

X. ANNEXE 1 : Nomenclature

Lorsque l'on appuie sur les touches d'un clavier d'orgue, un clapet s'ouvre et laisse passer un flux d'air sous pression qui vient ensuite provoquer une résonance dans un tuyau ouvert ou fermé présentant une lumière.

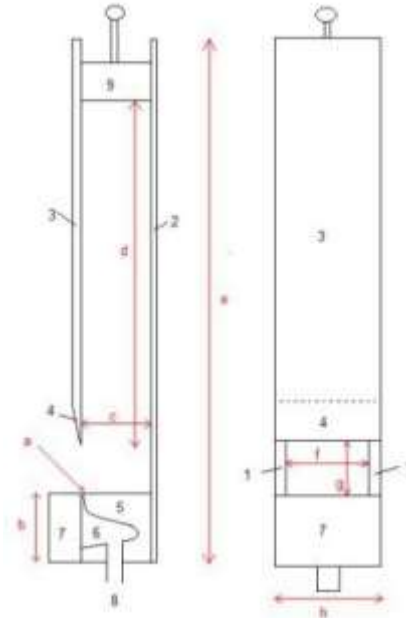


Figure 31: Anatomie d'un tuyau d'orgue fermé appelé bourdon

Source : <https://orgue-bernard.blog4ever.com/anatomie-d-une-flute-et-conventions>

- 1 Les cotés : longueur e x largeur c , épaisseur (généralement 4 à 6mm et pour nos flûtes sans potelets)
Si la lèvre supérieure a été creusée au ciseau dans la face avant seulement dans la partie face à la lumière (a), il reste ce qu'on appelle les potelets qui se prolongent jusqu'à la lèvre inférieure (et les cotés ne sont pas visibles à cet endroit).
 - 2 Le fond (ou façade arrière) : longueur e largeur $h+1$ mm pour ponçage
 - 3 La façade avec la lèvre supérieure 4 : longueur $(e-b-g)$ x largeur $h+1$ mm épaisseur variable.
 - 4 Lèvre supérieure ou biseau, pente 5° à 22° recommandé 8° (l'épaisseur d'extrémité \pm égal à la lumière a)
 - 5 Noyau : largeur f , profondeur c , hauteur b
 - 6 Chambre (creusée dans le noyau)
 - 7 Lèvre inférieure : largeur h , hauteur b , profondeur de 2 à 15 mm
 - 8 Pied de flûte (arrivée de l'air)
 - 9 Tampon (pour les bourdons ou flûtes bouchées)
- a Lumière : espace entre le noyau 5 et la lèvre inférieure 7
b Hauteur de noyau (et implicitement hauteur de la lèvre inférieure)
c Profondeur interne
d Hauteur acoustique (ou longueur acoustique réelle différente de la longueur acoustique théorique)
e Hauteur totale (ou longueur totale)
f Largeur interne
g Hauteur de bouche
h Largeur de façade

XI. ANNEXE 1 : Détermination des ondes stationnaires dans un tuyau ouvert

L'équation des ondes acoustiques dans l'air, en l'absence de mécanismes dissipatifs, est l'équation d'Alembert:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} - c \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = 0$$

Où p est la surpression, x l'axe du tuyau et c la vitesse de propagation de ces ondes.

Cette équation admet comme solution simple et adaptée à notre modèle, une onde plane se propageant le long de l'axe du tuyau.

Pour simplifier, nous supposons une dépendance sinusoïdale et qui engendre une onde plane progressive harmonique progressive dans le sens x :

$$p_1 = p_0 \times \cos \left(2\pi f t - \frac{2\pi}{\lambda} x \right)$$

Avec f sa fréquence et λ sa longueur d'onde.

L'onde se propageant voit subitement, en fin de tube, son univers changer. Dans tous les cas une onde va se réfléchir.

Si le tuyau est ouvert, le monde extérieur impose une surpression nulle et l'onde de compression aller se réfléchit en créant une onde de dépression retour avec changement de signe pour revenir à l'ouverture initiale.

$$p_2 = -p_0 \times \cos \left(2\pi f t + \frac{2\pi}{\lambda} x \right)$$

La superposition de ces deux ondes, en tout point du tuyau s'écrit :

$$p = p_1 + p_2$$

$$p = p_0 \times \cos \left(2\pi f t - \frac{2\pi}{\lambda} x \right) - p_0 \times \cos \left(2\pi f t + \frac{2\pi}{\lambda} x \right)$$

Soit, d'après la formule de Simpson $\cos(p) - \cos(q) = -2 \times \sin \left(\frac{p+q}{2} \right) \times \sin \left(\frac{p-q}{2} \right)$

$$p = 2 \times p_0 \times \sin(2\pi f t) \times \sin \left(\frac{2\pi}{\lambda} x \right)$$

Il y a découplage de l'espace et du temps : on parle d'onde stationnaire.

Puisqu'en $x = L$ il n'y a pas de surpression, alors il faut que $\sin \left(\frac{2\pi}{\lambda} L \right) = 0$.

