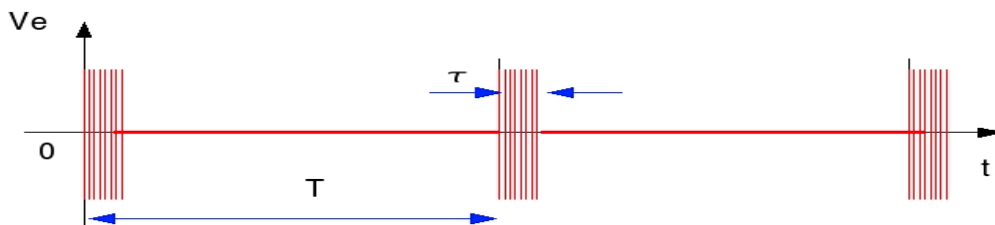
Cette courbe est-elle caractéristique d'ondes sphériques se propageant en milieu non dispersif ?
(Correspond-elle aux attentes théoriques du 2-1°/)

III - PRINCIPE DU SONAR

La fréquence de l'émetteur est toujours f_r .

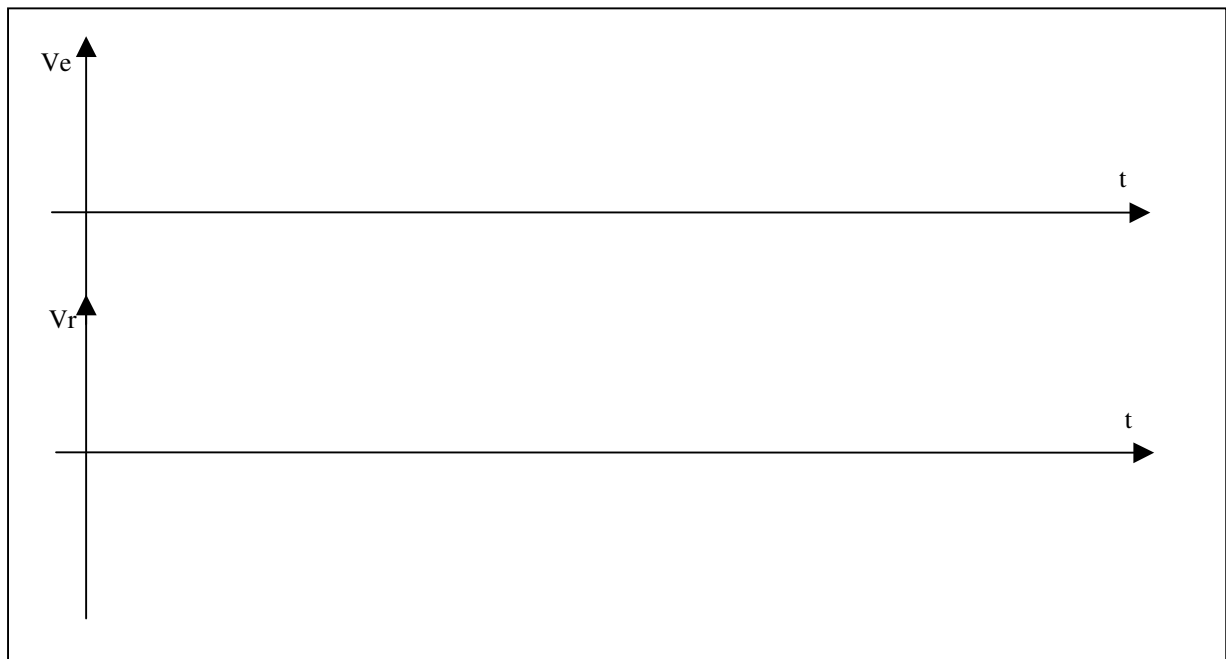
On va maintenant envoyer des salves d'ondes ultrasonores au lieu d'envoyer un signal d'amplitude constante.

Pour cela, on reliera l'entrée de commande du générateur (Gate) à la sortie d'un générateur d'impulsions. On réglera la période de l'impulsion pour qu'elle soit supérieure à la durée d'un aller retour des U.S. le long du banc. La durée de l'impulsion sera inférieure au dixième de la période.



1°/ Mesure de la vitesse des ultrasons dans l'air

Pour une position donnée du récepteur, relever les chronogrammes (2 périodes) de $V_e(t)$ et $V_r(t)$ en concordance de temps. Mesurer le décalage temporel (retard) entre V_r et V_e .



Déplacer le récepteur sur le banc et pour chaque position, mesurer le retard τ de la salve en réception V_r par rapport à la salve émise V_e à l'aide de l'oscilloscope.

d										
τ										

Tracer le graphe $d(\tau)$ donnant le temps de propagation en fonction de la distance d.

