

Phénomènes Périodiques

Periodic phenomena

Réf :
222 044

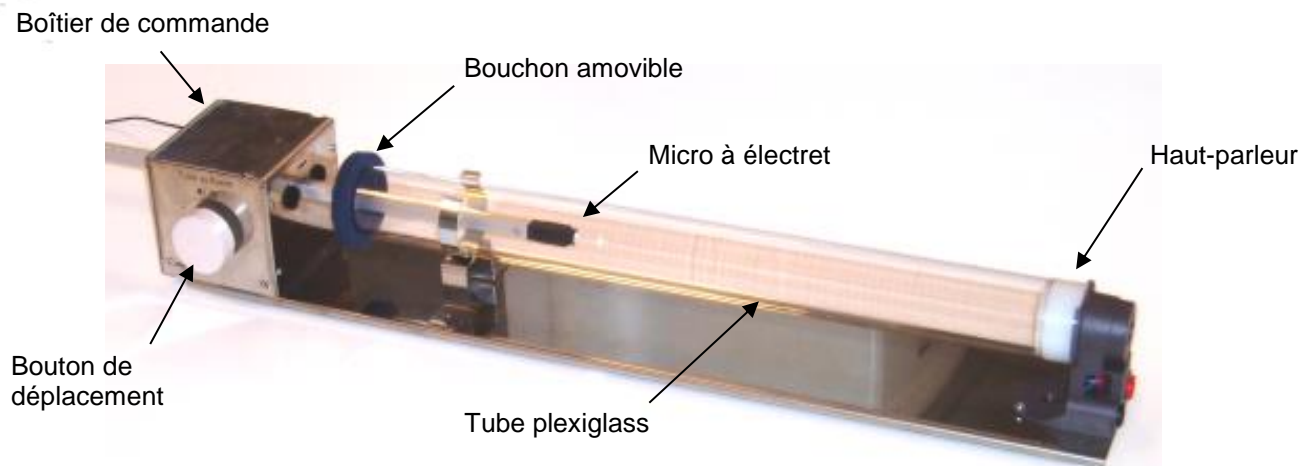
Français – p 1

English – p 13

Version : 9101

Tube de Kundt à sorties analogiques

Kundt's tube with analog outputs



1. Description

Le tuyau sonore utilisé est constitué d'un tube transparent ϕ 50 mm en plexiglass maintenu sur un support en tôle par deux clips de fixation.

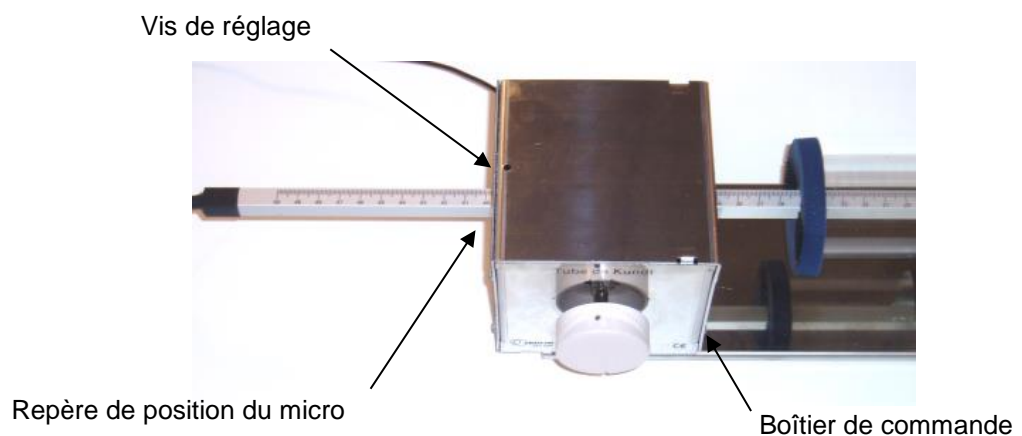
Un haut-parleur de 5 cm de diamètre est fixé sur l'une des extrémités du tube. Ce haut-parleur s'alimente avec un générateur de fonctions (non fourni).

L'autre extrémité du tube est fermée avec un bouchon amovible en mousse. Ce bouchon peut être enlevé et maintenu contre le boîtier de commande par 2 velcros, ce qui permet d'utiliser le tube avec une extrémité ouverte.

A l'intérieur du tuyau, un microphone à électret de 8 mm de diamètre, muni d'un index, est fixé à l'extrémité d'une tige métallique mobile selon l'axe du tuyau sonore. Le déplacement de la tige est assuré par un bouton rotatif placé sur le boîtier de commande relié à un système de crémaillère (une butée empêche la sortie de la tige hors du boîtier de commande).

Une règle graduée de 500 mm est sérigraphiée sur le dessus de la tige pour repérer la position du micro dans le tube. La lecture de la position se fait directement sur la tige graduée à l'extrémité gauche du boîtier (voir photo ci-après).

Sur le dessus du boîtier, une vis de réglage permet d'ajuster la position verticale de la tige métallique au centre du tube de plexiglass.



Le boîtier de commande contient le dispositif électronique qui assure l'alimentation du microphone à électret et le traitement du signal capté (amplification, redressement et valeur crête). Le capteur de position du microphone est également placé dans ce boîtier ; il donne une tension continue, image de l'abscisse du microphone dans le tuyau. L'origine coïncide avec l'extrémité gauche du tuyau sonore.

Matériel complémentaire conseillé (non fourni) :

- Générateur de fonctions
- Console d'Ex.A.O. + Logiciel Atelier Scientifique
- Ou
- Oscilloscope

2. Objectifs

Le tube de Kundt est conçu pour étudier les états vibratoires de l'air contenu dans un tuyau lorsque des ondes sonores y sont produites.

L'appareil permet de détecter les nœuds et les ventres de pression créés par un haut-parleur dans une colonne d'air avec un micro à électret.


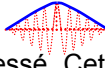
3. Traitement des signaux captés

Le tube possède deux capteurs :

- l'un qui renseigne sur l'état vibratoire créé en un point du tuyau par une onde sonore,
- l'autre qui repère la position du capteur précédent à l'intérieur du tuyau.

3.1 Traitement des signaux captés

Ce signal est utilisable de 2 façons :

- La sortie  donne le signal « brut » capté par le microphone. Il s'agit du signal réel instantané, facilement observable à l'oscilloscope.
- La sortie  délivre une tension continue donnant l'enveloppe du signal brut redressé. Cette sortie s'utilise principalement avec un système ExAO mais peut aussi être utilisée avec un oscilloscope ou un multimètre (le relevé de la tension en fonction de la position du micro se fait alors manuellement).

3.2 Signal donnant l'abscisse du microphone

Le microphone à électret se déplace dans le tuyau sonore par l'intermédiaire d'une tige à crémaillère qui coulisse dans le boîtier de commande. Sur son passage, le tube entraîne une roue dentée couplée à l'axe d'un potentiomètre.

La sortie $y \rightarrow x$ donne la position du micro à l'intérieur du tube.

Pour étalonner le système, placer le microphone devant le zéro de la règle graduée (face à l'extrémité du tuyau opposée au haut-parleur) puis relever la valeur de la tension dans l'Atelier Scientifique.

Déplacer ensuite la tige pour amener le curseur de position du microphone en face de l'abscisse 500 mm et relever à nouveau la valeur de la tension (la procédure complète d'étalonnage et de personnalisation d'une entrée directe est décrite dans la notice du logiciel Générïs 5).

3.3 Bornes de branchement du boîtier

Les 3 sorties analogiques et l'alimentation pour adaptateur secteur 12 V se trouvent sur la face arrière du boîtier de commande. La masse est commune aux 3 sorties. Cette solution technique permet de réaliser des acquisitions avec n'importe quelle interface ExAO reliée à un ordinateur ou encore avec un oscilloscope ou un multimètre.

L'utilisation du tube avec un système d'acquisition ExAO donne accès au signal brut et à la courbe enveloppe du signal sonore simultanément (en fonction de la position du micro dans le tube). Dans ce cas, chaque sortie analogique doit être connectée à une entrée du système ExAO. On obtient ainsi directement la position des nœuds et des ventres de pression.

Pour visualiser les 2 signaux simultanément à l'oscilloscope, il convient de relier la sortie correspondant au signal brut sur la voie A et la sortie correspondant à l'enveloppe sur la voie B. On visualise alors une tension continue (voie B) passant par le maximum d'amplitude d'une sinusoïde (voie A).



4. Utilisation

- Alimenter le boîtier avec l'adaptateur secteur 12 V (fourni) et le haut-parleur avec un générateur de fonctions (non fourni),
- Régler la fréquence sonore souhaitée du haut-parleur à l'aide du générateur de fonctions,
- Ouvrir ou boucher le tube avec le bouchon en mousse en fonction de la manipulation à réaliser,

Attention : ne pas régler le son du haut-parleur trop fort pour ne pas saturer le signal et conserver une forme sinusoïdale pour l'enveloppe de l'onde sonore.

4.1 Avec système ExAO

- Relier les 3 sorties analogiques à 3 entrées directes de votre système ExAO,
- Réaliser l'étalonnage de l'appareil (voir notice du logiciel Atelier Scientifique). Il convient en particulier d'étalonner les positions 0 et 500 mm du micro,
- Déclencher l'acquisition sur le logiciel,
- Déplacer le micro sur toute la longueur du tube avec le bouton rotatif pour réaliser une acquisition complète.

4.2 Avec oscilloscope

- Relier les 2 sorties « signal brut » et « enveloppe » aux 2 entrées de l'oscilloscope,
- Régler les paramètres d'affichage des 2 courbes,
- Déplacer le micro sur toute la longueur du tube avec le bouton rotatif,
- Réaliser le relevé manuel de la tension maximum (enveloppe) en fonction de la position du micro de 0 à 500 mm pour réaliser une acquisition complète.