Par conséquent $\frac{2\pi}{\lambda} L = n \times \pi$ avec n un entier.

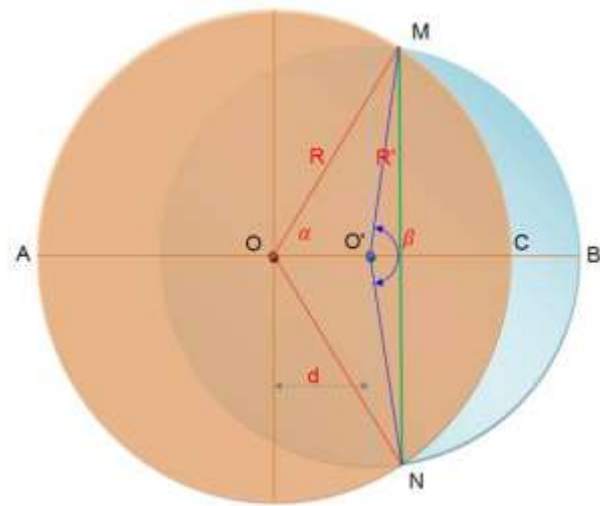
La longueur d'onde de l'instrument qui peut entrer en résonance vérifie : $\lambda = \frac{2 \times L}{n}$

Comme $c = \lambda \times f$ alors on trouve :

$$f = n \times \frac{c}{2L}$$

XII. ANNEXE 2 : Calcul de la surface d'une demi-lune et d'un croissant de lune

Les angles sont mesurés en radian.



