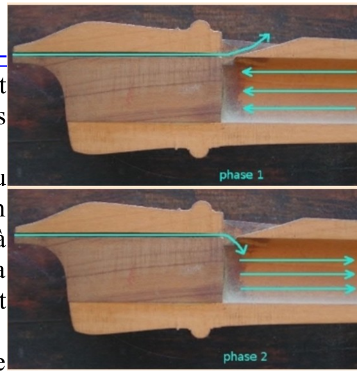
Problème 1 : mode propre de vibration d'une flute à bec.



(Toutes les illustrations sont issues du site suivant : https://www.flute-a-bec.com/acoustique.html).Une flûte à bec est un instrument de musique qui fut longtemps l'instrument de torture préférée de l'éducation nationale pendant les cours de musique au niveau collège.

En soufflant dans « le bec » de la flute, le joueur met en vibration l'air au niveau du biseau d'entrée ce qui crée en ce point un nœud de pression acoustique pour la colonne d'air. Un autre nœud de pression est situé à l'extrémité de la flute à bec. On suppose qu'on repère la position le long de la colonne d'air par l'abscisse x du point M le long de l'axe (Ox), le biseau étant situé en x=0 et l'extrémité en x=L.

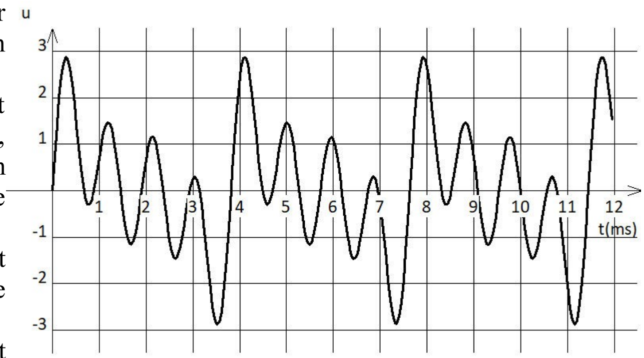
1. Puisqu'on parle de mise en vibration de l'air, quelle est la nature de l'onde générée dans la flute à bec ? Préciser les grandeurs physiques support de ce type d'onde. Donner un ordre de grandeur pour ces grandeurs physiques lors d'une conversation normale ainsi qu'un ordre de grandeur de c la célérité des ondes de ce type dans l'air.
2. Puisqu'on parle de nœuds de vibration, quelle est le type d'onde qui est générée dans la flûte ? Justifier qu'on écrive l'onde sous la forme : $p(x,t) = p_O \cos(2\pi f t)\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}x\right)$. Préciser le lien entre f et λ.

Lorsque tous les trous de la flûte à bec sont fermés, il n'y a pas d'autres conditions imposées à la colonne d'air que les deux nœuds situés en x=0 et en x=L

3. Montrer que la forme choisie pour exprimer l'amplitude de l'onde permet de vérifier la condition imposée sur la pression acoustique en x=0.
4. Montrer que la condition imposée en x=L sélectionne une famille de fréquences $f_k=k.f_1$, $k\in\mathbb{N}^*$, où on précisera l'expression de f_1 en fonction de L et c.
5. Représenter l'allure des modes propres de vibration de la colonne pour les modes de vibration 1 à 3 en faisant la représentation spatiale à différents instant. Préciser la position des nœuds et des ventres.

La note fondamentale de la flûte à bec étudiée ici, est un Do(3) de fréquence fondamentale f_1(Do)=262Hz.

6. Déterminer la longueur L(Do) du tube d'air mis en vibration et faire l'application numérique.



Lorsqu'on souffle dans la flûte à bec, on met en fait en vibration les modes propres de la colonne d'air, l'amplitude des différents modes allant en décroissant à partir du fondamental. On effectue alors l'enregistrement ci-contre à l'aide d'un micro.

7. Vérifier la correspondance entre cet enregistrement et la note Do(3) supposée être jouée sur la flute.
8. Donner l'allure du spectre associé à cet enregistrement en introduisant la notion de timbre de l'instrument.

La flute à bec est prédisposée à « octavier » c'est-à-dire à produire une note située une octave au-dessus de la note attendue lorsque le joueur souffle trop fort dans l'instrument.

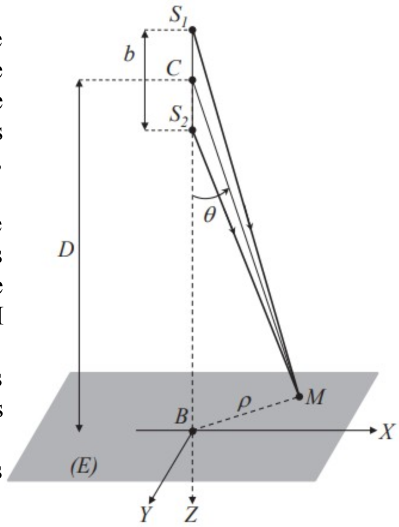
9. Expliquer pourquoi cette possibilité est ouverte dans un instrument comme la flûte à bec.

Pour pallier à ce défaut, d'autres instruments, comme la clarinette sont conçus de manière à ce que les modes propres de vibration présentent un nœud de pression acoustique à l'embouchure et un ventre de pression acoustique à l'extrémité.