5. Caractéristiques techniques

3 sorties analogiques :

- -5 V / + 5 V proportionnelle au déplacement
- - 5 V / + 5 V proportionnelle au signal sonore
- - 5 V / + 5 V proportionnelle à l'enveloppe du signal

Haut-parleur : 8Ω / 0,25 W

Alimentation haut-parleur : 10 V maxi

Microphone : Type électret

Distance micro / haut-parleur : Réglable de 0 à 500 mm

Alimentation boîtier : Adaptateur secteur 12 V, fourni

Connexions : Douilles de sécurité ϕ 4 mm

Dimensions totales : 700 x 100 x 96 mm

Dimensions tube (intérieur) : ϕ 45 x 500 mm

6. Étude théorique d'un tuyau sonore

Une onde sonore est produite à l'extrémité gauche du tuyau par un haut-parleur alimenté par un GBF (non fourni). Elle se propage dans le milieu élastique de l'air et se réfléchit sur l'extrémité du tuyau.

La superposition des deux ondes, l'onde incidente et l'onde réfléchie, donne naissance à un état vibratoire : l'air du tuyau est soumis à une succession de compressions et d'extensions des tranches d'air constituant l'espace du tube.

Pour des valeurs particulières de la fréquence de l'onde sonore, de la longueur du tuyau et de la vitesse du son dans l'air, la vibration à l'intérieur du tuyau se présente sous la forme **d'ondes stationnaires**.

6.1 Description de l'état vibratoire

Dans les états vibratoires observés, on distingue des points immobiles, appelés **nœuds de déplacement** et des points de vibration maximale, appelés **ventres de déplacement**.

Les *ventres de déplacement* correspondent à des pressions constantes (ou à des variations de pression nulles) : ce sont des **nœuds de pression**. Inversement, les *nœuds de déplacement* coïncident avec des zones de variation de pression maximale ou **ventres de pression**.

Le microphone à électret, capteur d'exploration de l'état vibratoire du tuyau, est sensible à la pression de l'air : **il permet donc de détecter les nœuds N et les ventres V de pression** (ainsi que les états intermédiaires).

Au niveau du haut-parleur (source sonore) : la membrane du haut-parleur vibre et constitue une région de déplacement maximal (**ventre de déplacement**). C'est donc un **nœud de pression N**.

Le cas de l'autre extrémité dépend de son état :

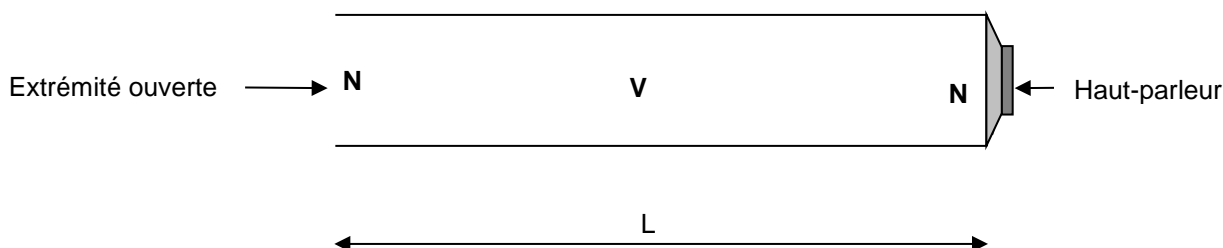
- Si l'**extrémité est ouverte** : la pression y est constante (c'est la pression atmosphérique) et on a donc un **nœud de pression N**.
- Si l'**extrémité est fermée** (bouchon mis en place), le déplacement de l'air y est nul, par conséquent, on y trouve un **ventre de pression V**.

Conditions d'existence des ondes stationnaires

Pour des conditions particulières, les nœuds de pression (**N**) ont des valeurs quasi nulles et les ventres de pression (**V**) prennent une amplitude maximale. Ce phénomène correspond à un état de résonance de l'air du tuyau avec la membrane vibrante du haut-parleur.

- Cas du tuyau ouvert

L'état le plus simple correspond à l'existence d'un ventre de pression à l'extrémité du haut-parleur et à un nœud de pression à l'extrémité ouverte. Schématiquement, on a la répartition suivante :



La distance entre deux nœuds est $\lambda/2$. Si L est la longueur du tuyau, elle doit alors satisfaire à $L = \lambda/2$.

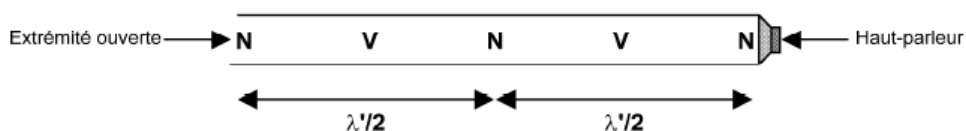
Comme on a toujours la relation : $\lambda = v/N$, on constate que la longueur du tuyau doit être :

$$L = \lambda/2 = v/2N, \text{ soit } N = v/2L$$

Par exemple, pour $L = 50 \text{ cm}$ et la valeur de $v = 346 \text{ m.s}^{-1}$ (vitesse du son vers 25°C), on trouve une fréquence du son émis par le haut-parleur :

$$N = 346 / (2 \times 0,5) = 346 \text{ Hz}$$

Cependant, d'autres modes de vibration sont possibles. Le plus simple, décrit ci-dessous, correspond à l'état stationnaire suivant :



Cette fois, la nouvelle longueur d'onde λ' doit être telle que $L = 2 \cdot \lambda'/2$ ou encore : $L = \lambda'$ ce qui donne une fréquence :

$$N' = 2 \times N$$

Avec le tuyau proposé : $N' = 692 \text{ Hz}$, qu'il est facile d'obtenir.

D'une façon générale, la longueur du tuyau doit représenter un nombre entier k de fois la demi-longueur d'onde du son émis : $L = k \lambda / 2$

Ce qui correspond à une fréquence sonore :

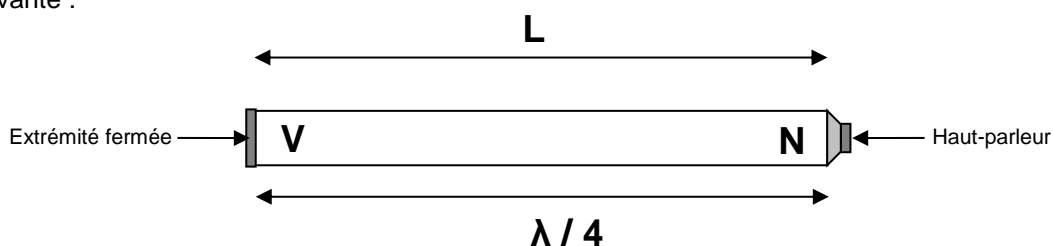
$$N' = k N = k \cdot v / 2L$$

Remarque : Ces états remarquables successifs sont obtenus en fixant la fréquence du GBF qui alimente le haut-parleur.

Lorsqu'un système d'ondes stationnaires est atteint, il se manifeste par un renforcement de l'intensité sonore provenant du tuyau (lorsqu'il est ouvert), sensible à l'oreille.

- Cas du tuyau fermé

Ici, l'état le plus simple correspond à l'existence d'un ventre de pression à l'extrémité fermée et à un nœud de pression au niveau du haut-parleur. Schématiquement, on a la répartition suivante :



La distance entre un nœud et un ventre est $\lambda/4$. Si L est la longueur du tuyau, elle doit satisfaire à l'égalité $L = \lambda/4$. Comme la vitesse v du son dans l'air est liée à la longueur d'onde et à la fréquence N de l'onde émise par le haut-parleur par $\lambda = v/N$, on constate que la longueur du tuyau doit être :

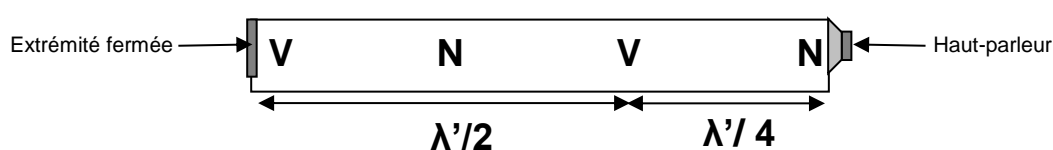
$$L = \lambda/4 = v/4N, \text{ soit } N = v/4L$$

Par exemple, pour $L = 50 \text{ cm}$ et une valeur de $v = 346 \text{ m.s}^{-2}$ (vitesse du son dans l'air à 22°C), on trouve une fréquence du son émis par le haut-parleur :

$$N = 346 / (4 \times 0,5) = 173 \text{ Hz}$$

Remarque : Le haut-parleur de 5 cm de diamètre est incapable de générer un son de fréquence aussi faible et l'expérience n'est guère réalisable.

D'autres modes de vibration sont cependant possibles. Le suivant correspond à l'état stationnaire :



Cette fois, la nouvelle longueur d'onde λ' est telle que $L = \lambda'/2 + \lambda'/4 = 3 \cdot \lambda'/4$,

ce qui donne une fréquence : $N' = v / \lambda' = 3 \cdot v / 4L = 3 \cdot N$

Soit la valeur numérique : $N' = 3 \cdot N = 3 \times 173 = 519 \text{ Hz}$

D'une façon générale, la longueur du tuyau doit représenter un nombre impair $(2k + 1)$ de fois le quart de longueur d'onde du son émis :

$$L = (2k + 1) \cdot \lambda / 4$$

Ce qui correspond à une fréquence sonore :

$$N = (2k + 1) v / 4L \quad (v = \text{vitesse du son dans l'air})$$


7. Résultats expérimentaux

L'étude réalisée est une vérification des résultats théoriques du paragraphe précédent.

Les données présentées ci-après ont été obtenues avec une console ESAO® 4 puis traitées à l'aide du logiciel Atelier Scientifique.