Aire de la demi-lune MNC

$$S_{DL1} = \frac{1}{2} \times R'^2 (\beta - \sin(\beta))$$

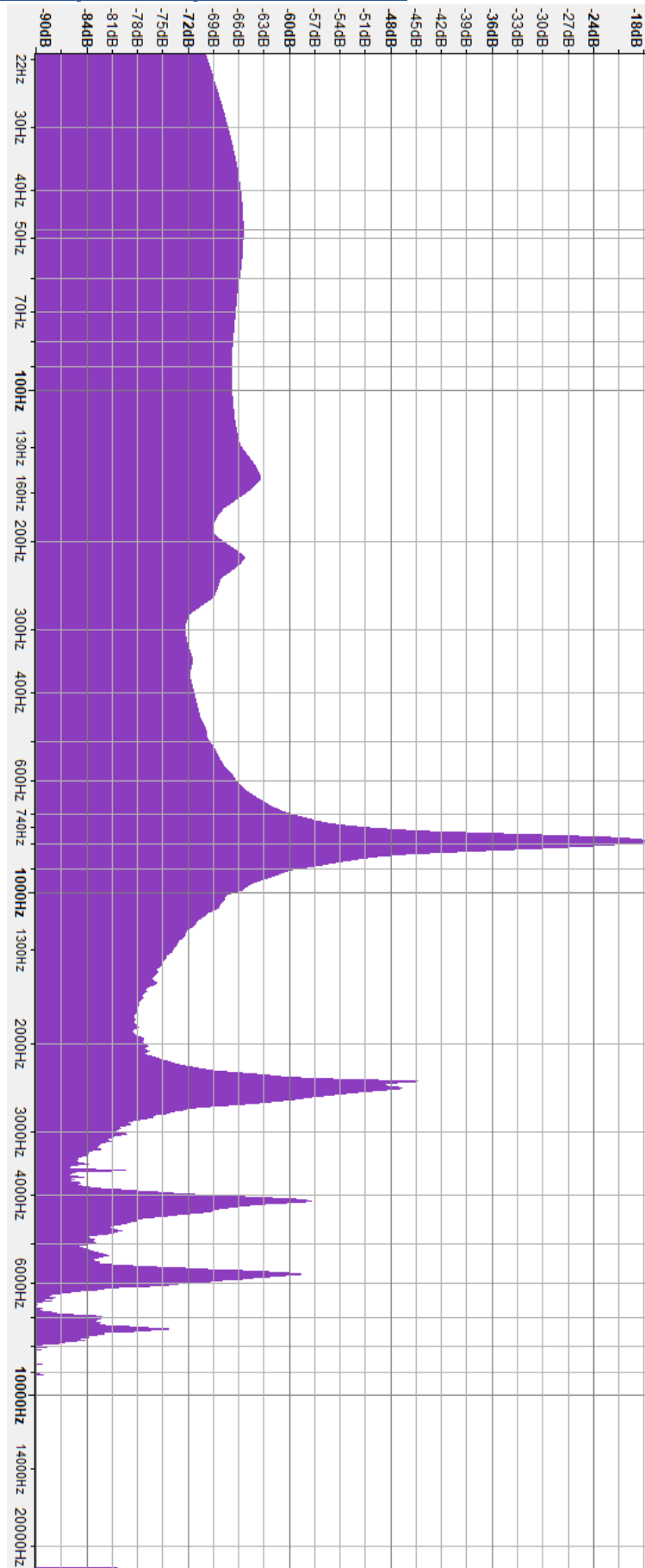
Aire de la demi-lune MBC

$$S_{DL2} = \frac{1}{2} \times R^2 (\alpha - \sin(\alpha))$$

Aire du croissant de lune MBNC

$$S_{CL} = S_{DL2} - S_{DL1}$$

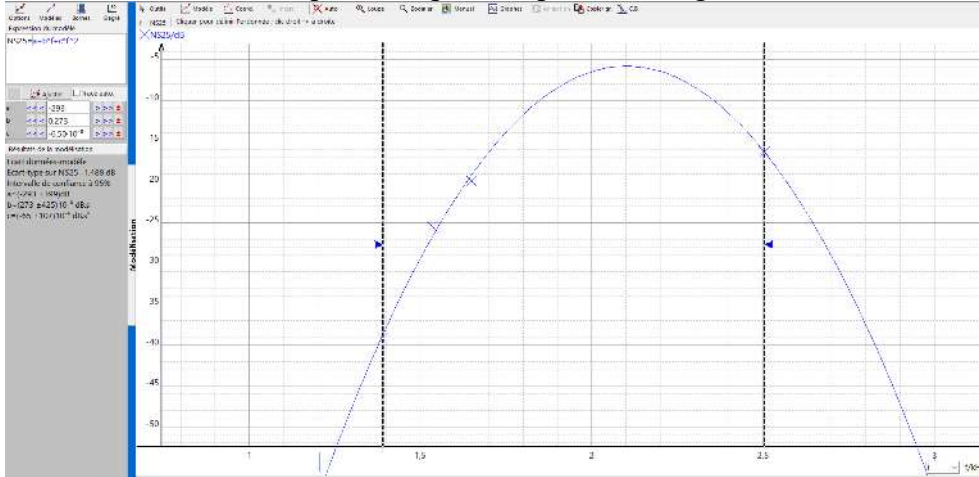
XIII. ANNEXE 3 : Exemple de spectre obtenu



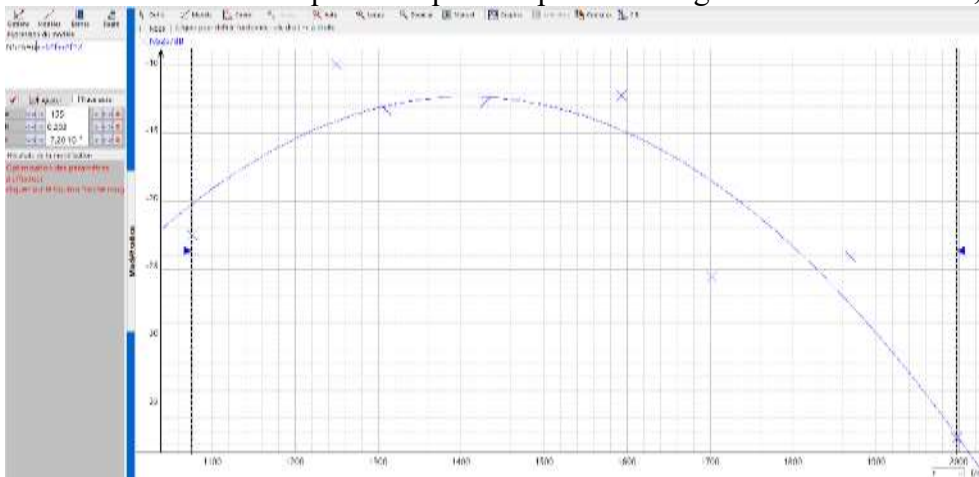
XIV. ANNEXE 4 : Optimum de fréquence pour chaque longueur de fenêtre

La vitesse du jet est fixe et imposé par le ventilateur radial alimenté en 12,0 V.

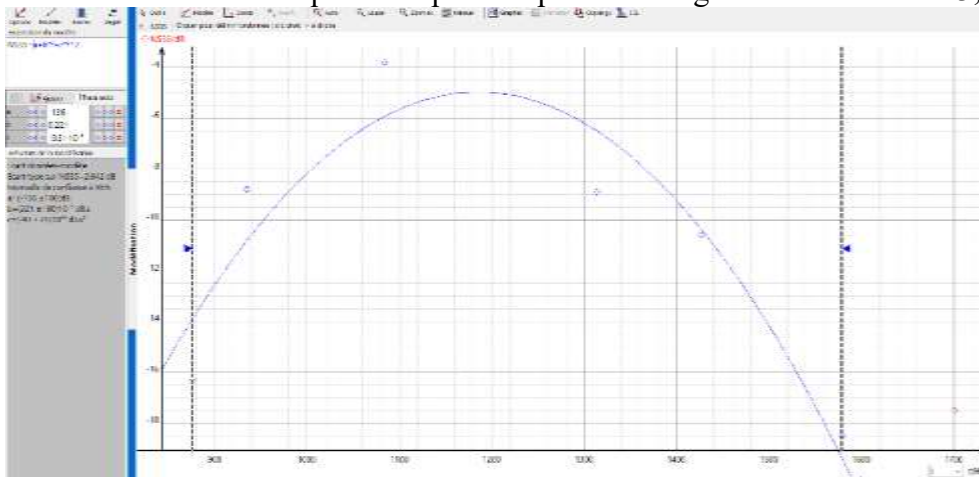
Détermination de la fréquence la plus adaptée à la longueur de fenêtre $W=2,5$ mm.



