

Résonateur de Helmholtz

Version papier téléchargeable



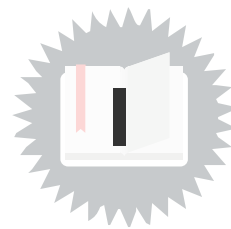
Table des matières

Introduction	3
I - Objectifs	4
II - 1. Principe	5
III - 2. Partie expérimentale	6
1. 2.1. Présentation du matériel.....	6
2. 2.2. Protocole expérimental	13
3. 2.3. Mesures et analyses des spectres.....	14
3.1. 2.3.1 Ballon de 1000 mL rempli d'air.....	14
3.2. 2.3.2 Ballon 1 L, 100 mL d'eau ajoutée	14
3.3. 2.3.3 Ballon 1 L, 200 mL d'eau ajoutée	14
3.4. 2.3.4 Ballon 1 L, 300 mL d'eau ajoutée	15
3.5. 2.3.5 Ballon 1 L, 400 mL d'eau ajoutée	15
3.6. 2.3.6 Ballon 1 L, 500 mL d'eau ajoutée	15
3.7. 2.3.7 Ballon 1 L, 600 mL d'eau ajoutée	15
3.8. 2.3.8 Ballon 1 L, 700 mL d'eau ajoutée	15
3.9. 2.3.9 Ballon 1 L, 800 mL d'eau ajoutée	15
3.10. 2.3.10 Ballon 1 L, 900 mL d'eau ajoutée	15
3.11. 2.3.11 Ballon 100 mL rempli d'air	15
3.12. 2.3.12 Ballon 100 mL, 50 mL d'eau ajoutée.....	15
4. 2.4. Calculs et interprétations	16
IV - Manipulation virtuelle	17
V - Histoire	18

Introduction



Objectifs



Les objectifs de ce TP sont:

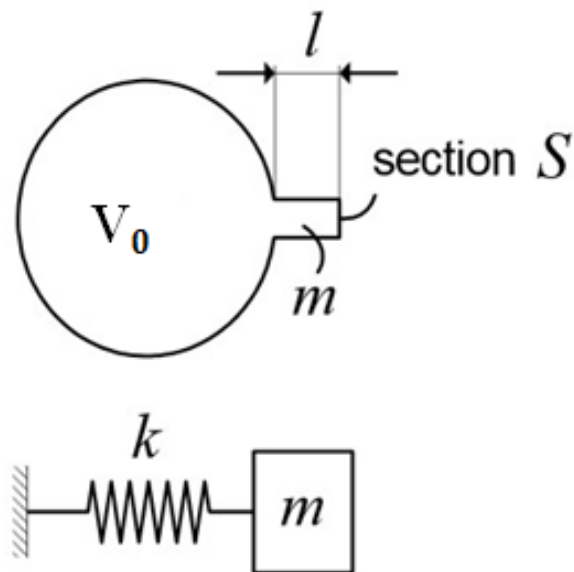
- Déterminer les différentes fréquences de résonance d'une cavité résonante en fonction du volume.
- Déterminer la longueur effective du col étroit et le volume de la partie ronde du ballon.
- Comparer avec la théorie.

1. Principe



En acoustique, les cavités résonantes possèdent une fréquence caractéristique qui est déterminée par leur forme géométrique. La résonance de Helmholtz est utilisée par exemple dans une guitare, où elle forme le mode le plus grave de sa caisse.

Dans cette expérience, la cavité de résonance est excitée pour produire des vibrations à sa fréquence de résonance (par un bruit de fond ou à l'aide d'un signal excitateur).



On considère le récipient représenté dans la Figure 1.

Le volume d'air, V_0 , communique avec l'atmosphère par un col étroit de section cylindrique S et de longueur l . Ce grand volume d'air joue le rôle d'un ressort exerçant une force sur la masse d'air m comprise dans le col qui va donc osciller.

On peut montrer (voir TD résonateur de Helmholtz) que la fréquence de résonance, f_0 , est donnée par:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{l V_0}} \quad (1)$$

où c est la vitesse du son dans l'air à la température T (Kelvin) :

$$c = 20,16 \sqrt{T}$$

Le résonateur de Helmholtz est donc un oscillateur simple, dont la fréquence propre de résonance dépend de ses caractéristiques géométriques S , l , V_0 .

Pour être plus précis, la longueur l doit être corrigée pour tenir en compte du fait que du fluide localisé à proximité, mais pas dans l'embouchure, participe aussi au mouvement. Cette correction dépend de la forme de l'embouchure.