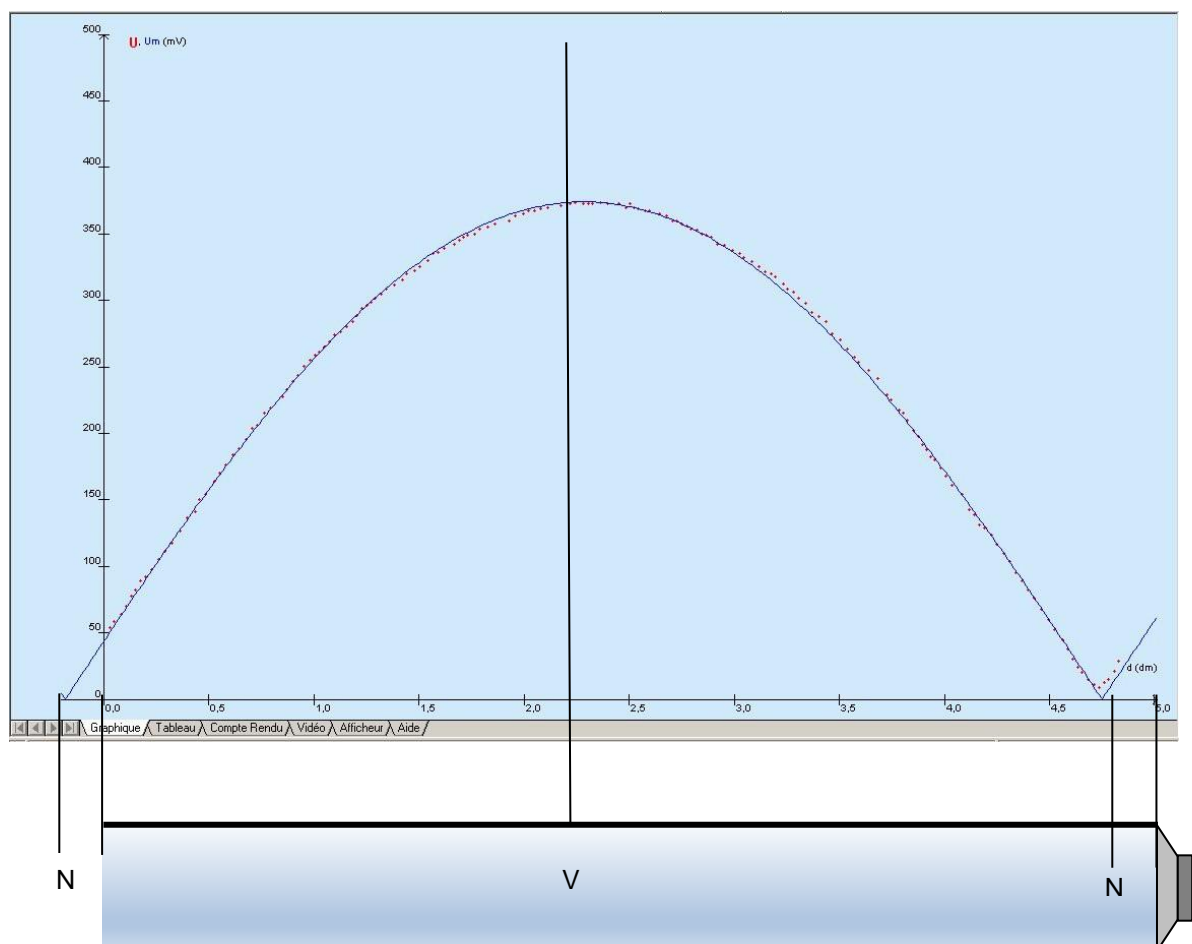
On suppose que l'étalonnage est correctement réalisé. Si l'échelle des ordonnées peut être arbitraire (amplitude du signal capté au voisinage de 0,5 à 2 V).

Les acquisitions de données sont faites sur deux voies :

- en ordonnée, la sortie « Enveloppe  » du boîtier est reliée à une entrée directe de la console ESAO® 4.
- en abscisse, la sortie « Abscisse » est reliée à l'entrée directe 2 de la console ESAO® 4. La configuration est choisie ainsi : la grandeur est d et son unité le dm. La validation est automatique avec un Ecart de 0,2 %.

7.1 Cas du tuyau ouvert

Le GBF est réglé sur 346 Hz. La capture d'écran de l'Atelier Scientifique donne l'aspect suivant :



C'est l'état vibratoire stationnaire le plus simple du tuyau ouvert

On remarque immédiatement qu'une translation des nœuds s'est opérée. En particulier, le nœud n'est plus au niveau de l'extrémité ouverte mais à environ 2,3 cm à gauche.

Ce constat est en accord avec une étude en trois dimensions de l'onde sonore qui n'est pas plane si on considère le diamètre du tube par rapport à sa longueur (rapport 1/10). On peut consulter à ce sujet l'article de R. Moreau dans le BUP n° 742, p. 385.

La courbe modélisée correspond encore à la fonction :

$$U_{th} = a.\text{abs}(\sin(2.\pi.d/\lambda + \varphi))$$

Avec les valeurs numériques données par Générïs, on obtient :

$$U_m = 0,374.\text{abs}(\sin 2.\pi.d/9,87 + 0,117)$$

- $\lambda = 9,87$ dm donne la longueur d'onde 0,987 m
- Pour déduire la vitesse du son à la température ambiante, on exprime v en fonction de la fréquence N et de cette longueur d'onde λ .

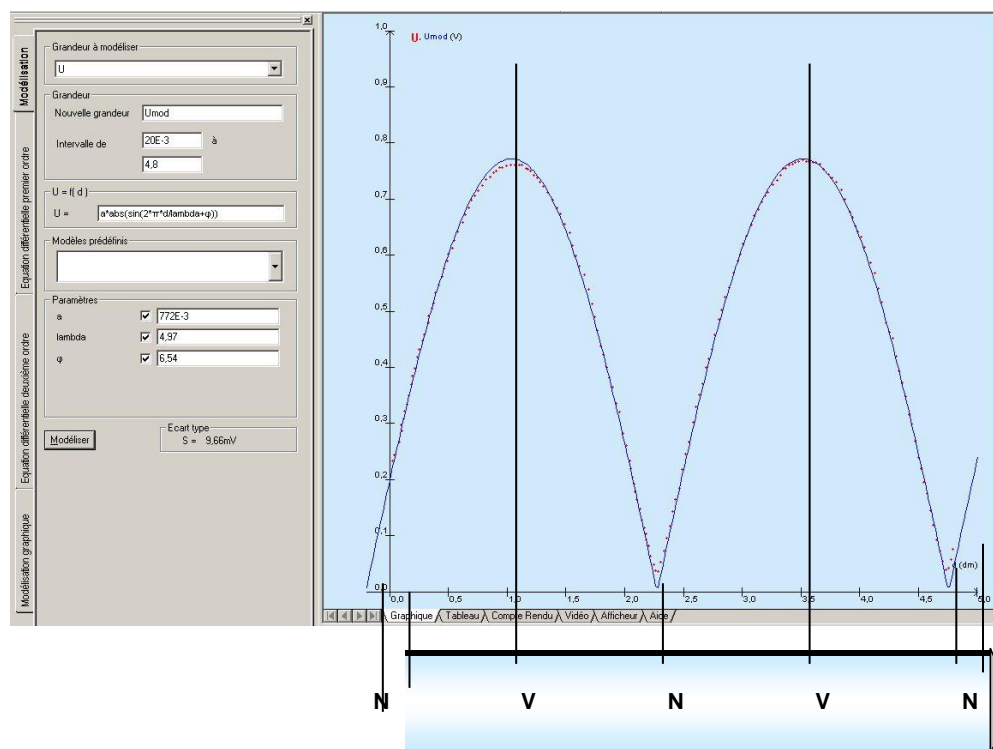
Le résultat donne $v = 346 \times 0,987 = 345,5 \text{ m.s}^{-1}$ (la vitesse théorique du son à la température de l'expérience 22°C est 346 m.s^{-1} . L'écart relatif atteint donc 1,3 %).

Autres exemples

Il est aussi possible de choisir d'autres fréquences pour obtenir d'autres systèmes d'ondes stationnaires.

1. À partir de la relation liant N et k , on choisit $k = 2$, d'où $N = 696 \text{ Hz}$.

L'enregistrement est réalisé dans les mêmes conditions et on obtient le graphe suivant :



Le résultat expérimental coïncide bien avec l'étude théorique : présence de deux ventres et de trois nœuds. On remarque encore le décalage du système stationnaire vers la droite, de 2 cm environ.

La modélisation, avec les résultats numériques indiqués ci-dessus, donne pour la longueur d'onde :

$$\lambda = 0,497$$

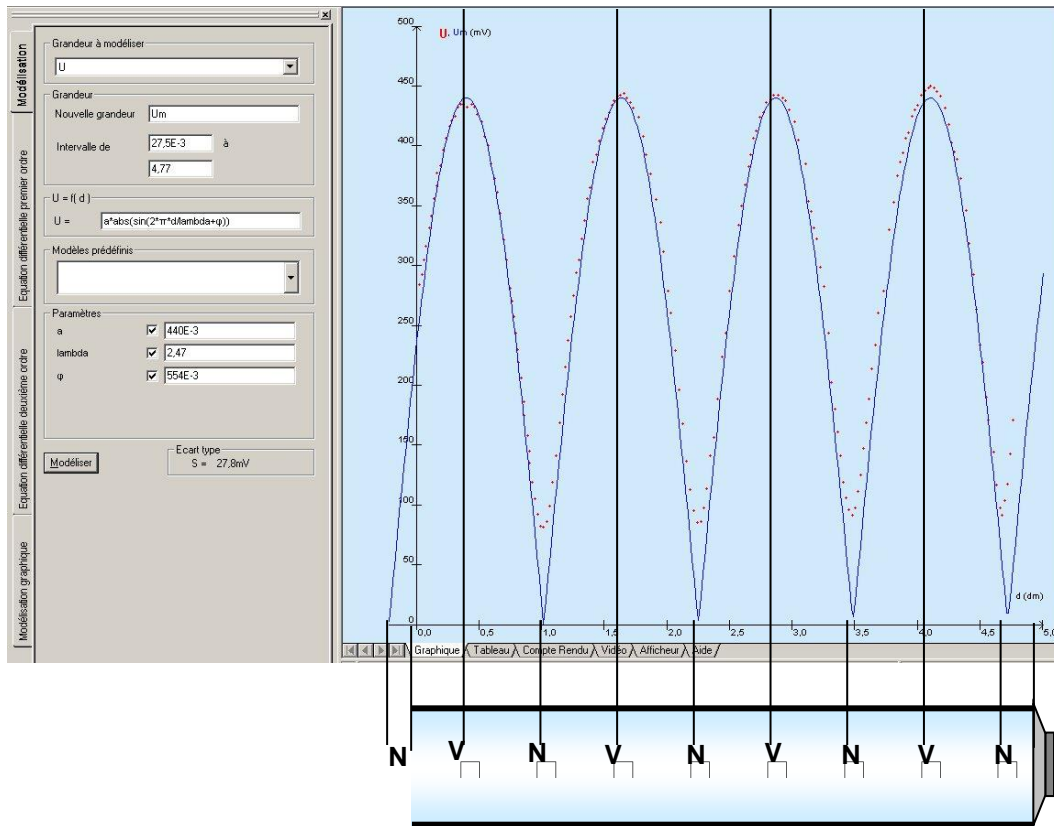
Ce qui correspond à une vitesse du son :

$$v = N \times \lambda = 696 \times 0,497 = 345,9 \text{ m.s}^{-1}$$

Soit un écart relatif de 0,02 % avec la valeur théorique.

