

Mots-clés : instrument à vent**I – Les instruments à vent****Document 1 Présentation des instruments à vent**

Dans la plupart des instruments à vent, le son est produit par la vibration d'une colonne d'air dans des tuyaux sonore. Plusieurs façons existent pour faire vibrer une colonne d'air.

- Le musicien peut envoyer directement un filet d'air sur un biseau. Ce filet, en se brisant sur le biseau, oscille en s'écoulant alternativement vers l'intérieur puis vers l'extérieur du tube. L'orgue ou la flûte à bec sont des exemples d'instruments à vent à biseau.

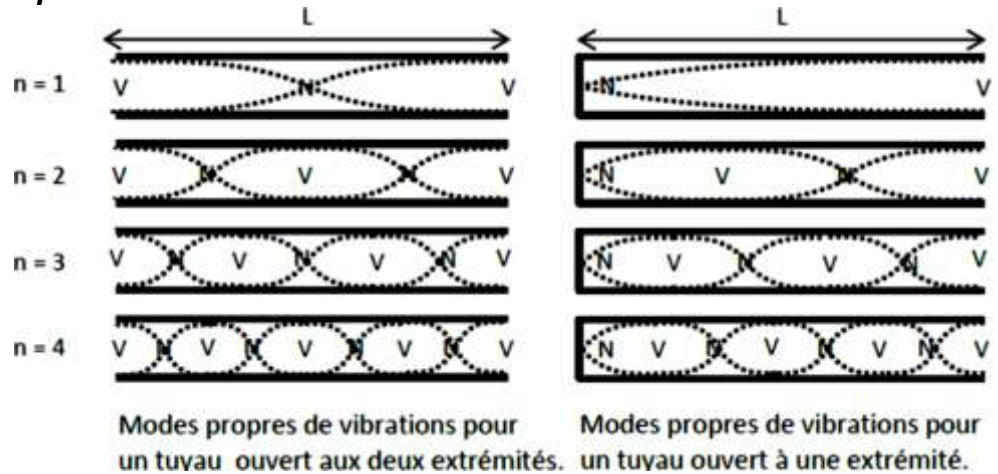
- Pour certains instruments à vent, l'arête du bord du tuyau remplace le biseau. C'est le cas de la flûte traversière ou de la flûte de pan.

- Une autre façon consiste à adapter une « anche » à des instruments tels que les saxophones ou les clarinettes. Il s'agit d'une petite lamelle en métal, en roseau ou en matière plastique, capable de vibrer sous l'effet du souffle du musicien. Dans le cas des instruments à embouchure comme la trompette ou le trombone, le musicien fait vibrer ses lèvres en expirant fortement.

**Document 2 Modes propres de vibration d'une colonne d'air**

Tout comme une corde vibrante, une colonne d'air, soumise à une perturbation périodique, peut entrer en vibration pour certaines fréquences particulières f_n . À chacune de ces fréquences f_n est associée un mode de vibration de la colonne d'air appelé mode harmonique de rang n . La plus petite de ces fréquences, notée f_1 , est appelée fréquence fondamentale.

Des ondes sonores progressives se propagent dans un sens et dans l'autre de la colonne d'air. Lorsque ces ondes interfèrent de façon constructive, la colonne d'air entre en vibration. Il s'établit alors un système d'ondes stationnaires dans le tuyau. La distance qui sépare alors deux ventres (V) et deux nœuds (N) de vibration de l'air est égale à $\lambda/2$. Les modes propres de vibration de la colonne d'air dépendant du tube de tuyau utilisé :

**II - Analyse des documents et synthèse**

1. Citer les principales façons de faire vibrer une colonne d'air et leur associer un instrument de musique.

2. On considère un tuyau de longueur L ouvert aux deux extrémités.

2.1 Dans le mode fondamental ($n = 1$), établir la relation entre la longueur L du tuyau et la longueur d'onde λ des ondes sinusoïdales qui s'y propagent.

2.2 Établir les relations pour les modes harmoniques de rang $n = 2$, $n = 3$ et $n = 4$.

2.3 En déduire une relation entre L , n et λ .

2.4 Soit V la vitesse du son dans l'air, déterminer la relation liant f_n , V et L .

2.5 En déduire l'expression de la fréquence f_1 du mode fondamental en fonction V et L .

3. On considère un tuyau de longueur L , ouvert d'un côté et fermé de l'autre.

3.1 Dans le mode fondamental ($n = 1$), établir la relation entre la longueur L du tuyau et la longueur d'onde λ des ondes sinusoïdales qui s'y propagent.