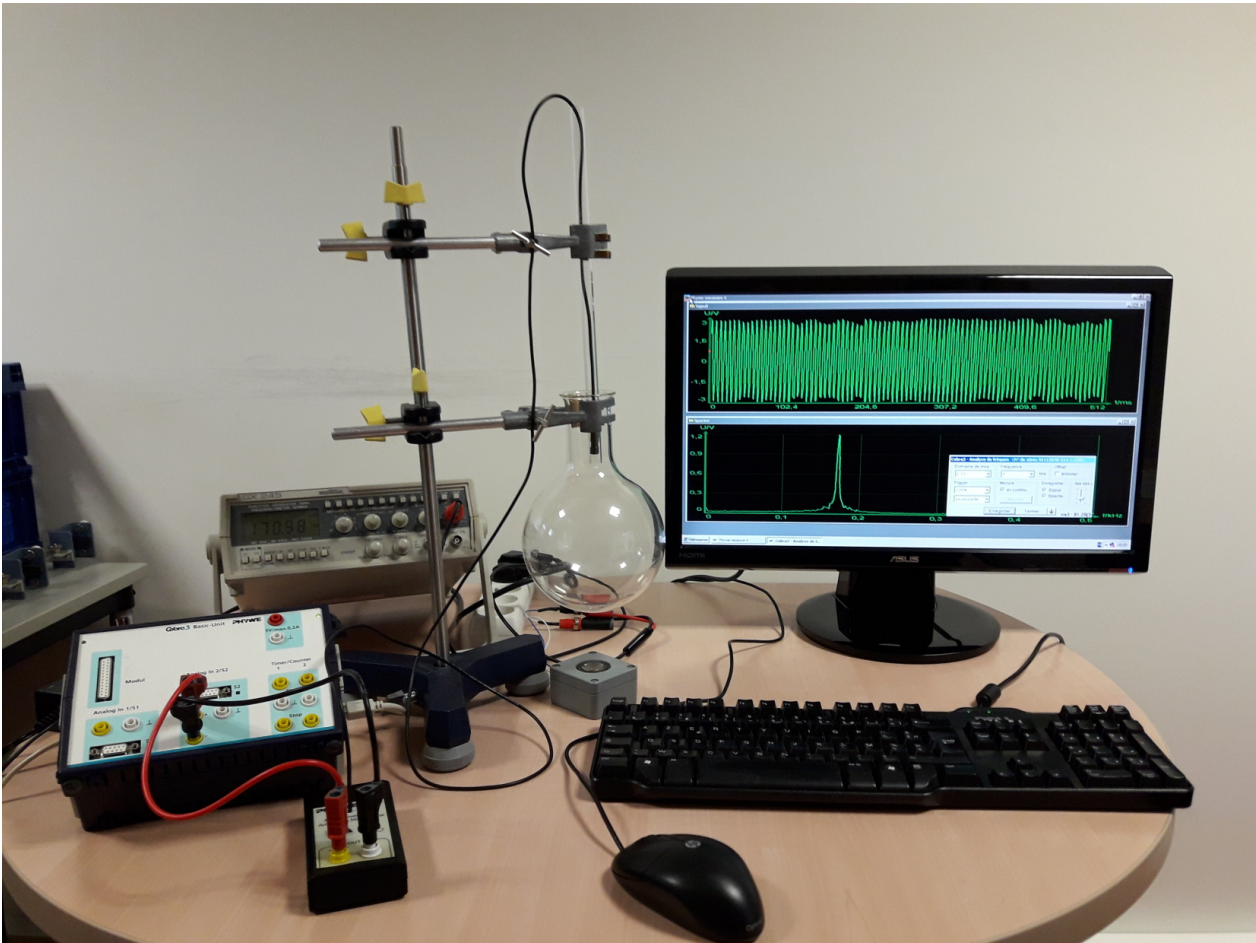
Pour un tube cylindrique comme le col étroit du ballon utilisé dans ce TP, de longueur l et rayon intérieur r la correction peut être donnée par l'expression suivante :