2. On choisit ensuite $k = 4$, d'où $N = 1392$ Hz.

L'enregistrement réalisé dans les mêmes conditions, donne le graphe suivant :



Le résultat expérimental coïncide toujours bien avec les prévisions : présence de quatre ventres dans le tuyau et de cinq nœuds. On remarque toujours le décalage du système stationnaire vers la droite, de 2 cm environ.

La modélisation, avec les résultats numériques indiqués ci-dessus, donne :

$$\lambda = 0,247 \text{ m}$$

Ce qui correspond à une vitesse du son :

$$v = N \lambda = 1392 \times 0,247 = 343,8 \text{ m.s}^{-1}$$

Soit un écart relatif de 0,6 % avec la valeur théorique de 346 m.s^{-1} .

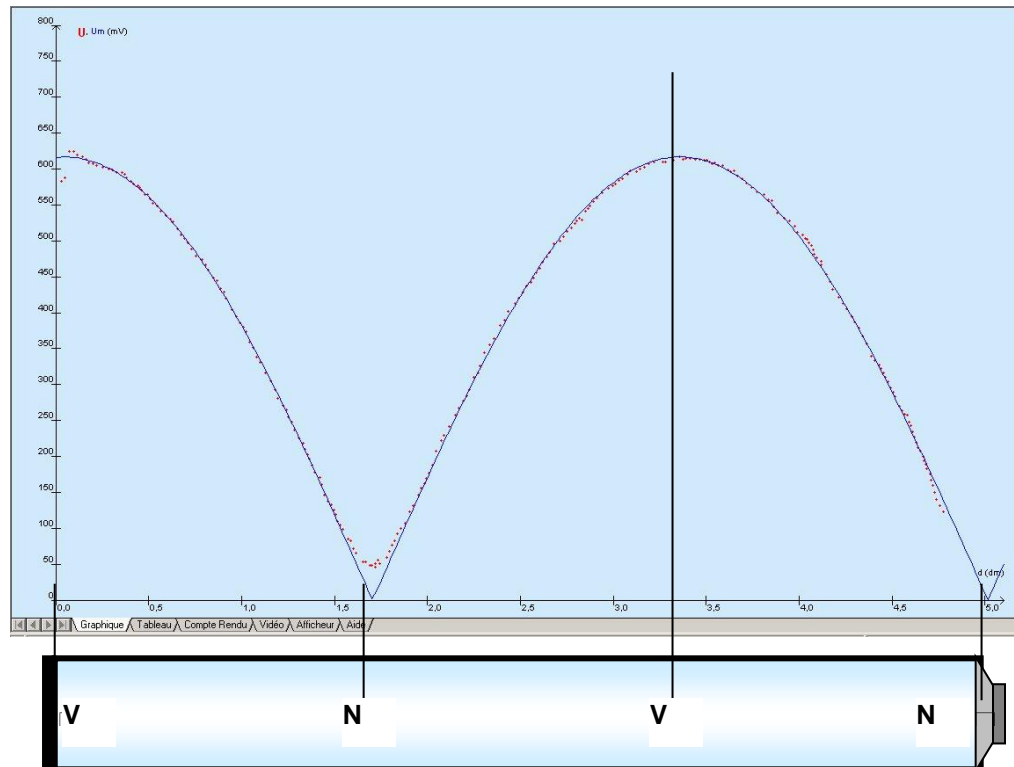
D'autres valeurs peuvent être choisies. On obtient des résultats en conformité avec la théorie. Il est préférable de limiter le nombre de maxima pour garder un enregistrement lisible.

7.2 Le cas de tuyau fermé

L'exemple le plus simple n'est pas accessible expérimentalement car le haut-parleur rend difficilement la fréquence correspondante $N = 173 \text{ Hz}$.

On choisit donc l'état stationnaire suivant obtenu lorsque le GBF est réglé sur 519 Hz .

La capture d'écran de l'Atelier Scientifique donne l'aspect suivant :



Le schéma du tube ci-dessus représente la répartition des nœuds et ventres de pression dans le tuyau sonore. Elle correspond bien à la répartition théorique. La modélisation réalisée définit avec précision les positions des maxima et minima.

La courbe modélisée correspond à la fonction :

$$U_{th} = a \cdot \text{abs}(\sin(2 \cdot \pi \cdot d / \lambda + \varphi))$$

Avec les valeurs numériques, on obtient :

$$U_{th} = 0,617 \cdot \text{abs}(\sin 2 \cdot \pi \cdot d / 6,62 + 1,52)$$

- $\varphi = 1,52$, ce qui donne pour la fonction U : $0,617 \cdot \text{abs}(\cos 2 \cdot \pi \cdot d / 6,76)$
- $\lambda = 6,62 \text{ dm}$ donne la longueur d'onde $0,662 \text{ m}$
- Pour déduire la vitesse du son à la température ambiante, on exprime v en fonction de la fréquence N et de la longueur d'onde λ .

Le résultat donne $v = 519 \times 0,662 = 343,6 \text{ m.s}^{-1}$ (la vitesse théorique du son à la température de l'expérience 25°C est 346 m.s^{-1} . L'écart relatif atteint $0,7 \%$).

On constate sur l'enregistrement que les points expérimentaux sont assez dispersés au niveau de l'extrémité fermée (entre l'abscisse 0 et l'abscisse $1,5 \text{ cm}$) : la cause en est peut-être la nature de la matière qui tapisse l'intérieur du couvercle (mousse plastique adhésive), qui perturbe la réflexion de l'onde sonore.

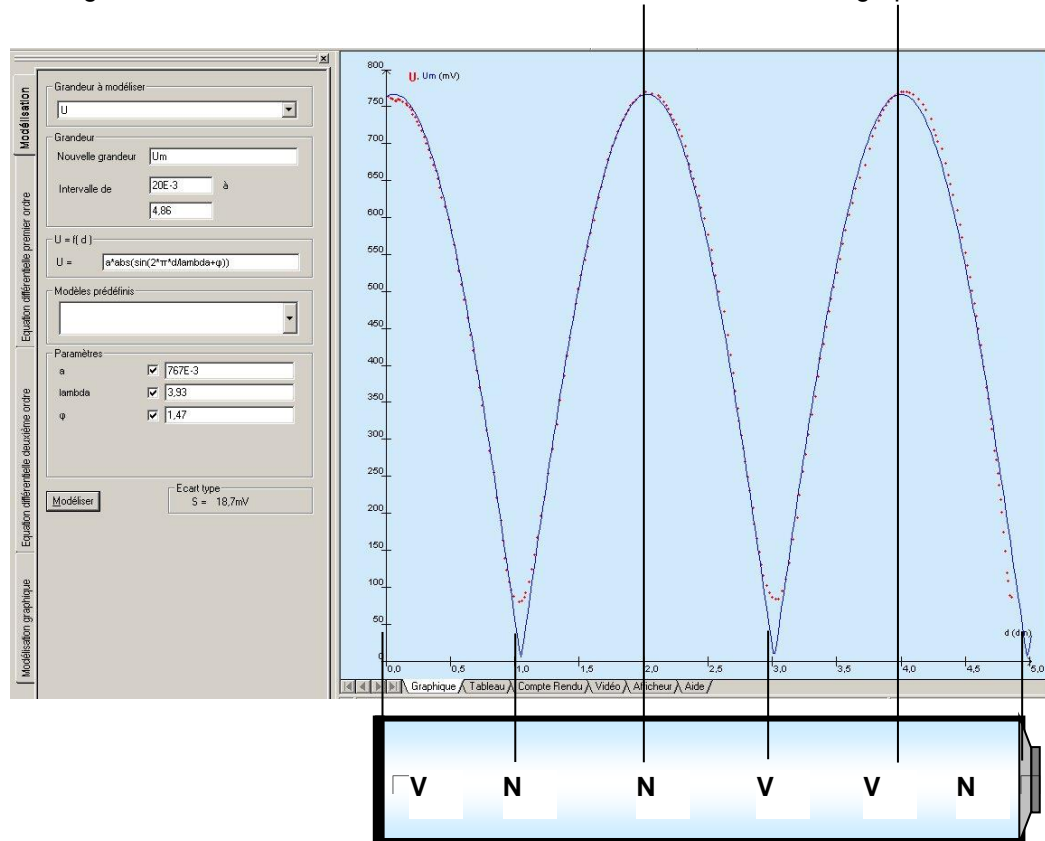
Le minimum obtenu n'est pas nul (mais cependant très faible) et le minimum de pression légèrement au-delà des 5 dm d'abscisse : ce qui coïncide avec le fond du cône de la membrane du haut-parleur.

Autre exemple

Il est aussi possible de choisir une autre fréquence qui nous donnera un autre système d'ondes stationnaires.

A partir de la relation $N = (2k + 1) v / 4 L$ on choisit, par exemple, $k = 2$, d'où $N = 865$ Hz.