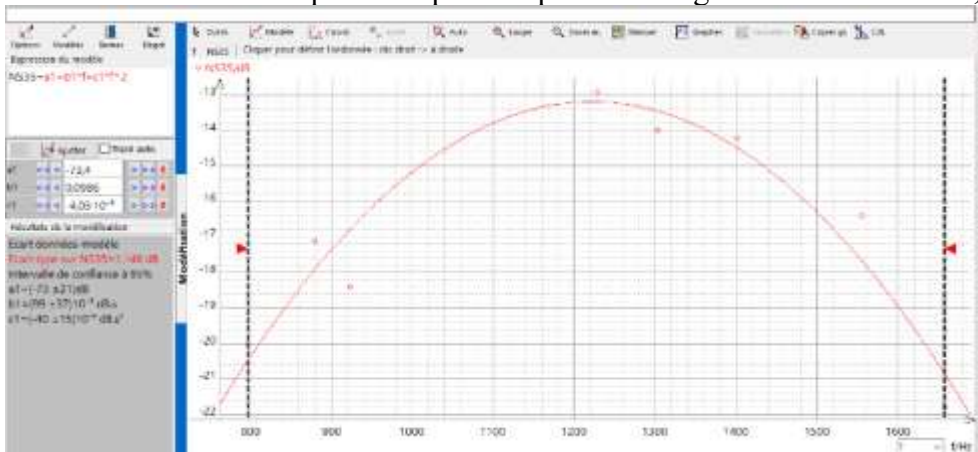
Détermination de la fréquence la plus adaptée à la longueur de fenêtre $W=3,0$ mm.



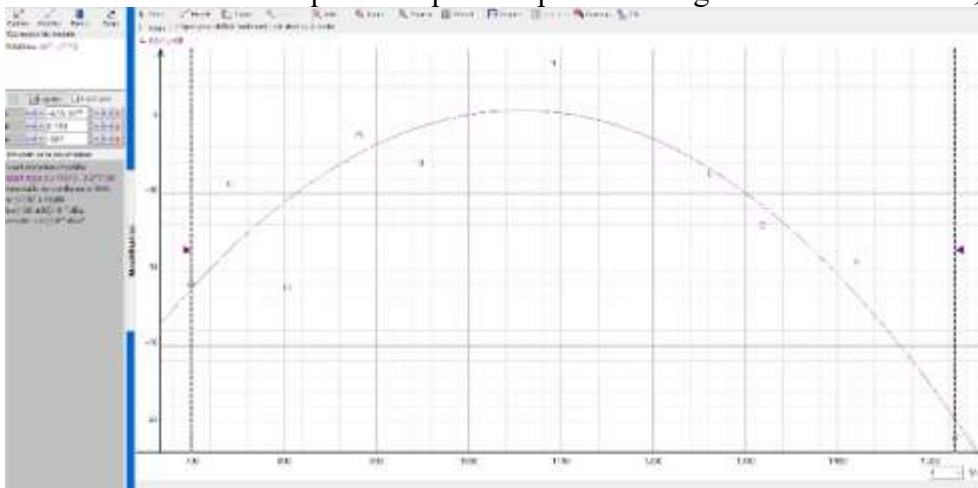
Détermination de la fréquence la plus adaptée à la longueur de fenêtre $W=3,5$ mm.



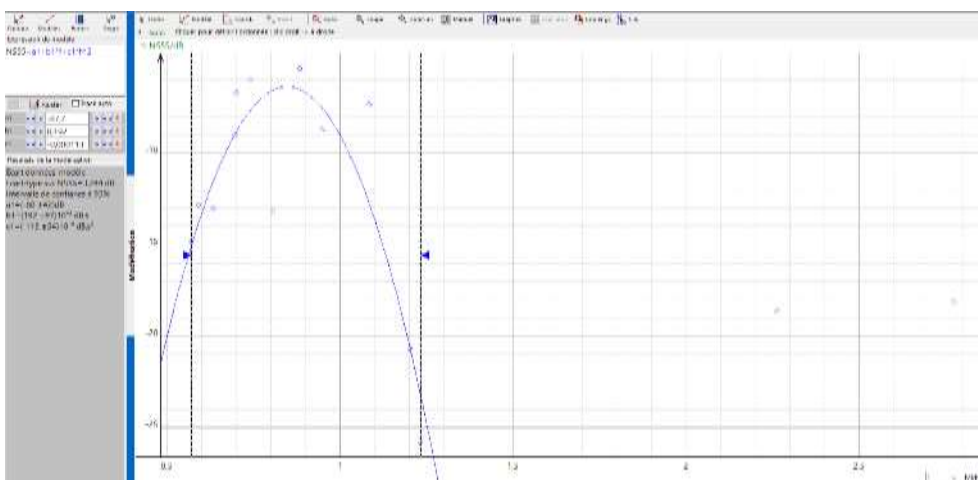
Détermination de la fréquence la plus adaptée à la longueur de fenêtre $W=4,0$ mm.



