

Noms : _____

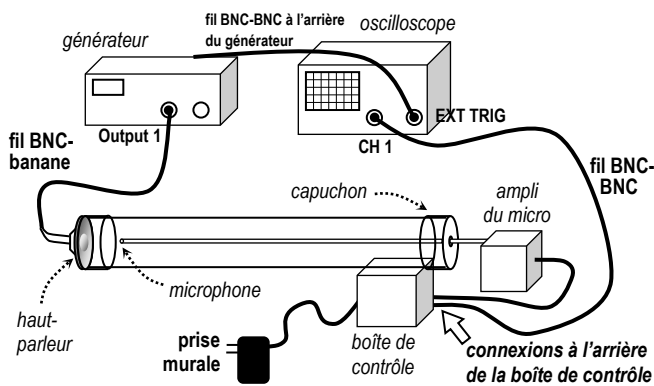
Numéro du montage : _____ Groupe : _____ ← *essentiel, sinon on peut vous enlever des points!*

Laboratoire 2 Ondes stationnaires

A. BRANCHEMENTS ET RÉGLAGES

Le montage permet de créer une onde sonore stationnaire dans un tuyau à l'aide d'un haut-parleur alimenté par un générateur. Le microphone détecte l'onde sonore et génère un signal électrique qui est amplifié et observé à l'écran de l'oscilloscope.

Avant de commencer, vous devez effectuer les branchements indiqués sur le schéma qui suit. Vous avez à votre disposition deux fils BNC-BNC (avec des connecteurs BNC cylindriques à leurs deux extrémités) et un fil BNC-banane avec un connecteur BNC à une extrémité et un connecteur « banane » à l'autre (comportant deux fiches, une rouge et l'autre noire).



1. Placez le tuyau transparent en acrylique devant vous, avec la boîte de contrôle (boîte métallique fixée au tuyau) à votre droite, comme sur le schéma.

2. Branchez le bloc d'alimentation noir de 12 volts DC dans le mur et l'autre bout à l'arrière de la boîte de contrôle, dans la prise identifiée 12 VDC.

3. Avec un des fils BNC-BNC, reliez la sortie canal 1 (CH 1) de l'oscilloscope à la prise OSCILLOSCOPE à l'arrière de la boîte de contrôle.

4. Branchez le fil du microphone dans la prise MICRO à l'arrière de la boîte de contrôle. Allumez le microphone : l'interrupteur se trouve sur la petite boîte noire à l'extrémité de la longue tige de plastique, (à l'autre extrémité se trouve le microphone).

5. Avec le fil BNC-banane, reliez la sortie OUTPUT 1 du générateur au haut-parleur qui se trouve dans le capuchon à l'extrémité gauche du tuyau d'acrylique.

6. Avec l'autre fil BNC-BNC, reliez la sortie AUX IN/OUT à l'arrière du générateur à l'entrée EXT TRIG de l'oscilloscope. (Note : Cette connexion permet de synchroniser le balayage de l'oscilloscope avec le signal émis par le haut-parleur, ce qui permet d'observer les variations de phase de l'onde sonore captée par le microphone.)

7. Allumez le générateur à l'aide du bouton d'alimentation en bas à gauche. Le bouton Parameter devrait être allumé en jaune et le canal 1 sélectionné (menu en vert). Les boutons en bas de l'écran permettent d'ajuster les paramètres du signal

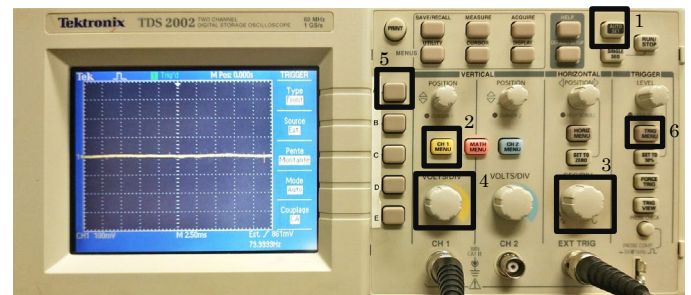
général. Le premier bouton permet de sélectionner la fréquence ou la période du signal. Vous devez ajuster la fréquence à 80 Hz. Pour se faire, sélectionnez Frequency (Frequency apparaît en bleu) et entrez 80 à l'aide du clavier numérique. Sélectionnez ensuite Hz avec les boutons en bas de l'écran.