L'enregistrement est réalisé dans les mêmes conditions et on obtient le graphe suivant :



Cette fois, l'acquisition et la modélisation donne la répartition ci-dessus, toujours en accord avec l'étude théorique. On a la longueur du tuyau égale à $l = 5. \lambda / 4$

Les paramètres de modélisation donnent une valeur de $\lambda = 0,393$ m, on en déduit que la vitesse du son est $v = N \lambda = 385 \times 0,393 = 340$ m. s^{-1} , soit un écart théorique de 1,8 % avec la valeur à 25°C.

On constate également qu'on a bien un ventre de pression sur l'extrémité fermée et toujours un nœud de pression sur la membrane du haut-parleur.

On peut remarquer que la paroi de l'extrémité fermée ne correspond pas exactement à un ventre de pression, celui-ci est légèrement décalé vers la droite d'environ 0,6 cm.

On peut ainsi continuer avec des fréquences plus élevées, en se limitant à 5 ou 6 maxima.

Remarques

La méthode qui consisterait à atteindre « à l'oreille » la valeur de la fréquence de résonance pour chacun des modes vibratoires possibles est assez aléatoire et trop difficile à mettre en œuvre pour des élèves. On peut cependant leur faire remarquer l'augmentation de l'intensité sonore perçue pour les fréquences de résonance, surtout pour les plus petites.

Pour réaliser une bonne acquisition, sans à-coups, il faut faire coulisser le tube porte microphone **très lentement et très régulièrement**. La translation doit durer environ 2 min (soit un déplacement de l'ordre de quelques mm par seconde au maximum). On peut soit pousser le tube à partir du microphone depuis l'abscisse 0, soit le tirer depuis l'abscisse extrême à droite.

Les résultats expérimentaux obtenus pour les fréquences théoriques sont parfois de mauvaise qualité : il est alors nécessaire d'ajuster la fréquence sonore utilisée pour obtenir les minima les plus faibles au niveau des nœuds de pression. En pratique, les valeurs théoriques mises en évidence conviennent bien. Il convient de tenir compte de la température pour calculer la vitesse du son selon l'expression :

$$v = v_0 \sqrt{1 + \frac{t}{T_0}} = 331 \sqrt{1 + \frac{t}{273}}$$

8. Service après-vente

La garantie est de 2 ans.

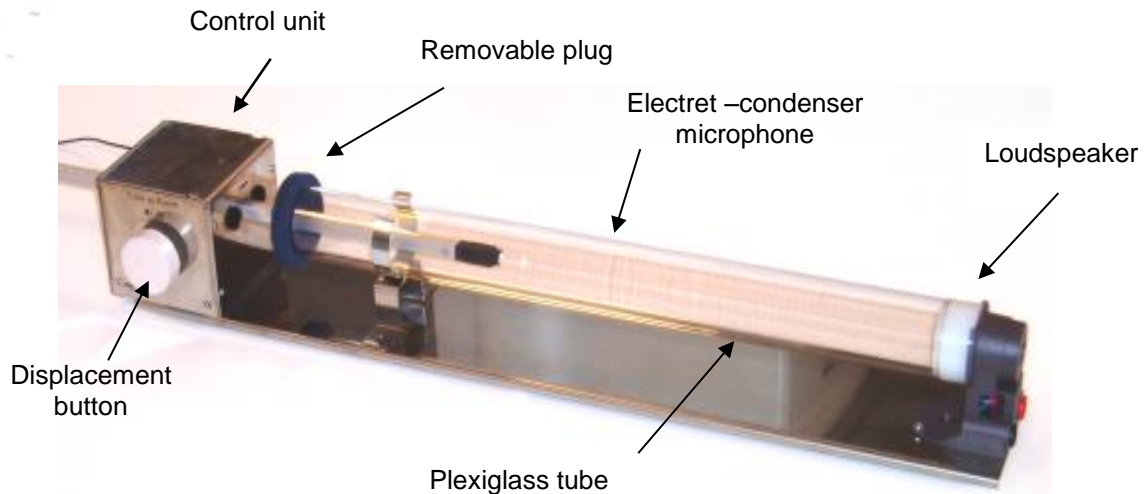
Pour tous réglages, contacter le **Support Technique** au **0 825 563 563**.

Le matériel doit être retourné dans nos ateliers et pour toutes les réparations ou pièces détachées, veuillez contacter :

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

0 825 563 563*

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



1. Description

The sound pipe used consists of a transparent Plexiglas tube held on a sheet-metal support by two retaining clips.

A loudspeaker is fixed at one end of the tube. This loudspeaker is powered by a signal generator (not supplied).

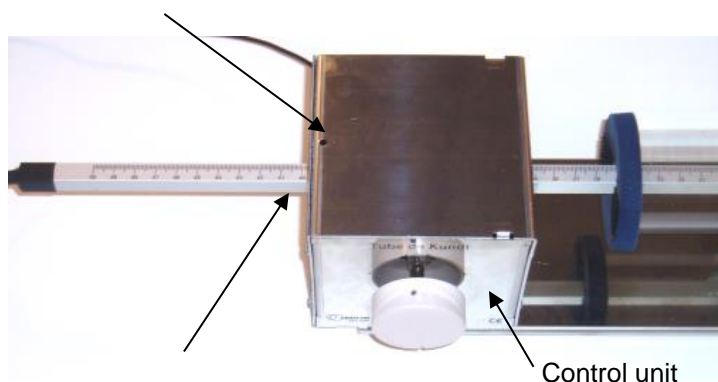
The other end of the tube is closed by a removable foam plug. This plug can be removed and attached to the control unit using 2 Velcro strips thus allowing the tube to be used with one side open.

Inside the pipe an electret-condenser microphone of 8 mm diameter, equipped with an index, is fitted at the end of a movable metal rod along the axis of the sound pipe. The displacement of the rod is ensured by the rotary selector on the control unit connected to an adjustable rack system (a stop prevents the rod from coming out of the control unit).

A 500 mm graduated scale is printed on top of the rod to locate the position of the microphone in the tube. The position can be read directly on the graduated rod at the left end of the unit (see the photograph below).

On the unit, an adjusting screw helps adjust the vertical position of the metal rod at the centre of the Plexiglas tube.

Adjusting Screw



The control unit contains the electronic device that powers the electret-condenser microphone and processes the signals detected (amplification, rectification and peak value). The microphone's position sensor is also placed in this box; it provides a DC voltage, image of the abscissa of the microphone in the pipe. The origin corresponds to the left end of the sound pipe.

Additional equipment required (not supplied):

- Signal generator
 - ESAO 4 console + Générïs 5 Software
- Or
- JO20 oscilloscope

2. Objectives

Kundt's tube is designed to study the vibratory states of air contained in a pipe when sound waves are generated.

The device helps detect the pressure nodes and antinodes created by the loudspeaker in the air column with the electret-condenser microphone.

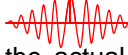
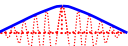
3. Processing detected signals

The tube has two sensors:

- One of them provides information about the vibratory state generated at one point of the pipe by a sound wave
- The other marks the position of the previous sensor inside the pipe.

3.1 Signal detected by the microphone

This signal is used in 2 ways:

- The output  gives the "raw" signal detected by the microphone. This consists of the actual instantaneous signal that can easily be observed on an oscilloscope.
- The output  provides a DC voltage that is the envelope of the rectified raw signal. This output is mainly used with an ExAO system but it can also be used with an oscilloscope or a multimeter (the recording of the voltage in function of the position of the microphone is done manually).

3.2 Signal giving the abscissa of the microphone

The electret-condenser microphone moves in the sound pipe with the help of a control rod link that slides in the control unit. On its passage, the tube drives a gear wheel coupled to the axis of a potentiometer.

The output $I \longrightarrow x$ gives the position of the microphone in the tube.

To calibrate the system, place the microphone in front of the zero of the graduated scale (facing the end of the tube opposite the loudspeaker) then record the voltage in Générïs 5.

Then, move the rod to bring the position cursor of the microphone in front of the 500 mm marking and note down the new voltage (this procedure completes the calibration and the customisation of a direct entry is described in the instructions manual of the Générïs 5 software).

3.3 Connecting terminals of the unit

The 3 analog outputs and the power supply for the 12 V mains adaptor are located on the rear face of the control unit. The earth terminal is common to the 3 outputs. This technical solution helps perform acquisitions with any ExAO interface connected to a computer, or an oscilloscope or multimeter.

Using the tube with an ExAO acquisition system gives access to the raw signal and the envelop curve of the sound signal simultaneously (in relation to the position of the microphone in the tube). In this case, each analog output must be connected to an input of the ExAO system. We thus directly obtain the position of pressure nodes and antinodes.

To view the 2 signals simultaneously on the oscilloscope, connect the output corresponding to the raw signal to channel A and the output corresponding to the envelop to channel B. We then see a DC voltage (channel B) passing from the maximum amplitude of a sine curve (channel A).



4. Use

- Power the unit with the 12 V mains adaptor (supplied) and the loudspeaker with the signal generator (not supplied)
- Adjust the desired sound frequency of the loudspeaker using the signal generator
- Open or close the tube with the foam plug depending on the experiment to be performed.

Caution: do not adjust the loudspeaker sound too loud so as not to saturate the signal and maintain a sine wave for the envelop of the sound wave.

4.1 Using the ExAO system

- Connect the 3 analog outputs to the 3 direct inputs of the ExAO system
- Calibrate the device (refer to the instructions of the Générïs 5 software). It is recommended that the 0 and 500 mm positions of the microphone be calibrated
- Start the acquisition using the software
- Move the microphone over the entire length of the tube using the rotary selector to carry out a complete acquisition.

4.2 Using an oscilloscope

- Connect the 2 “raw signal” and “envelop” outputs to the 2 inputs of the oscilloscope
- Adjust the display parameters of the 2 curves
- Move the microphone over the entire length of the tube using the rotary selector
- Take manual readings of the maximum voltage (envelop) according to the 0 to 500 mm position of the microphone to perform a complete acquisition.