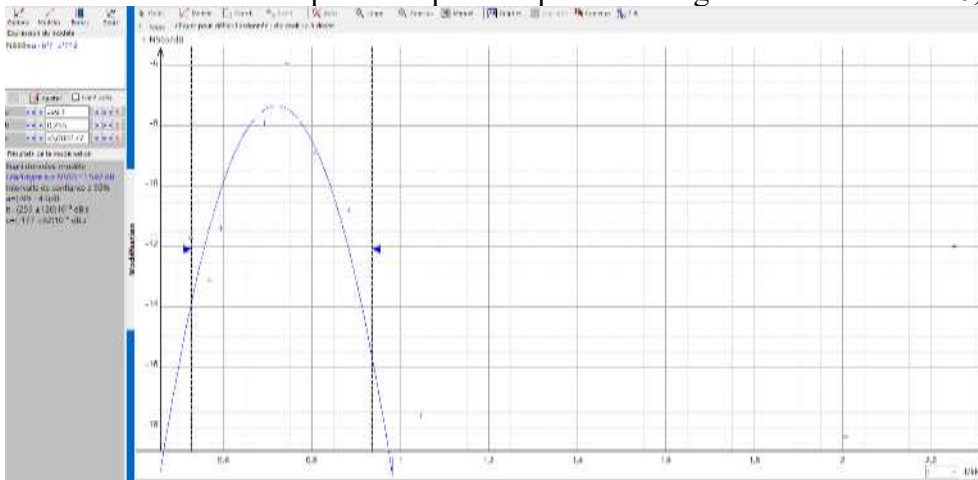
Détermination de la fréquence la plus adaptée à la longueur de fenêtre $W=4,5$ mm.



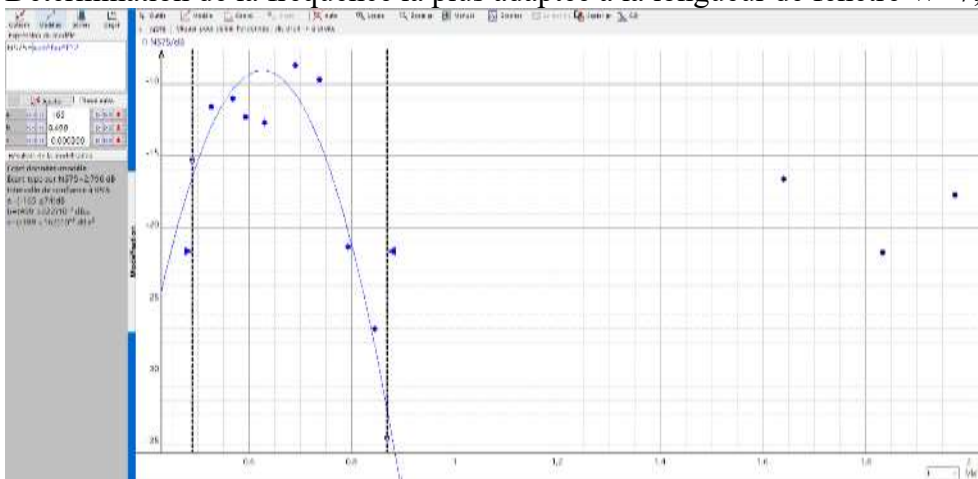
Détermination de la fréquence la plus adaptée à la longueur de fenêtre $W=5,5$ mm.



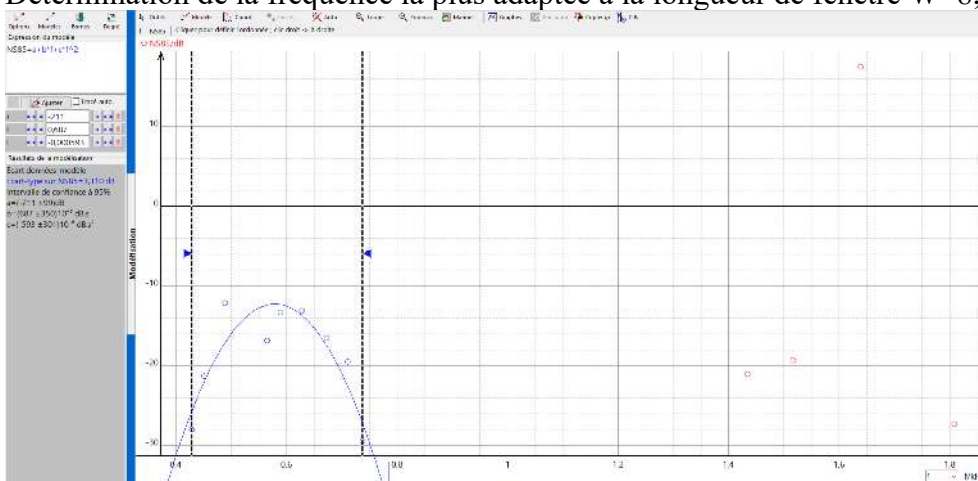
Détermination de la fréquence la plus adaptée à la longueur de fenêtre $W=6,5$ mm.