$$l_{eff} = l + \frac{16 r}{3 \pi} \quad (2)$$

2. Partie expérimentale

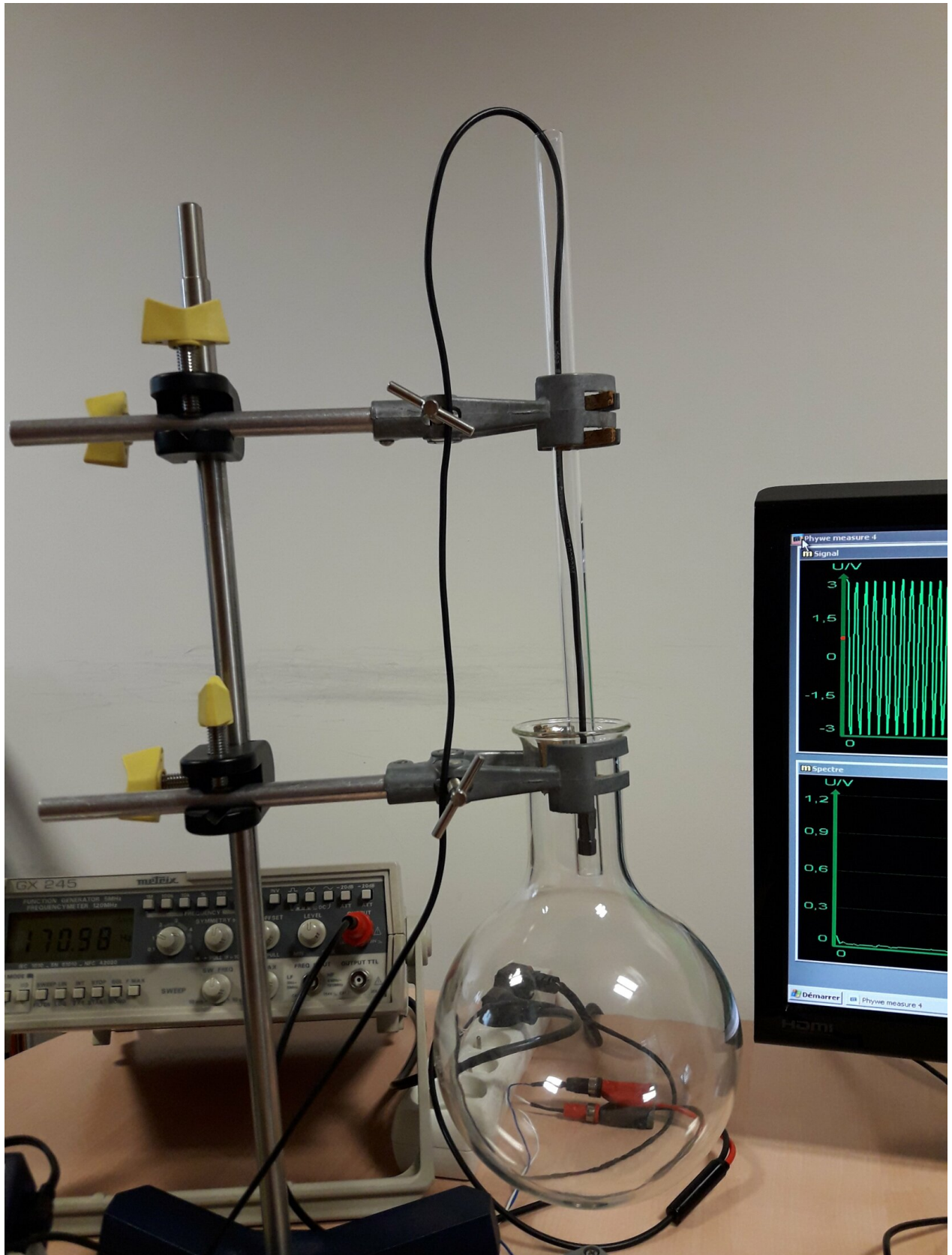


1. 2.1. Présentation du matériel

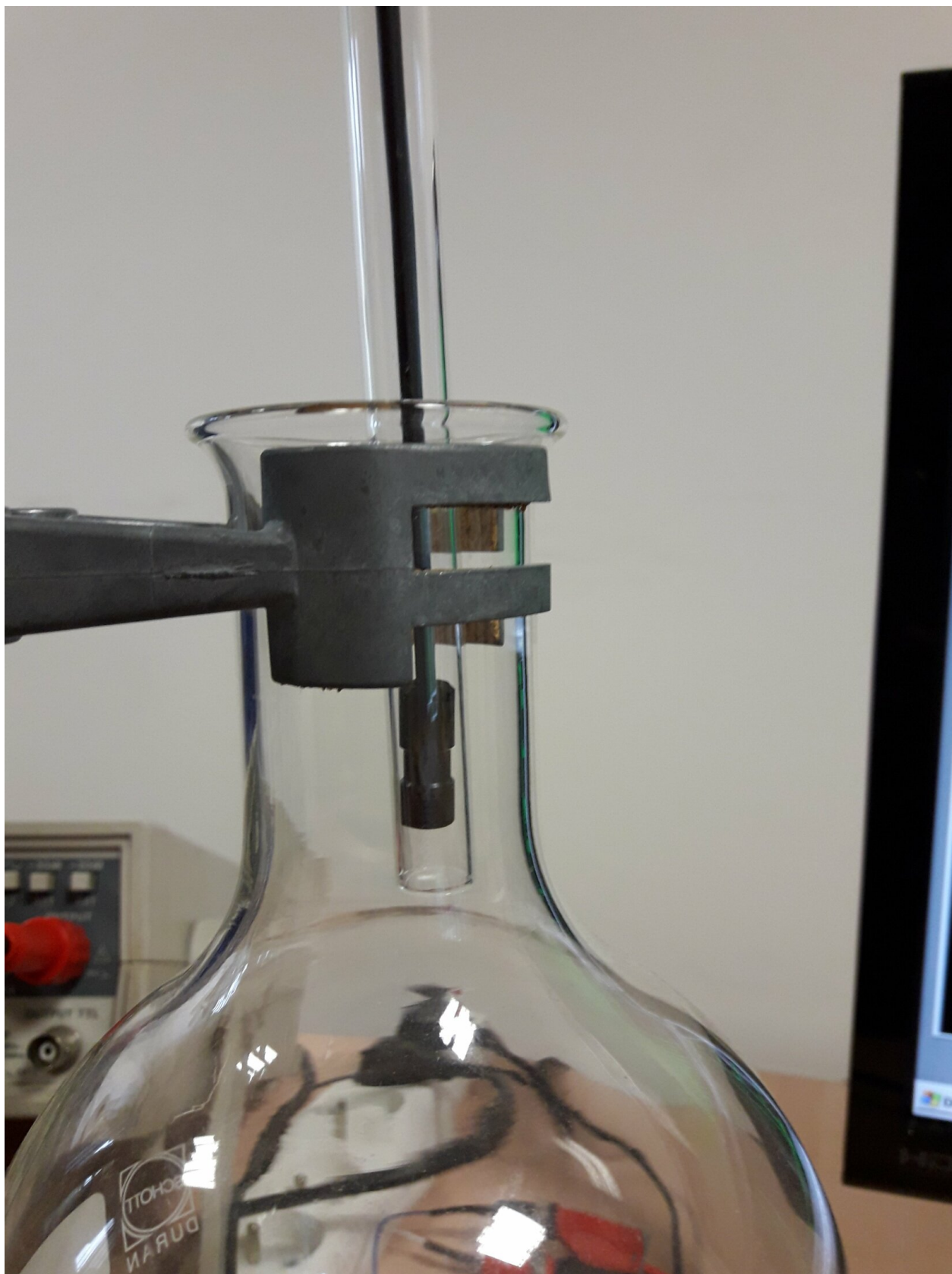