5. Technical characteristics

- **3 analog outputs:**
 - 5 V / + 5 V proportional to the displacement
 - 5 V / + 5 V proportional to the sound signal
 - 5 V / + 5 V proportional to the envelop of the signal
- **Loudspeaker:**
 - 8 Ω / 0.25 W
- **Loudspeaker power supply:**
 - Maximum 10 V
- **Microphone:**
 - Electret-condenser type
- **Microphone/loudspeaker distance:**
 - Adjustable from 0 to 500 mm
- **Unit power supply:**
 - 12 V mains adaptor supplied
- **Connections:**
 - Safety sockets \varnothing 4 mm
- **Overall dimensions:**
 - 700 x 100 x 96 mm
- **Dimensions of the tube (internal):**
 - \varnothing 45 x 500 mm

6. Theoretical study of a sound tube

A sound wave is produced at the left end of the pipe by the loudspeaker powered by a LFG (not supplied). It propagates in the air's elastic medium and is reflected from the end of the tube.

The superposition of the two waves – incident wave and reflected wave – gives rise to a vibratory state: the air in the tube is subjected to a series of compressions and rarefactions of sections of air constituting the space in the tube.

For specific values of the frequency of sound waves, length of the tube and speed of sound in air, the vibration inside the pipe can present itself in the form of **standing waves**.

6.1 Description of the vibratory state

In the vibratory states observed, immobile points called **displacement nodes** and points with maximum vibration called **displacement antinodes** can be distinguished.

The *displacement antinodes* correspond to constant pressure (or to zero variations in pressure): these are **pressure nodes**. Conversely, the *displacement nodes* coincide with the area of maximum pressure variations or **pressure antinodes**.

The electret-condenser microphone, the scanning sensor of the vibratory state in the tube is sensitive to air pressure: **it thus detects the pressure nodes N and antinodes V** (as well as the intermediary states).

At the loudspeaker level (sound source): the membrane of the loudspeaker vibrates and constitutes a maximum displacement region (**displacement antinode**). It is thus a **pressure node N**.

The position of the other end depends on its state:

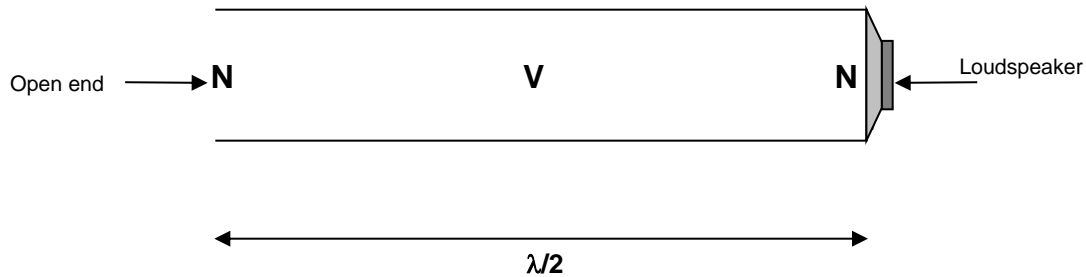
- If **the end is open**: the pressure there is constant (atmospheric pressure) and we have a **pressure node N**
- If **the end is closed** (plug installed), the displacement of air is zero; as a result, we have there a **pressure antinode V**.

6.2 Conditions for the existence of standing waves

For specific conditions, the pressure nodes (**N**) have almost zero values and the pressure antinodes (**V**) have maximum amplitude. This phenomenon corresponds to a state of resonance of air in the pipe with the vibrating membrane of the loudspeaker.

- Case when the pipe is open

The simplest state corresponds to the existence of pressure antinodes at the loudspeaker end and pressure nodes at the open end. Schematically, we have the following distribution:



The distance between two nodes is $\lambda / 2$. If L is the length of the tube, it must satisfy the relation $L = \lambda / 2$.

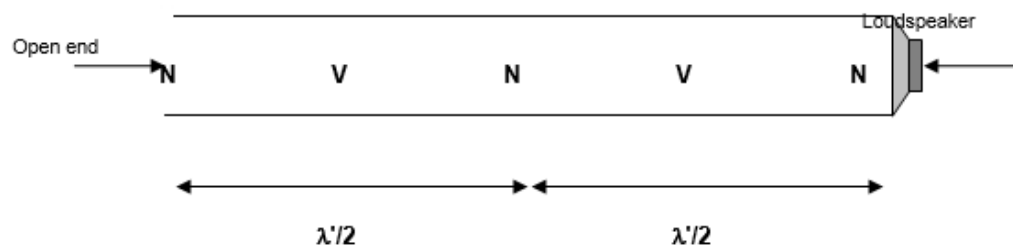
As we have the relation: $\lambda = v/N$, we observe that the length of the tube must be:

$$L = \lambda / 2 = v / 2N, \text{ or } N = v / 2L$$

For example, for $L = 50 \text{ cm}$ and the value of $v = 346 \text{ m.s}^{-1}$ (speed of sound at 25°C), the frequency of the sound emitted by the loudspeaker is:

$$N = 346 / (2 \times 0.5) = 346 \text{ Hz}$$

However, other modes of vibration are possible. The simplest, described below, corresponds to the following standing state:



This time, the new wave length λ' must be such that $L = 2 \cdot \lambda' / 2$ or: $L = \lambda'$ which gives a frequency of:

$$N' = 2 \times N$$

With the proposed tube: $N' = 692 \text{ Hz}$, which is easy to obtain.

In general, the length of the tube must represent an integer k times half the wave length of the sound emitted:

$$L = k \lambda / 2$$

Which corresponds to a sound frequency of:

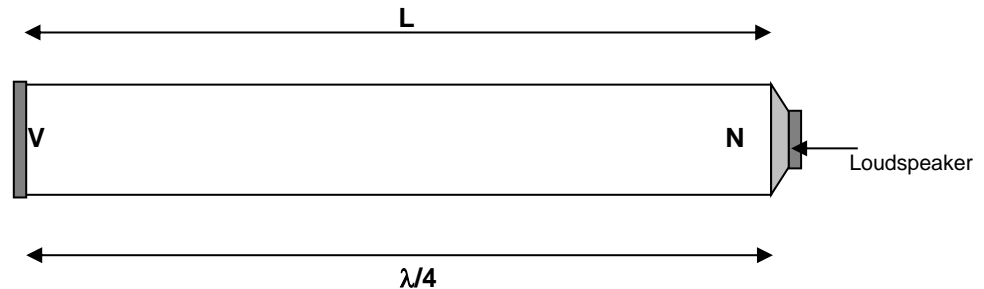
$$N' = k N = k \cdot v / 2L$$

Note: These successive remarkable states are obtained by fixing the frequency of the LFG, which powers the loudspeaker.

When a system of standing waves is attained, it manifests itself by an increase in the sound intensity coming from the pipe (when it is open), audible to the ear.

- Case when the pipe is closed

The simplest state corresponds to the existence of pressure antinodes at the closed end and pressure nodes at the loudspeaker. Schematically, we have the following distribution:



The distance between the nodes and antinodes is $\lambda/4$. If L is the length of the tube, it must satisfy the relation $L = \lambda/4$. As the speed of sound v in air is linked to the wave length and the frequency N of the wave emitted by the loudspeaker by $\lambda = v/N$, we observe that the length of the pipe must be:

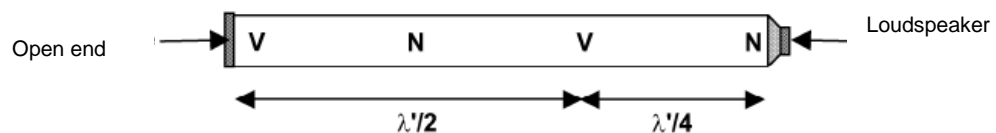
$$L = \lambda / 4 = v / 4N, \text{ or } N = v / 4L$$

For example, for $L = 50 \text{ cm}$ and a value of $v = 346 \text{ m.s}^{-2}$ (speed of sound in air at 22°C), the frequency of the sound emitted by the loudspeaker is:

$$N = 346 / (4 \times 0.5) = 173 \text{ Hz}$$

Note: The 5 cm diameter loudspeaker is unable to generate a sound of such low frequency thus making it impossible to perform the experiment.

However, other modes of vibration are possible. The following one corresponds to the standing state:



This time, the new wave length λ' is such that $L = \lambda'/2 + \lambda'/4 = 3 \cdot \lambda'/4$, which gives a frequency of:

$$N' = v / \lambda' = 3 \cdot v / 4L = 3 \cdot N$$

Or, the numerical value is:

$$N' = 3 \cdot N = 3 \times 173 = 519 \text{ Hz}$$

In general, the length of the tube must represent an odd number $(2k + 1)$ of one fourth the wavelength of the sound emitted:

$$L = (2k + 1) \cdot \lambda / 4$$

Which corresponds to a sound frequency of:

$$N = (2k + 1) v / 4L \text{ (v = speed of sound in air)}$$


7. Experimental results

The study carried out is a verification of the theoretical results of the previous paragraph.

The data given below was obtained with the ESAO® 4 console then processed using the Générïs 5 software.