10. Etudier les modes propres de vibration d'une clarinette de longueur L', et montrer que la famille des fréquences sélectionnées s'écrit sous la forme $f'_k=(2k-1).f'_1$; $k\in\mathbb{N}^*$, où on précisera l'expression de f'_1 en fonction de L' et c.
11. Déterminer alors la longueur L' de la clarinette présentant comme note fondamentale le Ré(2) de fréquence fondamentale f'_1(Ré)=147Hz. Quelle serait la longueur d'une flûte à bec présentant la même fréquence fondamentale ?
12. Expliquer pourquoi la clarinette ne peut à priori pas « octavier ».

physique

Problème 2 : Interféromètre de Michelson.



L'interféromètre de Michelson est un appareil d'optique, non représenté ici, qui permet à partir d'une source lumineuse monochromatique de longueur d'onde (dans le vide) λ_O ponctuelle dite primaire et notée S de produire deux sources ponctuelles S_1 et S_2 distantes de b et placées symétriquement autour du point C. La géométrie du système assure que les chemin optiques (SS_1) et (SS_2) sont égaux.

On peut alors observer dans le plan (E) de la figure ci contre la figure d'interférences résultant de la superposition des ondes lumineuses produites par les sources S_1 et S_2. On note I_1 l'intensité de la lumière produite par S_1 et I_2 l'intensité de la lumière produite par S_2 en tout point M de (E).

Dans la suite, on suppose que le milieu de propagation des ondes lumineuses est de l'air d'indice optique n_O (qu'on ne supposera pas unitaire !!)

1. Expliquer pourquoi on pourra observer des interférences pour les ondes lumineuses produites par S_1 et S_2.
2. Exprimer alors l'intensité lumineuse I(M) en M en fonction de I_1, I_2 et le déphasage entre les deux ondes en M $\Delta\varphi_{2/1}(M)$.

A quelle condition sur le déphasage l'intensité lumineuse observée sera minimale ? Comment nomme-t-on l'état interférentiel associé ? Exprimer l'intensité lumineuse dans cette configuration en fonction de I_1 et I_2 et montrer qu'elle s'annule à la seule condition $I_1=I_2=I_O$.On suppose la condition précédente réalisée $I_1=I_2=I_O$.

3. Exprimer l'intensité I(M) en fonction de I_O et $\Delta\varphi_{2/1}(M)$.
4. Rappeler la définition du chemin optique (SM) et celle de la différence de marche $\delta_{1/2}(M)$ et donner l'expression de $\Delta\varphi_{2/1}(M)$ en fonction de λ_O et $\delta_{1/2}(M)$.

On va maintenant chercher à calculer la différence de marche dans ce système.

5. Exprimer L la longueur du segment [CM] en fonction de D et cosθ.
6. Montrer que l_2 la longueur du segment $[S_2M]$ s'exprime $l_2 = \sqrt{L^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2 - Lb\cos\theta}$. Exprimer de même l_1 la longueur du segment $[S_1M]$.
7. En tenant compte du fait que b<<L, montrer que $l_2 \approx L\left(1 - \frac{b}{2L}\cos\theta\right)$ et donner une expression approchée de l_1.
8. Etablir alors l'expression de $\delta_{1/2}(M)$ en fonction de n_O b et cosθ puis celle de $\Delta\varphi_{2/1}(M)$.
9. Quelle sera l'allure de la figure d'interférence ? En quel point du plan (E) le déphasage introduit est maximum ?

On suppose que le déphasage en B s'écrit sous la forme $\Delta\varphi_{2/1}(B)=2\pi.p_O$ avec p_O un entier positif.

10. Quel sera l'état d'interférence observé en B ? Quelle sera l'intensité lumineuse observée en B ?

On cherche maintenant à déterminer les valeurs de cosθ pour lesquelles on observe un anneau clair, correspondant donc à un état interférentiel parfaitement constructif.

11. Comment évolue le déphasage quand on part du centre de la figure vers l'extérieur ? En déduire l'expression du déphasage pour le premier anneau clair et établir l'expression de $\cos\theta_1$ associé. En déduire par analogie l'expression de $\cos\theta_k$ associé au kième anneau clair.

On place sur la voie 1 et la voie 2 de l'interféromètre deux récipients identiques de largeur e, initialement plein d'air. On fait alors le vide dans le récipient situé sur la voie 1. On rappelle que l'indice optique du vide est strictement égal à 1. En vidant le récipient, on remplace un parcours de longueur 2e dans l'air par un parcours de longueur 2e dans le vide.

12. Exprimer$\delta'_{1/2}(M)$ la nouvelle différence de marche en M en fonction de $\delta_{1/2}(M)$, e et n_O.

Lorsqu'on vide le récipient, on observe les anneaux d'interférence rentrer vers le centre de la figure. Au total on voit disparaître en M_O 10 anneaux sombres et dans la situation finale on observe une frange claire en M_O.

13. Déterminer l'expression de $[n_O-1]$ en fonction de λ_O et e. Faire l'application numérique pour e=1cm et λ_O=590nm.