La Figure ci-dessus montre le montage destiné à étudier les fréquences de résonance.

On dispose de :



- deux ballons avec une partie ronde de volume 1000 et 100 mL



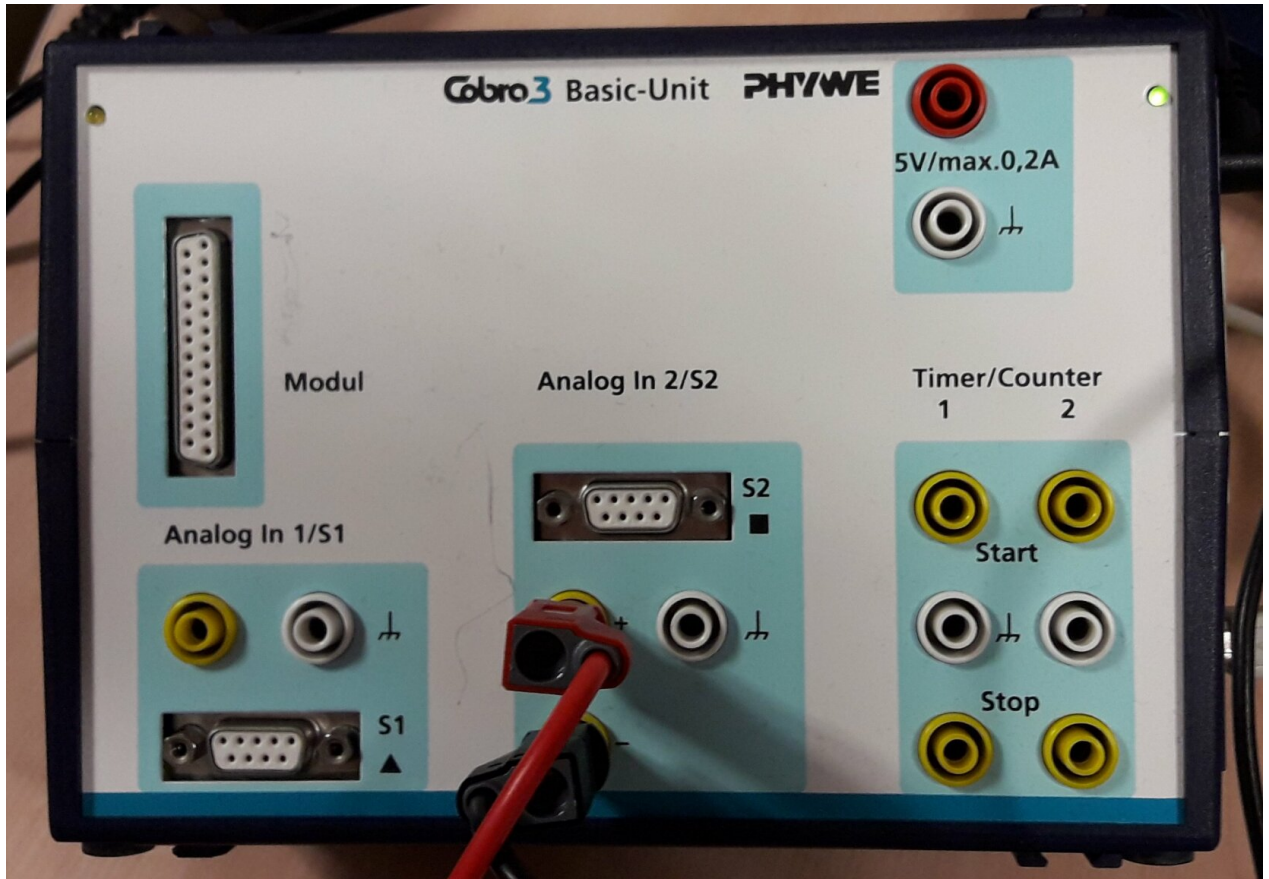
- une sonde acoustique (microphone)