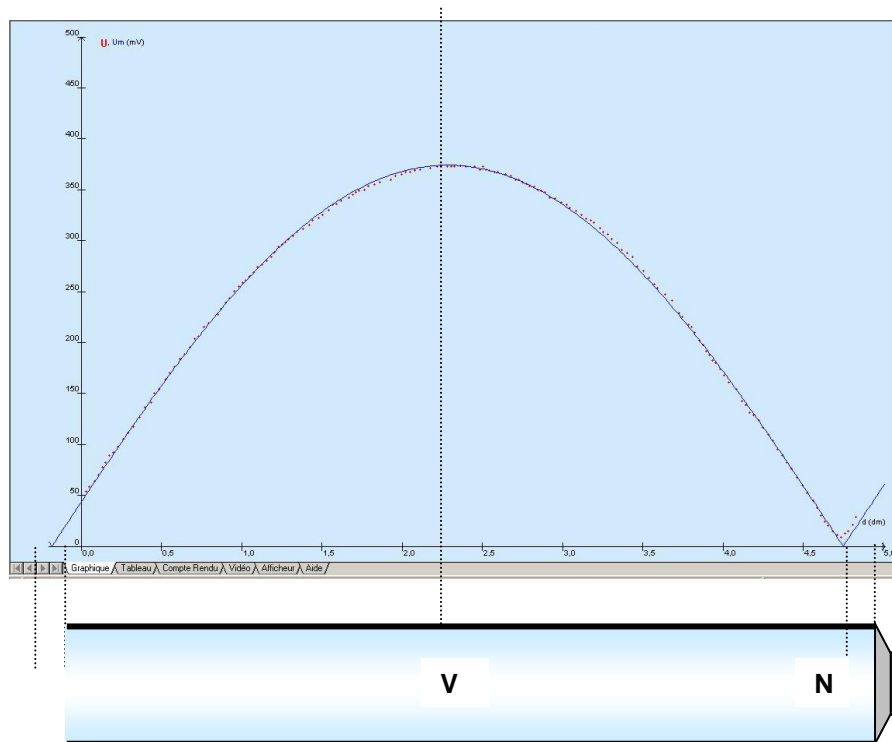
We suppose that the calibration was done correctly. The scale of ordinates can be arbitrary (amplitude of the signal detected close to 0.5 to 2 V).

The data acquisitions are carried out on two channels:

- In the ordinate, the “Envelop  ” output of the unit is connected to a direct input of the ESAO® 4 console.
- In the abscissa, the “Abscissa” output is connected to the direct input 2 of the ESAO® 4 console. The configuration is selected in the following manner: the magnitude is d and dm is its unit. The validation is done automatically with a Difference of 0.2 %.

7.1 Case when the tube is open

The LFG is set to 346 Hz. The screen grab of Générïs has the following appearance:



It is the simplest standing vibratory state of the open tube.

We immediately notice that a linear motion of the nodes has occurred. In particular, the node is no more at the open end but at about 2.3 cm to the left.

This observation is in accordance with the study in three dimensions of the sound wave, which is not plane if we consider the diameter of the tube in relation to its length (1/10 ratio). One can refer to the article written by R. Moreau in BUP no. 742, p. 385 on this subject.

The modelled curve corresponds to the function: $U_{th} = a \cdot \text{abs}(\sin(2 \cdot \pi \cdot d / \lambda + \varphi))$.

With the numerical values given by Généris, we obtain:

$$U_m = 0.374 \cdot \text{abs}(\sin(2 \cdot \pi \cdot d / 9.87 + 0.117))$$

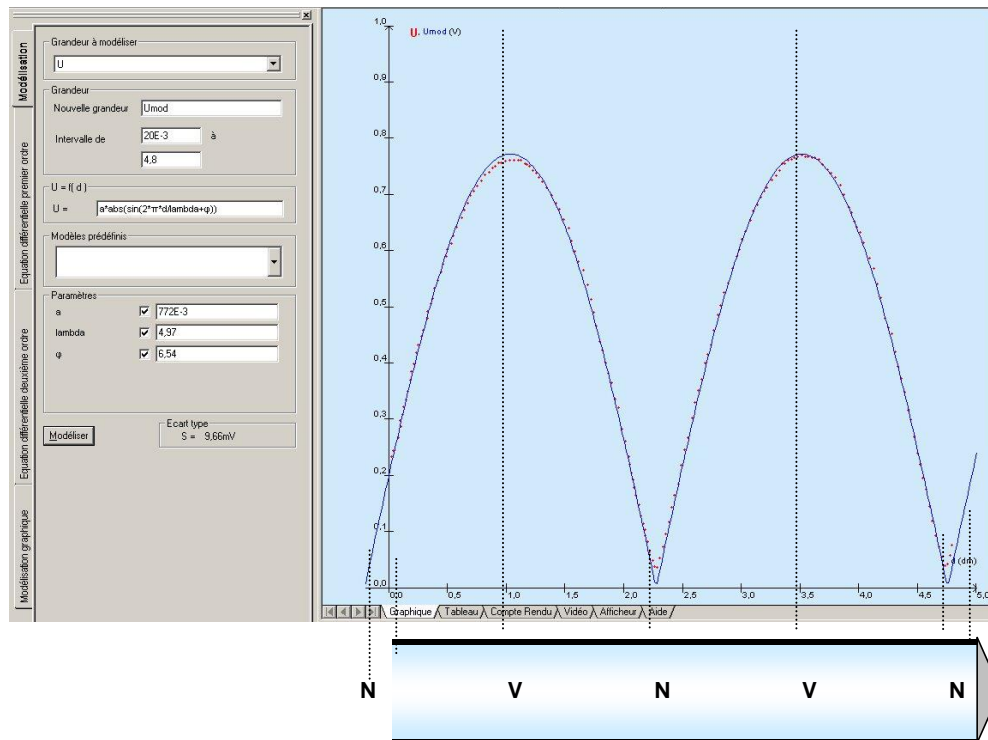
- $\lambda = 9.87$ dm gives a wave length of 0.987 m
- To deduce the speed of sound at ambient temperature, we express $v = N \cdot \lambda$
- The result gives $v = 346 \times 0.987 = 341.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (the theoretical speed of sound at the experiment's temperature 22 °C is 346 m.s⁻¹, the relative difference obtained is thus 1.3 %).

Other examples

It is also possible to select other frequencies to obtain different standing wave systems.

1. From the relation $N = k \cdot v / 2L$, we select $k = 2$, therefore $N = 696$ Hz.

The recording is done in the same conditions and the following graph is obtained:



The experimental result corresponds well to the theoretical study: presence of two antinodes and three nodes. We notice a discrepancy of the standing system towards the right, by about 2 cm.

The modelling with the numerical results indicated below gives the following wave length:

$$\lambda = 0.497 \text{ m}$$

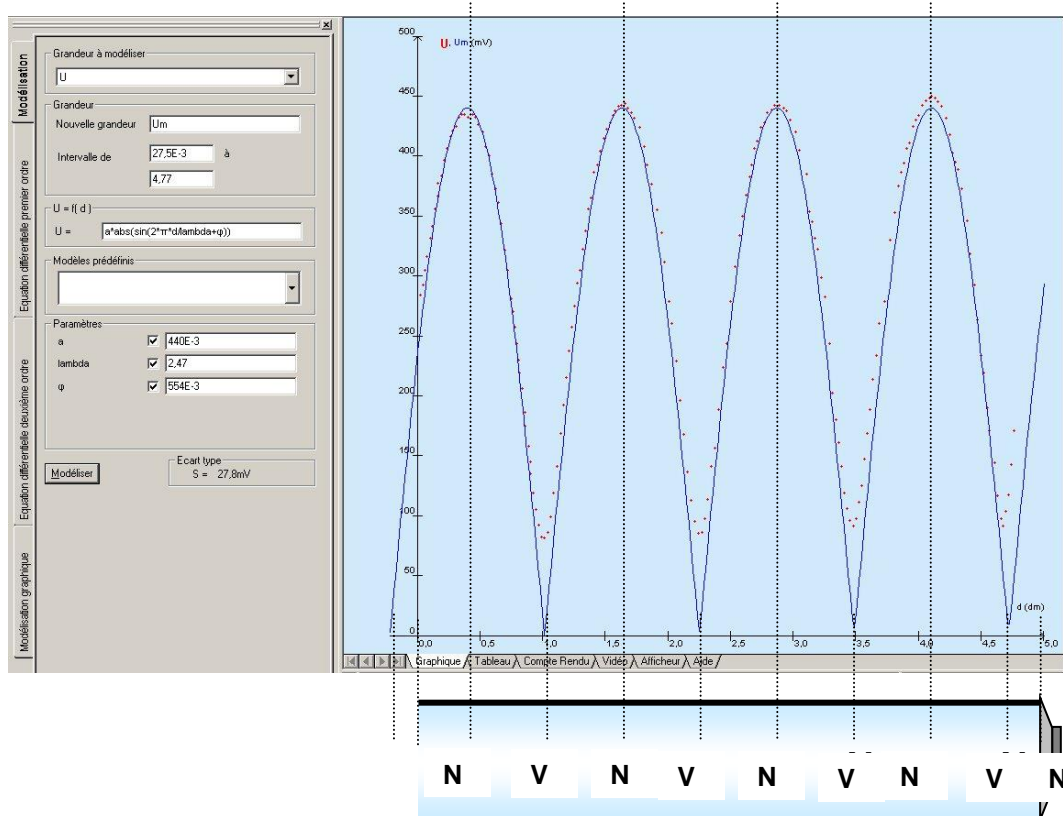
Which corresponds to the speed of sound of:

$$v = N \cdot \lambda = 696 \times 0.497 = 345.9 \text{ m.s}^{-1},$$

That is a relative difference of 0.02 % with the theoretical value.

2. We then select $k = 4$, therefore $N = 1392 \text{ Hz}$.

The recording is done in the same conditions and the following graph is obtained:



The experimental result still coincides well with the predictions: presence of four antinodes and five nodes in the pipe. We still notice a discrepancy of the standing system towards the right, by about 2 cm.

The modelling with the numerical results indicated below gives:

$$\lambda = 0.247 \text{ m}$$

Which corresponds to the speed of sound of:

$$v = N \cdot \lambda = 1392 \times 0.247 = 343.8 \text{ m.s}^{-1},$$

That is a relative difference of 0.6 % with the theoretical value of 346 m.s^{-1} .