Détermination de la fréquence la plus adaptée à la longueur de fenêtre $W=7,5$ mm.



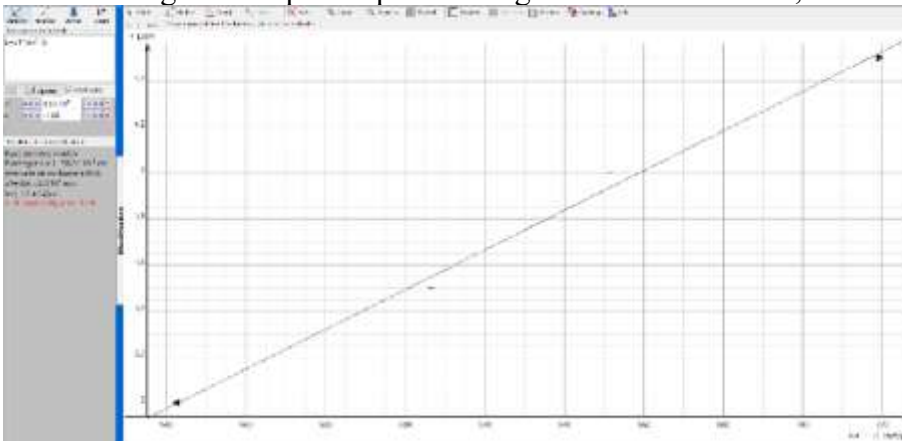
Détermination de la fréquence la plus adaptée à la longueur de fenêtre $W=8,5$ mm.



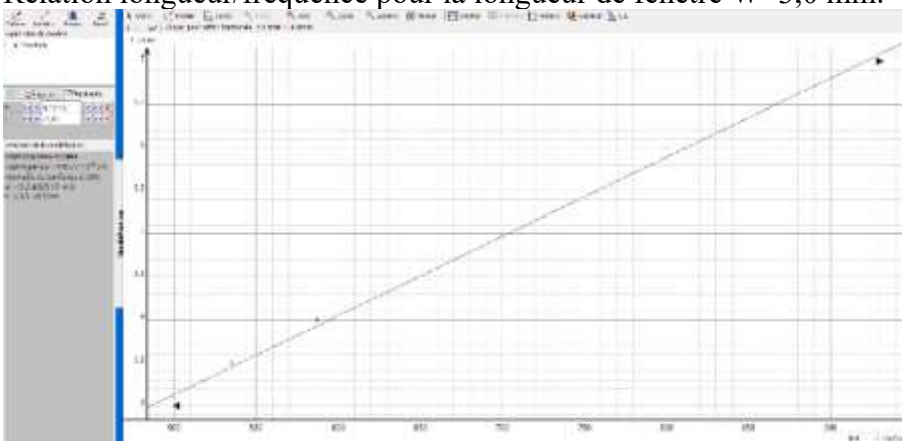
XV. ANNEXE 5 : Relation longueur – fréquence pour les différentes longueurs de fenêtre

La vitesse du jet est fixe et imposé par le ventilateur radial alimenté en 12,0 V.

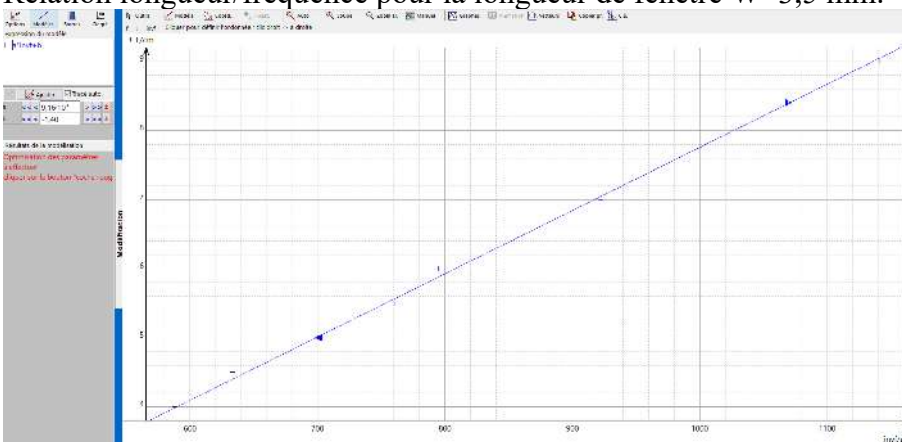
Relation longueur/fréquence pour la longueur de fenêtre $W=2,5$ mm.