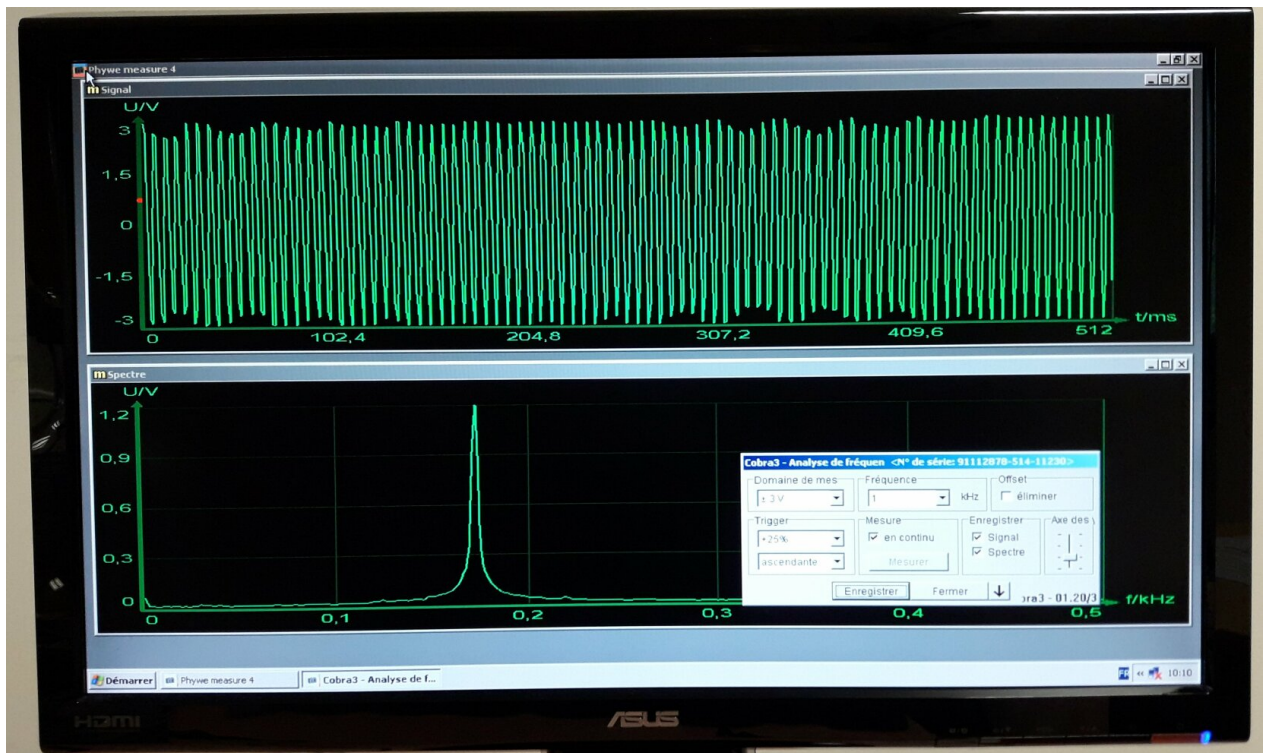
- un haut parleur



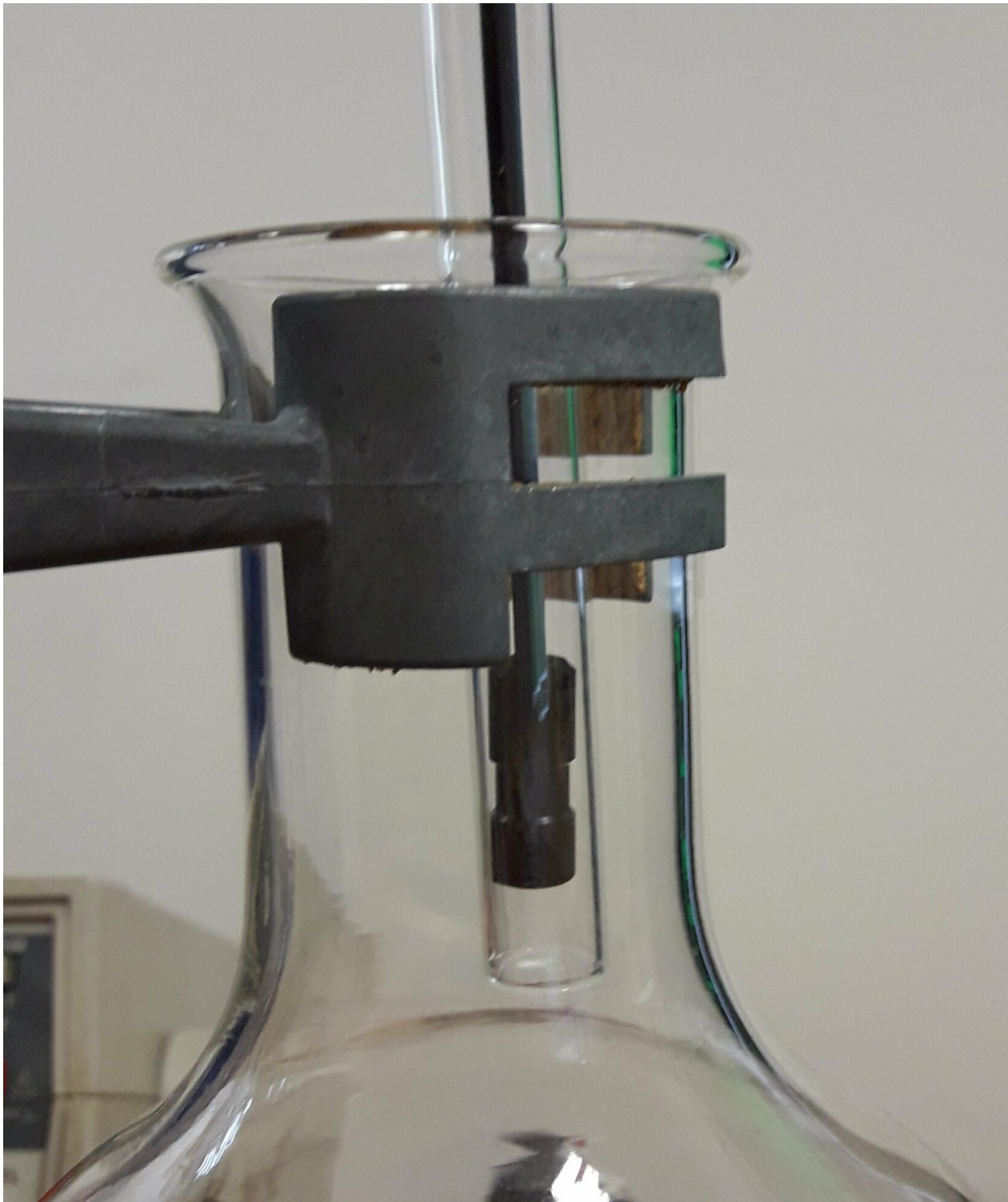
- un amplificateur de microphone



- un boîtier Cobra 3 d'interface avec l'ordinateur.



L'analyse est faite à l'aide du logiciel Phywé Mesure, option « Analyse de fréquences »



La sonde acoustique est insérée dans le tube de verre et doit être positionnée dans le premier tiers supérieur de la partie ronde du ballon (comme indiqué dans la figure précédente).

Le microphone, placé dans la cavité, délivre une tension qui est une fonction linéaire des variations de pression du gaz.

Il y a résonance quand la fréquence du signal exciteur est égale à la fréquence propre du résonateur.

[cf. Montage expérimental]