8. Vous devez ajuster l'amplitude du signal à 1 V. Appuyez sur le 2^{ème} bouton en bas de l'écran (Amplitude apparaît en bleu), entrez 1 à l'aide du clavier numérique et sélectionnez V_{pp}, « pp » pour « peak to peak ». Pendant l'expérience, si le son vous donne mal à la tête et que vous voulez le réduire temporairement, vous pourrez diminuer l'amplitude du signal au besoin. Vous ne devriez pas changer l'offset et la phase du signal, ces valeurs devraient déjà être à 0.

9. Afin d'envoyer le trigger à l'oscilloscope, appuyez sur le bouton Store Recall (à droite du bouton Parameter), puis sur le premier bouton à gauche Data. Sélectionnez le fichier ONDES_STAT.xml avec le gros bouton rotatif et appuyez sur Recall (4^{ème} bouton en bas de l'écran).

10. Vous êtes maintenant prêt à envoyer votre signal. Appuyez sur le bouton OUTPUT du canal 1 au dessus du câble BNC.

11. Allumez l'oscilloscope et prenez une grande inspiration le temps que le signal arrive à l'écran. Appuyez sur AUTO SET (1) puis sur Ch1 MENU (2) (les chiffres entre parenthèse réfèrent à la photo ci-dessous). Avec le bouton SEC/DIV (3), mettez l'échelle de temps à 2,5 ms. Avec le bouton VOLTS/DIV (4), mettez l'échelle de voltage à 50 mV. Avec le bouton A (5), sélectionnez le couplage CA (courant alternatif). Appuyez sur TRIG MENU (6) et sélectionnez EXT en appuyant sur le bouton B. Avec le bouton E, sélectionnez couplage CA. Ensuite, appuyez sur SET TO 50% sous le bouton TRIG MENU.



B. ÉTUDE DES MODES DE RÉSONANCE DU TUYAU AVEC CAPUCHON (TUYAU FERMÉ-FERMÉ)

Vous allez déterminer les fréquences de résonance des cinq premiers modes du tuyau avec le capuchon (tuyau fermé-fermé) et mesurer la position des ventres de déplacement de l'onde stationnaire correspondant à chacun des modes. Ouvrez le fichier *Ondes* dans le répertoire *Ondes* des Laboratoires de physique NYC.

1. Prenez en note votre numéro de montage dans le **tableau 1** à la page suivante. Entrez aussi immédiatement ce numéro dans l'ordinateur, dans la case prévue à cette fin.

Tout au long de l'expérience, vous devez prendre en note vos données sur ce document papier **ET** les entrer au fur et à mesure dans l'ordinateur : celui-ci vous indiquera un message d'erreur si la valeur entrée s'écarte trop de la valeur attendue. À la fin de la séance de laboratoire, avant de quitter, vous imprimerez vos données : l'impression sortira dans le local des techniciens, car c'est le professeur qui va la garder.

2. Pour déterminer la longueur de votre tuyau, vous allez enlever temporairement le capuchon à l'extrémité droite du tuyau et noter la position, en millimètres, de l'extrémité droite du tuyau. Le ruban à mesurer intégré au tuyau a été placé de manière à ce que l'origine (0 mm) coïncide avec l'extrémité gauche du tuyau (haut-parleur). Ainsi, vous pouvez lire *directement* la longueur du tuyau sur le ruban. Prenez-la en note dans le **tableau 1** et à l'ordinateur. **Toutes les positions que vous entrez dans l'ordinateur doivent être en milli-mètres, sinon elles seront rejetées!**

3. Profitez du fait que le capuchon est encore enlevé pour mesurer, avec une règle, le diamètre **INTERNE** du tuyau (le diamètre réel du cylindre d'air qui se trouve dans le tuyau). Prenez-le en note dans le **tableau 1** et à l'ordinateur. Si votre valeur est rejetée, vérifiez que vous avez bien mesuré le diamètre INTERNE !

4. Remettez le capuchon (enfoncez-le bien) et profitez-en pour vérifier que l'autre capuchon (contenant le haut-parleur) est bien enfoncé à l'extrémité gauche du tuyau.

5. Faites glisser la tige du microphone pour qu'elle soit la plus enfoncée possible dans le tuyau.

6. Si vous avez bien suivi les étapes, le générateur devrait fournir un signal sinusoïdal de 1 V et une fréquence de 80 Hz. Sélectionnez la fonction fréquence du générateur. À l'aide des boutons avec des flèches sous le gros bouton rotatif, voir



image ci-contre, sélectionnez le 2^{ème} chiffre à gauche du point (i.e. la dizaine). Augmentez la fréquence en tournant le gros bouton rotatif.