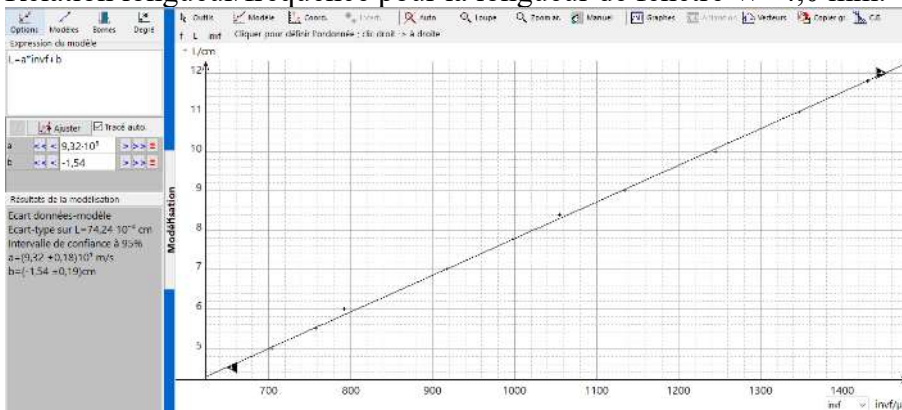
Relation longueur/fréquence pour la longueur de fenêtre $W=3,0$ mm.



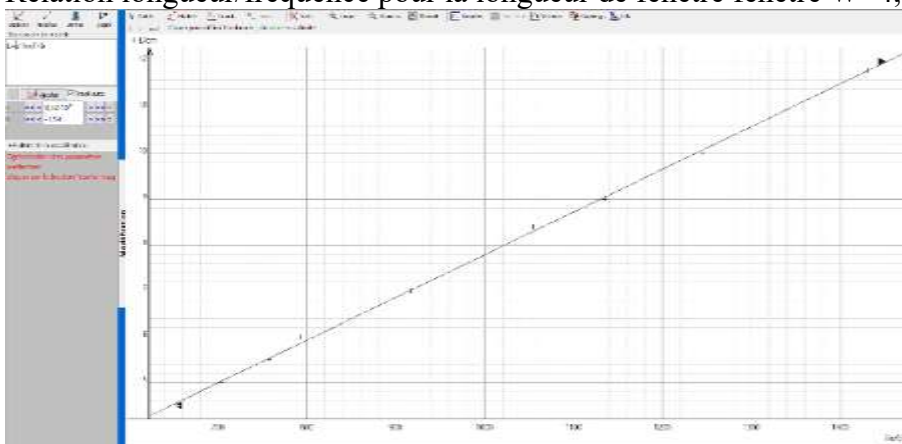
Relation longueur/fréquence pour la longueur de fenêtre $W=3,5$ mm.



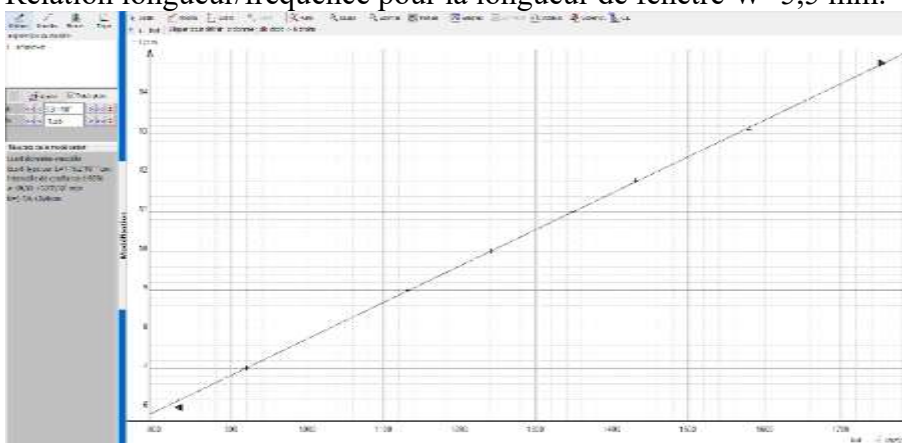
Relation longueur/fréquence pour la longueur de fenêtre $W=4,0$ mm.



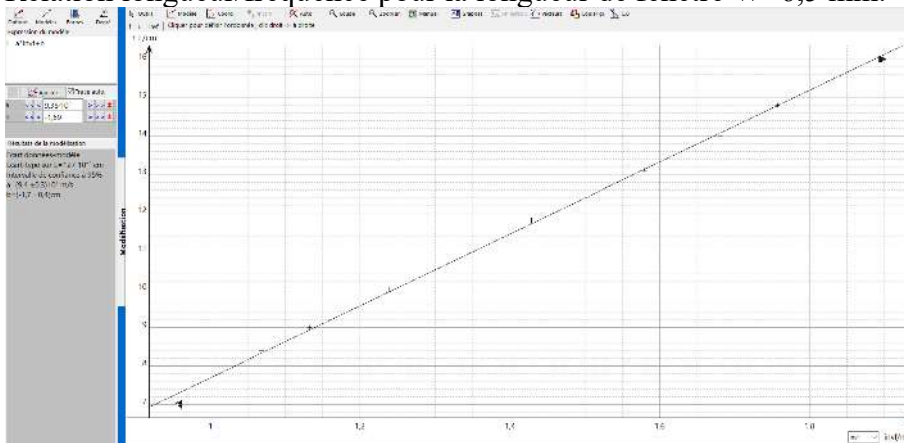
Relation longueur/fréquence pour la longueur de fenêtre $W=4,5$ mm.