vidéo du montage ci-dessus

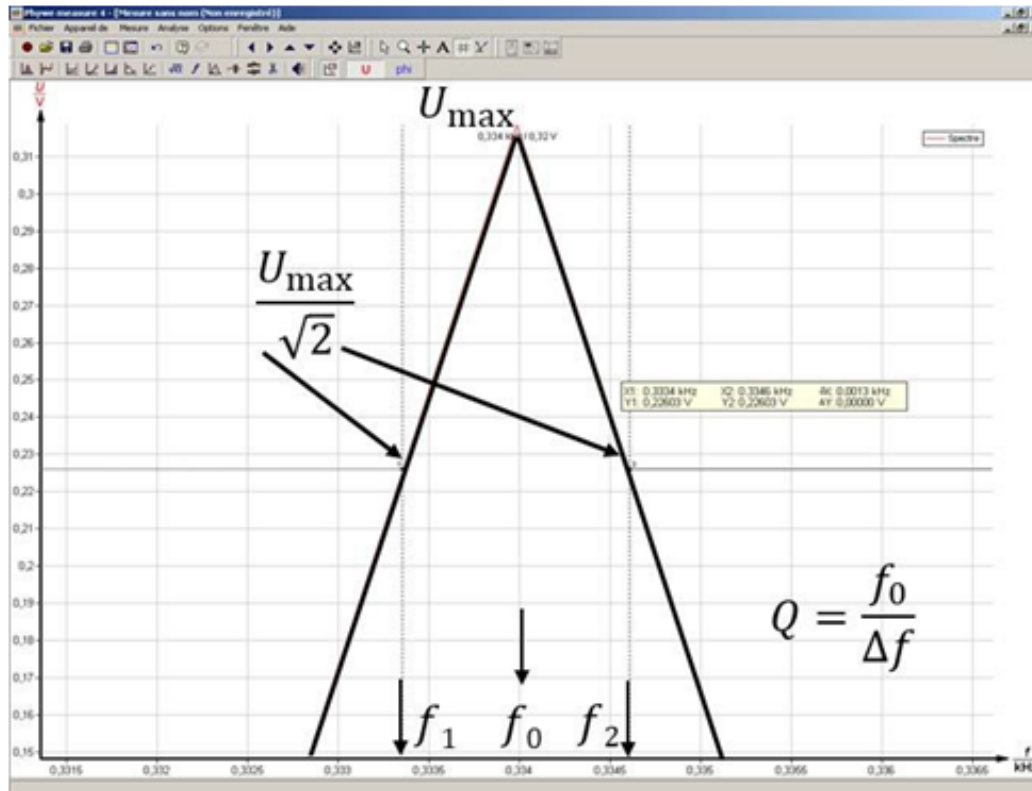
Le montage des différents éléments est présenté dans la vidéo précédente.

2. 2.2. Protocole expérimental



1. Lancer le logiciel Phywe Mesure, option « analyse de fréquences ».
2. Nouvelle mesure.
Ajuster les paramètres de mesure comme indiqué dans la figure précédente.
3. Ajuster l'amplification du microphone à un niveau intermédiaire.
Chercher la fréquence de résonance.
S'il n'y a pas de bruit dans la salle aucun signal ne peut être enregistré.
On peut créer un signal excitateur approprié à l'aide d'un haut- parleur (placé en dessous du ballon) excité par un fréquencemètre disponibles en salle de TP.
4. Sélectionner <Enregistrer> dans la fenêtre paramètres pour pouvoir enregistrer les spectres et accéder à l'Analyse des spectres (pour une analyse plus fine vous pouvez changer le nombre de chiffres significatives dans la fenêtre « Mesures », « options de représentation »)

5. Chaque spectre doit être analysé avec le logiciel pour obtenir les valeurs de U_{max} , f_0 , f_1 et f_2 indiqués dans la figure 4 ci-dessous :



Q est le facteur de qualité :

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f} = \frac{f_0}{f_2 - f_1}$$

où f_0 est la fréquence de résonance

le protocole expérimental est présenté dans la vidéo suivante :

[cf. Protocole expérimental]

3. 2.3. Mesures et analyses des spectres

3.1. 2.3.1 Ballon de 1000 mL rempli d'air

Enregistrer chaque spectre et en faire l'analyse

- Déterminer la fréquence de résonance f_0 du ballon de 1000 mL rempli d'air (trois mesures).

[cf. Ballon d' 1L, 0 mL d'eau ajoutée 1ère mesure]

[cf. Ballon d' 1L, 0 mL d'eau ajoutée 2ème mesure]

[cf. Ballon d' 1L, 0 mL d'eau ajoutée 3ème mesure]

3.2. 2.3.2 Ballon 1 L, 100 mL d'eau ajoutée

Déterminer la fréquence de résonance après avoir ajouté 100 mL d'eau au ballon de 1 L:

[cf. Ballon d'1L, 100mL d'eau ajoutée]

3.3. 2.3.3 Ballon 1 L, 200 mL d'eau ajoutée

Déterminer la fréquence de résonance après avoir ajouté 200 mL d'eau au ballon de 1 L:

[cf. Ballon d'1L, 200mL d'eau ajoutée]

3.4. 2.3.4 Ballon 1 L, 300 mL d'eau ajoutée

Déterminer la fréquence de résonance après avoir ajouté 300 mL d'eau au ballon de 1 L:

[cf. Ballon d'1L, 300mL d'eau ajoutée]

3.5. 2.3.5 Ballon 1 L, 400 mL d'eau ajoutée

Déterminer la fréquence de résonance après avoir ajouté 400 mL d'eau au ballon de 1 L:

[cf. Ballon d'1L, 400mL d'eau ajoutée]

3.6. 2.3.6 Ballon 1 L, 500 mL d'eau ajoutée

Déterminer la fréquence de résonance après avoir ajouté 500 mL d'eau au ballon de 1 L:

[cf. Ballon d'1L, 500mL d'eau ajoutée]

3.7. 2.3.7 Ballon 1 L, 600 mL d'eau ajoutée

Déterminer la fréquence de résonance après avoir ajouté 600 mL d'eau au ballon de 1 L:

[cf. Ballon d'1L, 600mL d'eau ajoutée]