Observez le signal généré par le microphone sur l'écran de l'oscilloscope. À sa position la plus enfoncée, le microphone génère un signal qui est proportionnel à l'intensité sonore globale dans le tuyau. Pour une certaine fréquence entre 80 Hz et 300 Hz, vous allez observer que le signal du microphone atteint une amplitude maximale : la fréquence en question est la fréquence f_1 du premier mode de résonance (mode fondamental). Afin de voir l'entièreté du signal, vous devrez changer l'échelle de l'amplitude sur l'oscilloscope. Afin de trouver précisément la fréquence de résonance, changez la précision du gros bouton rotatif toujours avec les boutons avec les flèches sous ce dernier. Sélectionnez l'unité au lieu de la dizaine et trouvez la fréquence de résonance. Prenez en note la fréquence f_1 à la première ligne du **tableau 1** (qui se trouve dans le coin inférieur droit de cette page) et à l'ordinateur.

7. En gardant la fréquence du générateur à la fréquence fondamentale, réduisez l'amplitude à 0,3 V.

8. Au premier mode de résonance, il devrait y avoir un ventre de déplacement au milieu du tuyau. Comme on l'a expliqué dans le prélaboratoire, le signal généré par le microphone est MINIMAL lorsqu'il se trouve dans un ventre de déplacement. (Au ventre, les molécules d'air effectuent un mouvement de va-et-vient maximal, mais la pression de l'air demeure constante, ce qui fait en sorte que le microphone, sensible à la pression, ne mesure rien.) Déplacez la tige du microphone et repérez la position du ventre avec le plus de précision possible : notez la position de l'extrémité gauche du microphone correspondant au ventre dans l'espace prévu du **tableau 1** et à l'ordinateur.

9. En déplaçant le microphone jusqu'à l'extrémité droite du tuyau, vérifiez qu'il n'y a pas d'autre ventre de déplacement dans le tuyau (si c'est le cas, c'est que votre fréquence ne correspond pas au premier mode de résonance!)

10. Remplacez le microphone le plus près du haut-parleur (position enfoncée maximale) et augmentez la fréquence du générateur. L'amplitude du signal va diminuer, puis remonter et passer par un maximum lorsque vous aurez atteint la fréquence du deuxième mode de résonance. Le signal au deuxième mode est habituellement plus intense qu'au premier mode, et vous aurez probablement à ajuster l'échelle de l'oscilloscope (bouton VOLTS/DIV) pour observer le signal sur l'écran de manière optimale. Si le signal devient trop déformé, vous pouvez diminuer l'amplitude du générateur à une valeur inférieure à 0,3 V.

11. Déplacez le microphone et prenez en note la position des deux ventres de déplacement qui caractérisent le deuxième mode de résonance.

12. En considérant le fait que les deux ventres que vous venez de mesurer sont *successifs*, utilisez leurs positions pour déduire la longueur d'onde expérimentale de l'onde stationnaire (montrez vos calculs).

Entrez ce résultat immédiatement à l'ordinateur.

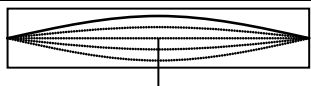
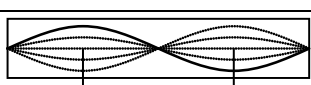
13. À partir de la longueur d'onde que vous venez de calculer et de la fréquence indiquée sur le générateur, calculez la vitesse du son (montrez vos calculs). Si vous n'obtenez pas une valeur comprise dans l'intervalle (345 ± 5) m/s, il y a un problème : appelez le professeur.

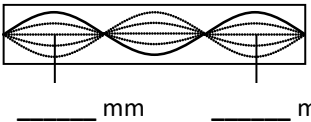
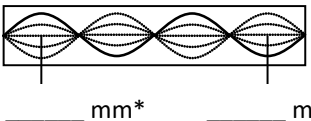
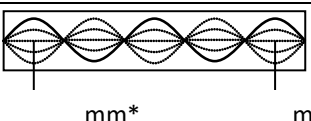
Entrez ce résultat immédiatement à l'ordinateur.

TABLEAU 1

Montage : _____ Longueur du tube : _____ mm Diamètre interne du tube : _____ mm

TUYAU FERMÉ-FERMÉ

1 ^{er} mode : $f_1 =$ _____ Hz	 _____ mm
2 ^e mode : $f_2 =$ _____ Hz	 _____ mm _____ mm

3 ^e mode : $f_3 =$ _____ Hz	
4 ^e mode : $f_4 =$ _____ Hz	
5 ^e mode : $f_5 =$ _____ Hz	

* Si la position du ventre le plus proche du haut-parleur pour le 4^e ou le 5^e mode vous semble « illogique », lisez l'encadré à l'étape 14 !