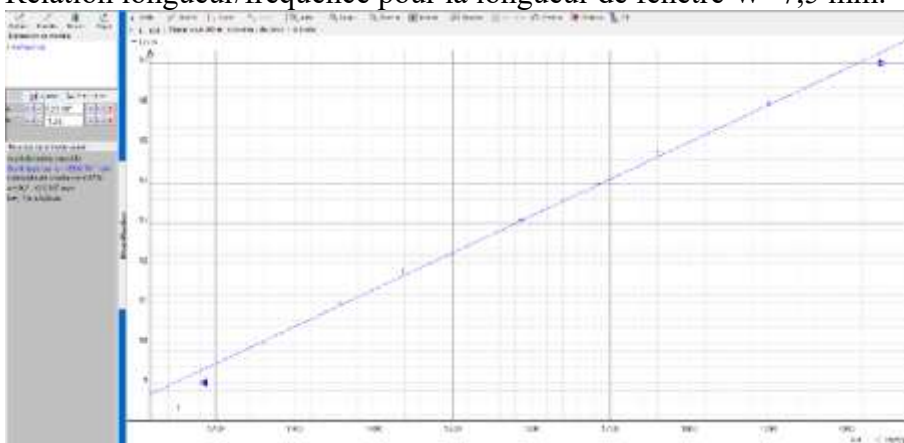
Relation longueur/fréquence pour la longueur de fenêtre $W=5,5$ mm.



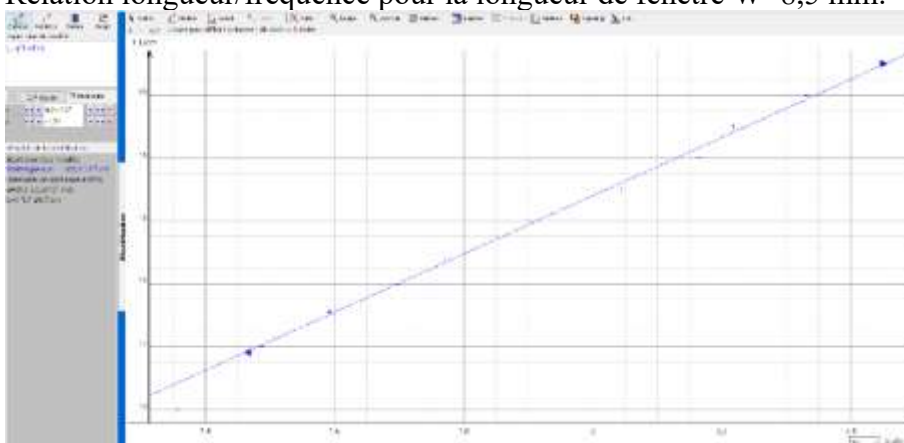
Relation longueur/fréquence pour la longueur de fenêtre $W=6,5$ mm.



Relation longueur/fréquence pour la longueur de fenêtre $W=7,5$ mm.



Relation longueur/fréquence pour la longueur de fenêtre $W=8,5$ mm.



SOMMAIRE

Sommaire

I. Résumé.....	1
II. Introduction.....	1
III. Conception d'un tuyau d'orgue	2
A. Une première piste	2
B. Modélisation 3D.....	2
IV. Considérations théoriques.....	4
A. Résonance dans un tuyau d'orgue	4
B. Analyse spectrale d'un son musical	5
C. Influence de la longueur du système résonateur	5
C. Influence du système excitateur	8
V. Dispositif expérimental.....	9
VI. Etude du système excitateur.....	9
A. Epaisseur de la lumière	9
B. Position de la lumière.....	11
VII. Etude du résonateur.....	12
A. Evolution du couple longueur de fenêtre W – longueur du tuyau.....	12
B. Cas du tuyau conique	16
VIII. Prototype final.....	17
C. Appel à la communauté.....	17
D. Algorithme pour imprimer un tuyau de fréquence choisie	18
E. Influence de paramètres externes et réglage	18
IX. Conclusion	18
X. ANNEXE 1 : Nomenclature	20
XI. ANNEXE 1 : Détermination des ondes stationnaires dans un tuyau ouvert.....	21
XII. ANNEXE 2 : Calcul de la surface d'une demi-lune et d'un croissant de lune.....	22
XIII. ANNEXE 3 : Exemple de spectre obtenu	23
XIV. ANNEXE 4 : Optimum de fréquence pour chaque longueur de fenêtre.....	24
XV. ANNEXE 5 : Relation longueur – fréquence pour les différentes longueurs de fenêtre	27
SOMMAIRE.....	30