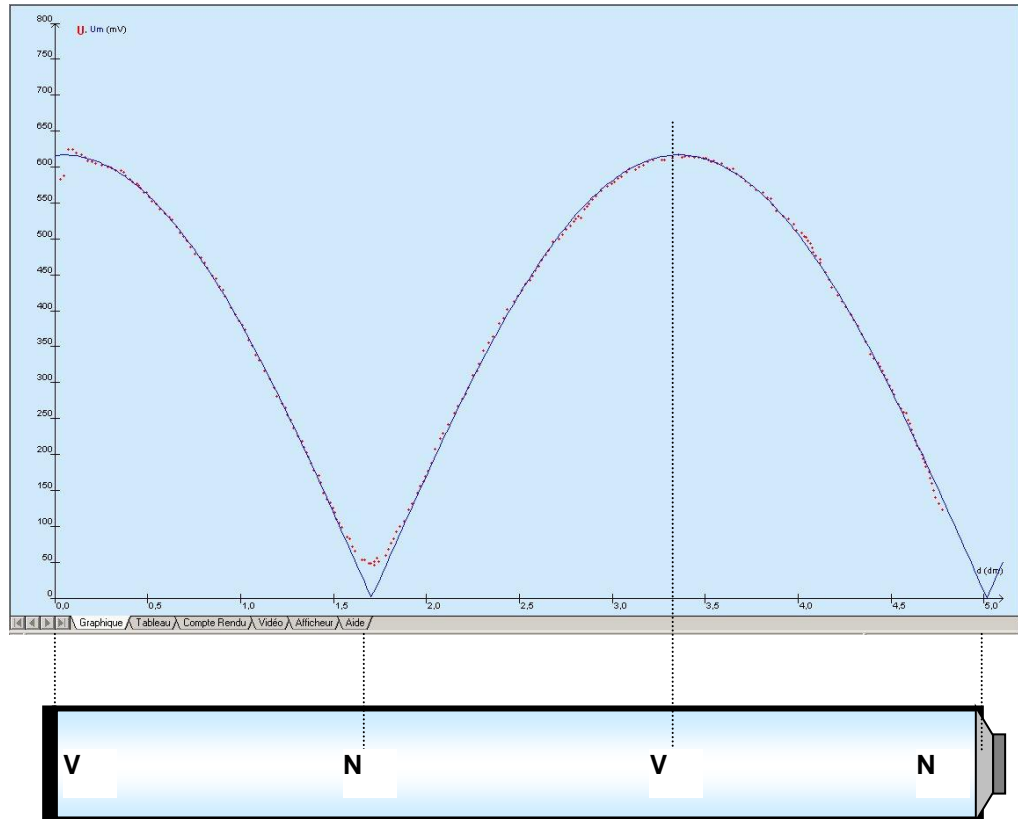
Other values can be selected. We obtain results that are compliant with the theoretical values. It is advisable to limit the number of maxima so as to maintain a readable recording.

7.2 Case when the pipe is closed

The simplest example is not experimentally accessible because it is difficult for the loudspeaker to generate the corresponding frequency of $N = 173$ Hz.

We thus select the following standing state obtained when the LFG is adjusted to 519 Hz.

The Générïs screen grab has the following appearance:



The diagram of the tube given above represents the distribution of pressure nodes and antinodes in the sound tube. It corresponds well to the theoretical distribution. The modelling carried out accurately defines the positions of the maxima and minima.

The modelled curve corresponds to the function: $U_{th} = a \cdot \text{abs}(\sin(2 \cdot \pi \cdot d / \lambda + \varphi))$. With the numerical values we obtain:

$$U_{th} = 0.617 \cdot \text{abs}(\sin 2 \cdot \pi \cdot d / 6.62 + 1.52)$$

- $\varphi = 1.52$ is very close to $\pi/2$ giving for the function $U \approx 0.617 \cdot \text{abs}(\cos 2 \cdot \pi \cdot d / 6.76)$
- $\lambda = 6.62$ dm gives a wave length of 0.662 m
- To deduce the speed of sound at ambient temperature, we express $v = N \cdot \lambda$

- The result gives $v = 519 \times 0.662 = 343.6 \text{ m.s}^{-1}$ (the theoretical speed of sound at the experiment's temperature - 25 °C – is 346 m.s⁻¹, the relative difference obtained is 0.7 %).

We observe from the recording that the experimental points are quite scattered at the closed end (between the abscissa 0 and 1.5 cm): The cause could be the nature of the material which covers the inside of the cover (adhesive plastic foam), material which interferes with the reflection of sound waves.

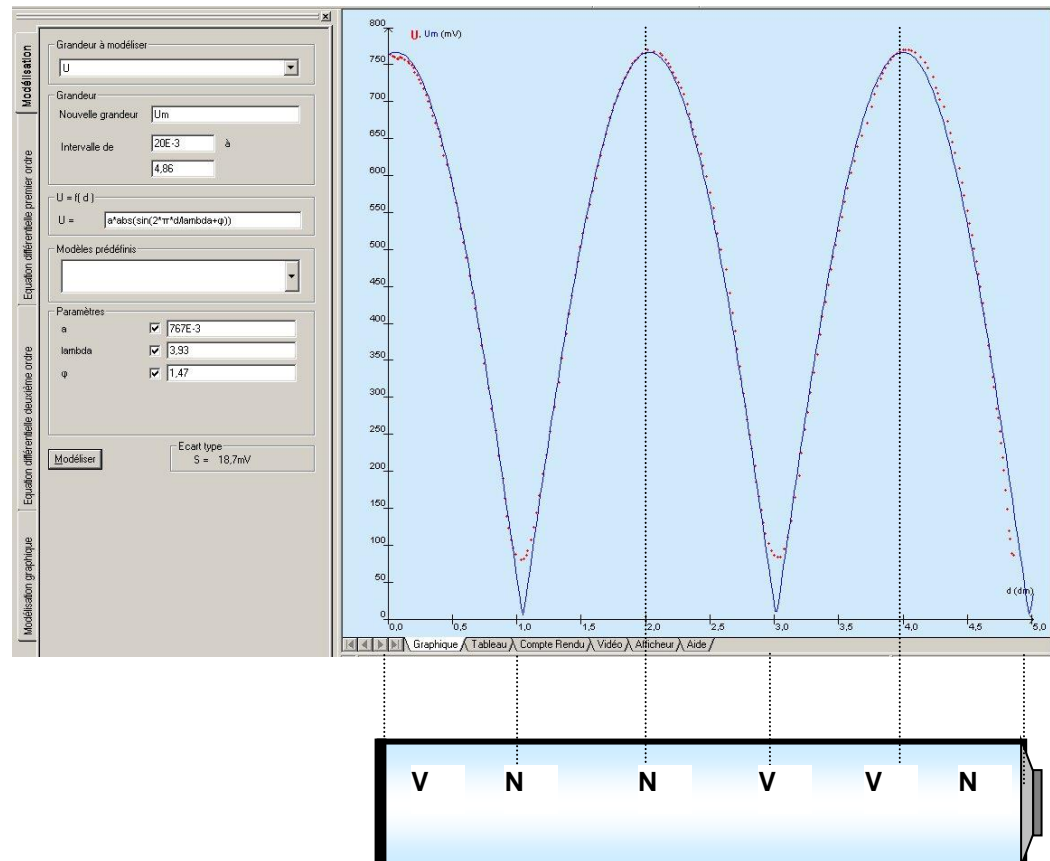
The minimum obtained is not zero (but very low, nevertheless) and the pressure minimum just above the 5 dm abscissa: which coincides with the base of the cone of the loudspeaker membrane.

Another example

It is also possible to select another frequency that will give another standing waves system.

From the relation $N = (2k + 1) v/4L$, we select for example $k = 2$, thus $N = 865 \text{ Hz}$.

The recording is done under the same conditions and we obtain the following graph:



This time, the acquisition and modelling give a distribution as shown above, which is in agreement with the theoretical study. The length of the tube is equal to $l = 5. \lambda/4$.

The modelling parameters give a value of $\lambda = 0.393 \text{ m}$, thus we deduce that the speed of sound is $v = N. \lambda = 865 \times 0.393 = 340 \text{ m.s}^{-1}$, that is a theoretical difference of 1.8 % with the value at 25°C.

We also observe that we have one pressure antinode on the closed end and one pressure node on the loudspeaker's membrane.

We remark that the surface of the closed end does not exactly correspond to a pressure antinode, it has shifted slightly to the right by about 0.6 cm.

We can thus continue with higher frequencies by limiting ourselves to 5 or 6 maxima.

Notes:

The method designed to make the resonance frequency value reach "the ear" for each of the possible vibratory modes is quite random and very difficult to implement for the students. We can however make them notice the increase in the sound intensity perceived for the resonance frequencies, especially for the lower ones.

To carry out a proper acquisition without jerks, the tube containing the microphone must slide **very slowly and steadily**. The movement must last about 2 min (that is a displacement of a few mm per second at the most). We can either push the tube starting from the microphone from abscissa 0, or pull it from the abscissa on the extreme right.

The experimental results obtained for the theoretical frequencies are sometimes inaccurate: it is thus necessary to adjust the sound frequency used to obtain the lowest minima at the level of the pressure nodes. In practice, the theoretical values demonstrated are compliant. It is advisable to take into account the temperature to calculate the speed of sound from the expression:

$$v = v_0 \sqrt{1 + \frac{t}{T_0}} = 331 \sqrt{1 + \frac{t}{273}}$$

8. After-sales service

The device is under a 2-year guarantee, it must be sent back to our workshops.
For any repairs, adjustments or spare parts please contact:

JEULIN – TECHNICAL SUPPORT
468 rue Jacques Monod
CS 21900
27019 EVREUX CEDEX FRANCE

+33 (0)2 32 29 40 50



Assistance technique en direct

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

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

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

Service gratuit*

0 825 563 563 choix n°3**

* Hors coût d'appel. 0,15 € TTC/min à partir d'un poste fixe.

** Numéro valable uniquement pour la France métropolitaine et la Corse. Pour les DOM-TOM et les EFE, composez le +33 2 32 29 40 50.

Aide en ligne
FAQ.jeulin.fr



Direct connection for technical support

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

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

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

Free service*

+33 2 32 29 40 50**

* Call cost not included.

** Only for call from foreign countries.



468, rue Jacques-Monod, CS 21900, 27019 Evreux cedex, France

Métropole • Tél : 02 32 29 40 00 - Fax : 02 32 29 43 99 - www.jeulin.fr - support@jeulin.fr

International • Tél : +33 2 32 29 40 23 - Fax : +33 2 32 29 43 24 - www.jeulin.com - export@jeulin.fr

SAS au capital de 1 000 000 € - TVA intracommunautaire FR47 344 652 490 - Siren 344 652 490 RCS Evreux