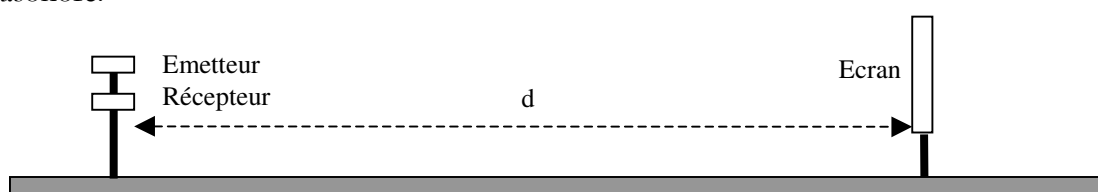
Coller le graphe $d(\tau)$ ici

Ecrire la relation entre d, C et τ

En déduire, la vitesse de propagation des ultrasons dans l'air.

2°/ Principe du sonar

Placer l'émetteur et le récepteur dans le même plan et utiliser un écran pour réfléchir l'onde ultrasonore.



Connaissant la vitesse de propagation des ultrasons dans l'air déterminée au 1°/,

Montrer sur un exemple que la mesure du retard τ permet de déterminer la distance d entre l'émetteur récepteur et l'écran.

C mesurée au 1°/

Retard τ :

Relation entre τ et d

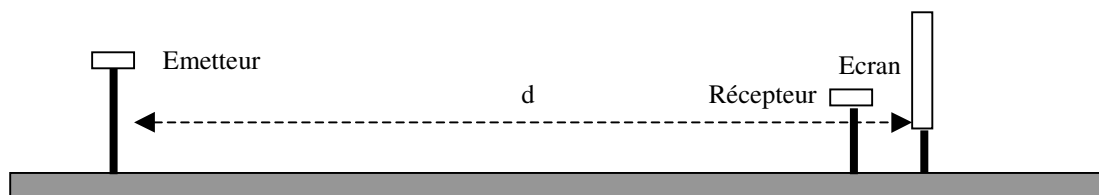
$d =$

Comparaison avec d mesurée sur le banc :

4 – ONDES STATIONNAIRES

La fréquence de l'émetteur est toujours f_r .

On alimente l'émetteur avec un signal sinusoïdal. (plus de salve)



On conserve la disposition précédente, mais on place le récepteur à proximité de l'écran.

On peut détecter un phénomène d'ondes stationnaires au voisinage de l'écran (minima et maxima d'amplitude). La distance entre deux nœuds est de $\lambda/2$ et $\lambda = C/f_r$

Pour plus de précision mesurer la distance entre N nœuds consécutifs ($N\lambda/2$). En déduire λ , puis calculer C

N nœuds : $N =$

Distance correspondante : $N\lambda/2 =$ $\Rightarrow \lambda =$

$C = \lambda f_r \Rightarrow C =$

Le but du TP est d'analyser des sons à l'aide d'un programme LabVIEW.

Le poste de TP est donc constitué d'un micro-ordinateur muni d'une carte son, avec LavVIEW installé et connecté au réseau du département.

Copier le répertoire son situé sur G :applis/acou/sons sur le bureau de votre session windows.

Lancer l'exécution du VI acoustique.vi. disponible sur G :applis/acou/

Pour chaque son, vous pouvez effectuer des filtrages et observer leurs effets sur le spectre et sur le timbre grâce à la possibilité d'envoyer le fichier filtré sur la sortie audio. Chaque graphe est doté de zooms et de curseurs permettant une exploitation optimale.

On veillera à régler le gain en sortie audio pour ne pas saturer

I – BATTEMENT ET MODULATION D'AMPLITUDE

Charger le fichier bat1.wav

Ce signal a été obtenu en effectuant le produit de deux signaux sinusoïdaux de fréquences f_a et f_b . Grâce à l'analyse spectrale déterminer précisément les fréquences f_1 et f_2 constituant le spectre du signal. En déduire les fréquences f_a et f_b : Se référer au cours chapitre 10 – I – 2°/ page 56. (Attention : f_a et f_b sont respectivement les fréquences porteuses et modulantes)

Bat1.wav Spectre, raies à : $f_1 =$ $f_2 =$ Fréquence modulante : $f_b =$ Fréquence porteuse : $f_a =$	Bat2.wav Spectre, raies à : $f_1 =$ $f_2 =$ Fréquence modulante : $f_b =$ Fréquence porteuse : $f_a =$	Bat3.wav Spectre, raies à : $f_1 =$ $f_2 =$ Fréquence modulante : $f_b =$ Fréquence porteuse : $f_a =$
---	---	---

II – SPECTRE, HAUTEUR ET TIMBRE D'UN SON

1°/ Rappels

La hauteur d'un son correspond à la fréquence du fondamental et à l'écartement entre chaque raies harmoniques.

Le timbre d'un son est lié à la fréquence et à l'amplitude des harmoniques constituant son spectre. Les musiciens parlent de couleur d'un instrument ou de richesse du timbre. Un instrument ayant un timbre « riche » est un instrument dont le spectre comporte beaucoup d'harmoniques significatives. Ainsi, pour une même note, son spectre occupe une plus large bande de fréquence, le son apparaît plus brillant, voire plus agressif.