14. Répétez la procédure pour compléter le **tableau 1** (troisième, quatrième et cinquième modes). Pour ces modes, on ne vous demande pas de prendre en note la position de tous les ventres, mais uniquement du « premier » ventre (le plus rapproché du haut-parleur) et du « dernier » ventre (le plus éloigné du haut-parleur).

Note : Sur certains montages, lorsque la fréquence d'un mode de résonance est d'environ 800 Hz, le premier ventre peut se retrouver à une position qui semble « illogique » par rapport à sa position pour les autres modes. Cela est causé par le fait que le haut-parleur entre en résonance autour de 800 Hz et se met à vibrer avec une amplitude si grande qu'il n'agit plus très bien comme une extrémité fermée (nœud de déplacement). Le phénomène est sans conséquence dans le contexte de cette expérience : il ne fait que déplacer légèrement tous les ventres sans modifier leur espacement relatif.

15. Une fois le **tableau 1** complété, avant de passer à la partie suivante, branchez les écouteurs dans la boîte de contrôle. (Votre montage devrait encore se trouver au cinquième mode de résonance.) Déplacez le microphone d'un bout à l'autre du tuyau et écoutez (en ajustant le volume au besoin) ce qu'entendrait un insecte dans le tuyau qui se déplacerait d'un bout à l'autre ! Débranchez ensuite les écouteurs et mettez la fréquence à 0 Hz.

C. ÉTUDE DES MODES DE RÉSONANCE DU TUYAU SANS CAPUCHON (TUYAU FERMÉ-OUVERT)

Vous allez maintenant répéter la prise de données précédente, mais sans le capuchon à l'extrémité droite du tuyau. **Dans cette partie de l'expérience, avec le tuyau ouvert, il est important que la classe soit la plus silencieuse possible : parlez le moins possible, et si vous devez le faire, chuchotez !**

1. Pour pouvoir enlever le capuchon, sortez complètement la tige du microphone du tuyau, enlevez le capuchon, puis réinsérez la tige du microphone jusqu'au fond du tuyau.

2. Le premier mode du tuyau fermé-ouvert est caractérisé par une amplitude sonore très faible. Pour compenser, augmentez l'amplitude du générateur jusqu'à 2,0 V. Commencez à 50 Hz et augmentez lentement la fréquence du générateur : la fréquence du premier mode de résonance

devrait se situer entre 50 Hz et 150 Hz. Si vous ne parvenez vraiment pas à la trouver, vous pouvez « tricher » : dépassez 150 Hz, déterminez la fréquence du deuxième mode de résonance (qui est très intense et facile à observer) puis divisez par ... (vous devriez le savoir !) pour obtenir la fréquence du premier mode.

3. Inscrivez la fréquence du premier mode dans le **tableau 2** et à l'ordinateur. Pour ce mode, il n'y a qu'un ventre de déplacement à l'extrémité du tuyau (en fait, légèrement à l'extérieur), et vous n'avez pas à prendre en note sa position. Vérifiez seulement, en déplaçant le microphone le long du tuyau, qu'il y a bien un ventre de déplacement (signal du microphone minimal) à l'extrémité droite du tuyau.

4. Ramenez le signal du générateur à 0,3 V (sinon, avec le tuyau ouvert, vous allez produire des sons trop fort et nuire aux autres équipes).

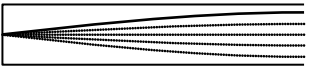
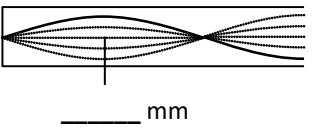
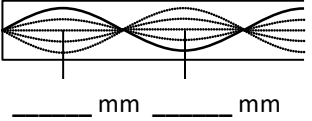
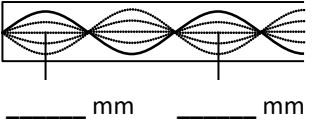
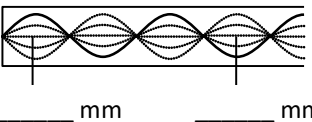
5. Remplacez le microphone le plus près du haut-parleur (position enfoncée maximale) et augmentez la fréquence du générateur afin de trouver le deuxième mode, puis déplacez le microphone pour déterminer la position du ventre de déplacement qui se trouve dans le tuyau. (Ne considérez pas le ventre qui se trouve à l'extrême droite, près de la jonction entre le tuyau et l'air libre.)