3.8. 2.3.8 Ballon 1 L, 700 mL d'eau ajoutée

Déterminer la fréquence de résonance après avoir ajouté 700 mL d'eau au ballon de 1 L:

[cf. Ballon d'1L, 700mL d'eau ajoutée]

3.9. 2.3.9 Ballon 1 L, 800 mL d'eau ajoutée

Déterminer la fréquence de résonance après avoir ajouté 800 mL d'eau au ballon de 1 L:

[cf. Ballon d'1L, 800mL d'eau ajoutée]

3.10. 2.3.10 Ballon 1 L, 900 mL d'eau ajoutée

Déterminer la fréquence de résonance après avoir ajouté 900 mL d'eau au ballon de 1 L:

[cf. Ballon d'1L, 900mL d'eau ajoutée]

3.11. 2.3.11 Ballon 100 mL rempli d'air

Déterminer la fréquence de résonance du ballon de 100 mL rempli d'air:

[cf. Ballon de100mL rempli d'air]

3.12. 2.3.12 Ballon 100 mL, 50 mL d'eau ajoutée

Déterminer la fréquence de résonance après avoir ajouté 50 mL d'eau au ballon de 100 mL:

[cf. Ballon de100mL, 50mL d'eau ajoutée]



Lors de l'utilisation du ballon de 100 mL, la sonde acoustique doit être insérée dans le flacon sans le tube de verre, car celui-ci pourrait influencer sur la fréquence de résonance.

4. 2.4. Calculs et interprétations

- 1.2.1 Vérifier (à l'aide de l'équation 1) que le résonateur de Helmholtz du TP (les deux ballons $V = 1000mL$ et $V = 100mL$) est un système résonant acoustique dans lequel les dimensions (c.à.d. la longueur l) du système sont beaucoup plus petites que les longueurs d'onde λ mises en jeu.
- 1.2.2 Pour les deux ballons remplis d'air, comparer les valeurs des fréquences de résonance f_0 expérimentales aux valeurs théoriques.

Effectuer les calculs théoriques avec la longueur l et l_{eff} (équation (2)).

Discuter.

- 1.2.3 L'introduction d'un certain volume d'eau dans le ballon engendre-t-elle une augmentation ou une diminution de la fréquence de résonance?

Commenter et justifier.

- 1.2.4 Considérer le ballon de $1000mL$: tracer le graphe $\frac{1}{f_0}$ en fonction du volume d'eau ajouté.

Quel type de fonction obtenez-vous?

Commenter par rapport à la théorie...

Ajuster les valeurs du graphe avec une fonction bien adaptée!

À partir des paramètres d'ajustement déterminer :

- la longueur effective du col étroit.

Discuter.

- le volume V_0 du ballon vide.

Comparer avec la valeur donnée par le fabricant $1000mL$.

Conclure.

- 1.2.5
 - Commenter la forme du spectre de résonance enregistré en fonction de la fréquence (voir cours/TD : oscillations forcées-résonance système masse-ressort).
 - Calculer le facteur de qualité comme illustré dans la figure 4.
L'amortissement dû à la viscosité de l'air est-il important?
 - Comment varie le facteur de qualité en fonction du volume d'eau ajouté ?
Discuter.

Manipulation virtuelle



L'animation suivante vous permet de manipuler le résonateur de Helmholtz :

[cf.]

Accès direct :

<https://ggbm.at/ejv99hnk>

Histoire



Sur un socle de bois sont disposées plusieurs cavités sphériques de laiton verni de diverses dimensions. Chacune présente deux ouvertures: un petit conduit (sommets des sphères sur la photo), et à l'opposé (bases des sphères sur la photo) une ouverture plus grande, destinée à recevoir le son à étudier.

resonateurs1.jpg (128840 octets)

Exemplaire du lycée Jacques Decour, Paris

Dans cette forme de tuyaux sonores appelés résonateurs, le son fondamental est, pour chaque tuyau en particulier, le seul qui puisse prendre naissance, d'une manière nettement perceptible, lorsqu'on produit, dans le voisinage des sons de diverses hauteurs. Les dimensions de ces sphères sont telles que leurs sons fondamentaux correspondent aux diverses notes de l'échelle musicale.

Pour faire l'analyse d'un son produit à l'extérieur, l'observateur bouche l'une de ses oreilles. Dans son autre oreille il introduit, l'un après l'autre, les conduits de divers résonateurs. A chacune de ces expériences, les sons qui diffèrent du son fondamental du résonateur ne sont perçus par l'oreille que d'une manière confuse. Au contraire, dès que le son fondamental apparaît dans celui qui est soumis à l'analyse, l'oreille entend éclater ce son, avec une intensité presque assourdissante. C'est ainsi que l'on pouvait constater l'existence du son fondamental de tel ou tel résonateur, dans les sons qui sembleraient d'abord les plus difficiles à analyser, comme le bruit d'une voiture à cheval, le sifflement du vent, le murmure de l'eau.

[cf. Résonateur de Helmholtz en laiton]