Notons que le timbre dépend également beaucoup de l'attaque du son, c'est à dire des phénomènes transitoires lors de l'amorce de la note jouée.

2°/ Relation spectre/timbre pour une hauteur donnée

a) Comparaison de trois signaux

On étudie ici la relation entre le spectre d'un signal audio et son timbre musical.

Voici 3 sons élémentaires : 220_sinus.wav - 220_triangle.wav - 220_carre.wav, de même hauteur (même fréquence fondamentale).

Relever le spectre de ces trois signaux, commenter.

Spectre Sinus : 220_sinus.wav

Spectre Triangle : 220_triangle.wav

Spectre Carré : 220_carre.wav

Conclusion : Classer les trois sons du plus pauvre au plus riche en harmonique. Relier ce classement à la forme d'onde du signal (présence de fronts)

b) Signal carré filtré

Réaliser un filtrage passe-bas sur le signal carré : Ordre 10 (on ne fait pas semblant de filtrer !) puis relier la sensation sonore perçue à la richesse spectrale du signal filtré.

Isoler 7 harmoniques : fb = 0 et fh =	Sensations perçues :
Isoler 3 harmoniques : fb = 0 et fh =	
Isoler le fondamental : fb = 0 et fh =	

3°/ Hauteur et fondamental

Supprimer le fondamental du signal carré et écoutez en ramenant au même niveau sonore

La note a-t-elle vraiment changé de hauteur ?

Conclure.

4°/ Comparaison d'instruments

Comparez les spectres et timbres des même notes issues d'instruments de musique différents :
note-intr1.wav – note-ibstr2.wav – note-instr3.wav.

Note-instr1.wav

Instrument reconnu :

Note-instr2.wav

Instrument reconnu :

Note-instr3.wav

Instrument reconnu :

III – DISTORSION

On dispose d'un LA440 de piano : la440.wav et de la même note distordue : la440_distordu.wav.

Quels sont les effets de la distorsion sur le timbre et sur le spectre ?

IV – GAMMES

Vous disposez d'une table de correspondance [Notes/Fréquences](#).

Pour les 3 fichiers gamme-sin1.wav, gamme-sin2.wav, gamme-sin3.wav identifiez les notes correspondantes de la gamme. (Utiliser le zoom sur les spectres ainsi que les curseurs.)

Gamme-sin1.wav :

F								
Note								

Nom de la gamme : Majeure ou mineure ?

Gamme-sin2.wav :

F								
Note								

Nom de la gamme : Majeure ou mineure ?

Gamme-sin3.wav :

F								
Note								

Nom de la gamme : Majeure ou mineure ?

V - ACCORD ET ACCORD MAJEUR

Le fichier 3n10.wav correspond à un accord

Les fichiers 3n11.wav - 3n12.wav - 3n13.wav sont les notes constituant cet accord.

Relever le spectre de l'accord et vérifier la présence des trois notes.

Spectre 3n10.wav

Evaluer le coefficient multiplicateur de fréquence entre :

la 1^{ère} et la 2^{ème} note :

la 2^{ème} et la 3^{ème} note :

L'accord est-il Majeur ou mineur ?

Même question avec 3n20.wav et les notes 3n21.wav, 3n22.wav et 3n23.wav

Spectre 3n20.wav

Evaluer le coefficient multiplicateur de fréquence entre :

la 1^{ère} et la 2^{ème} note :

la 2^{ème} et la 3^{ème} note :

L'accord est-il Majeur ou mineur ?

VI - BRUIT ROSE ET BRUIT BLANC

Les fichiers blanc.wav , rose.wav contiennent les enregistrements d'un bruit blanc et d'un bruit rose. Relever leurs spectres et vérifier qu'ils correspondent bien à leurs définitions.

Bruit Blanc : bruit équi-énergie Bruit rose : bruit en $1/f$

Bruit Blanc

Bruit Rose

MATERIEL

Manip 1.1 : Tube de Kundt

- Tube de kundt sur supports + micro
- GBF de la manip
- Boîtier alim du micro
- 1 oscilloscope

Manip 1.2 : Corde de Melde

- 1 vibreur sur potence
- 1 potence avec poulie
- 1 boîtier ampli de puissance
- 1 boite de masses
- 1 corde : fil électrique fin
- 1 rack GBF + Multimètre

- 1 potence avec vibreur + soutien goulotte
- 1 ressort

Manip 2 : Ultra-sons, 2 postes

- Un banc d'optique
- Emetteurs et recepteurs US sur support pour banc d'optique
- Platine US
- GBF avec entrée de modulation
- Géné d'impulsions + multimètre
- 1 oscilloscope

Manip 3 : 2 postes informatique reliés au réseau, avec LabVIEW installé.