6. Répétez la procédure pour compléter le **tableau 2** (troisième, quatrième et cinquième modes). Pour chaque mode, prenez en note la position du ventre le plus rapproché du haut-parleur et du ventre le plus éloigné qui se trouve *dans* le tuyau (ne considérez pas le ventre qui se trouve à l'extrême droite, près de la jonction entre le tuyau et l'air libre).

7. **IMPORTANT : Impression des données !** Imprimez la feuille de données (si l'écran devient blanc, l'impression a été effectuée correctement). Le professeur gardera cette feuille pour la correction de votre rapport.

8. Fermez le microphone (pour économiser la pile)

TABLEAU 2: TUYAU FERMÉ-OUVERT

1 ^e mode : $f_1 =$ _____ Hz	
2 ^e mode : $f_2 =$ _____ Hz	
3 ^e mode : $f_3 =$ _____ Hz	
4 ^e mode : $f_4 =$ _____ Hz	
5 ^e mode : $f_5 =$ _____ Hz	

D. COMPARAISON ENTRE LES RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX ET LA THÉORIE

Vous n'avez pas le temps de comparer tous vos résultats expérimentaux avec les prédictions théoriques correspondantes. Vous allez effectuer seulement quelques comparaisons.

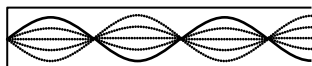
1. À partir de la longueur de votre tuyau (inscrite au **tableau 1**) et du module théorique de la vitesse du son à la température du laboratoire, 345 m/s, calculez (dans l'espace à la page suivante) la fréquence de résonance théorique du *troisième* mode du tuyau *fermé-fermé*.



Calculez l'écart (en %) entre la fréquence que vous avez mesurée expérimentalement et cette valeur théorique (si le résultat est négatif, gardez le signe négatif).

$$\text{écart (en \%)} = \left(\frac{f_{\text{exp}} - f_{\text{théo}}}{f_{\text{théo}}} \right) \times 100$$

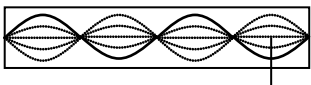
2. Reprenez la question précédente, mais pour le *quatrième* mode du tuyau *fermé-ouvert*.



fréquence de résonance théorique

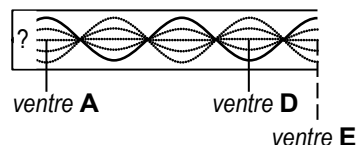
écart (en %)

3. À partir de la longueur de votre tuyau (inscrite au **tableau 1**), calculez la position théorique du ventre de déplacement le plus éloigné du haut-parleur pour le *quatrième* mode du tuyau *fermé-fermé*.



Calculez l'écart (en %) entre la position que vous avez mesurée expérimentalement et cette valeur théorique (si le résultat est négatif, gardez le signe négatif).

4. Pour le *cinquième* mode du tuyau *fermé-ouvert* (**schéma ci-dessous**), utilisez *uniquement* les valeurs mesurées de la position des ventres **A** et **D** pour déduire la position réelle (« expérimentale ») du ventre **E**.



Indice 1 : Vous pouvez calculer la valeur expérimentale de la longueur d'onde à partir de la position des ventres **A** et **D**.

Indice 2 : La distance entre deux ventres successifs correspond à quelle fraction d'une longueur d'onde ?

Montrez vos calculs.

D'après la théorie, le ventre **E** devrait être situé exactement à l'embouchure du tuyau. La position que vous avez calculée est-elle à l'intérieur ou à l'extérieur du tuyau ?

Le fait que l'embouchure du tuyau ne correspond pas exactement à un ventre se nomme « effet de bout ». De combien de millimètres la position du ventre **E** est-elle à l'intérieur ou à l'extérieur du tuyau ?

Théoriquement, l'effet de bout devrait être proportionnel au diamètre interne du tuyau. Divisez la valeur que vous venez de calculer par le diamètre interne du tuyau (noté au **tableau 1**) et exprimez le résultat en %.

La valeur du % à laquelle on s'attend dans une telle situation sera dévoilée par le professeur... plus tard !

Avant de quitter, remplacez le matériel sur la table tel qu'il l'était au début. Si vous êtes en possession de votre prélaboratoire, remettez-le en même temps que ce rapport.