3.2 Établir les relations pour les modes harmoniques de rang $n = 2$, $n = 3$ et $n = 4$.

3.3 En déduire une relation entre L , n et λ .

3.4 Soit V la vitesse du son dans l'air, déterminer la relation liant f_n , V et L .

3.5 En déduire l'expression de la fréquence f_1 du mode fondamental.

3.6 Quelles sont les harmoniques manquants pour ce type de tuyau.

III – Étude expérimentale

Document 1 Description d'une flûte traversière

Une flûte traversière est constituée d'une tête emboîtée dans le corps. L'instrumentiste émet un filet d'air qu'il dirige sur le biseau du trou de l'embouchure présente sur la tête de la flûte. La mise en vibration de la colonne d'air contenue dans l'ensemble de la flûte produit le son. La fréquence de ces vibrations, et donc la hauteur de la note émise, dépend de la longueur acoustique de tuyau mise en vibration.

Tête



Corps



Cette longueur peut être modifiée par la combinaison d'ouverture et de fermeture des trous (les doigtés) présents sur le corps de la flûte.

Document 2 Description d'une flûte chinoise

Une flûte chinoise est constituée d'une tête emboîtée dans le corps. La tête est constituée d'une embouchure dont le biseau est fermé. Le corps n'est constitué que de quelques trous permettant de jouer la gamme chinoise, gamme pentatonique majeure constituée de cinq notes (au lieu de 7) séparées par 1 ; 1 ; 1,5 ; 1 ; 1,5 tons.

Exemple :

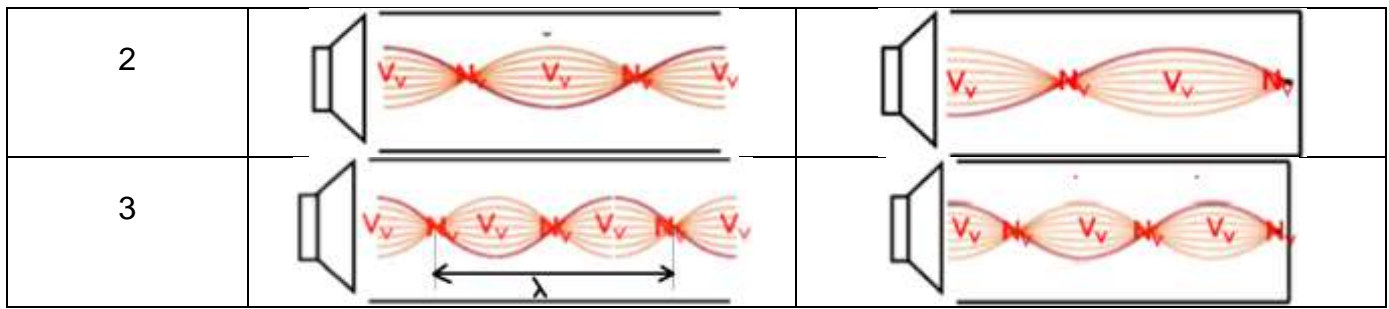
1 T	1 T	1,5 T	1 T	1,5 T
-----	-----	-------	-----	-------



Document 3 Modes de vibration des tubes sonores

Les modes de vibrations correspondent aux différentes ondes susceptibles d'exister à l'intérieur du tube d'un instrument de musique. Il existe deux types de tubes sonores : les tubes ouverts aux deux extrémités (système 1) et les tubes bouchés à l'une des extrémités (système 2)

Mode	Système 1	Système 2
n	$\lambda = \frac{2L}{n}$	$\lambda = \frac{4L}{2n-1}$
1		



La hauteur du son émis correspond à la fréquence du mode 1 de vibration. Les harmoniques sont dues aux autres modes de vibration. La fréquence s'exprime comme le rapport de la vitesse de propagation de l'onde dans le tube v et de la longueur d'onde λ : $f = \frac{v}{\lambda}$

Document 4 Longueurs de tubes pour différentes notes jouées sur une flûte traversière
D'après Rossing, T.D. (1989). *The Science of Sound*.

Note	Ré ₃	Mi ₃	Sol ₃	La ₃
Fréquence (Hz)	293,7	329,6	392,0	440,0
Longueur du tube L (mm)	589,1	524,8	441,3	393,2

Document 5 Longueur de tube sur la flûte chinoise

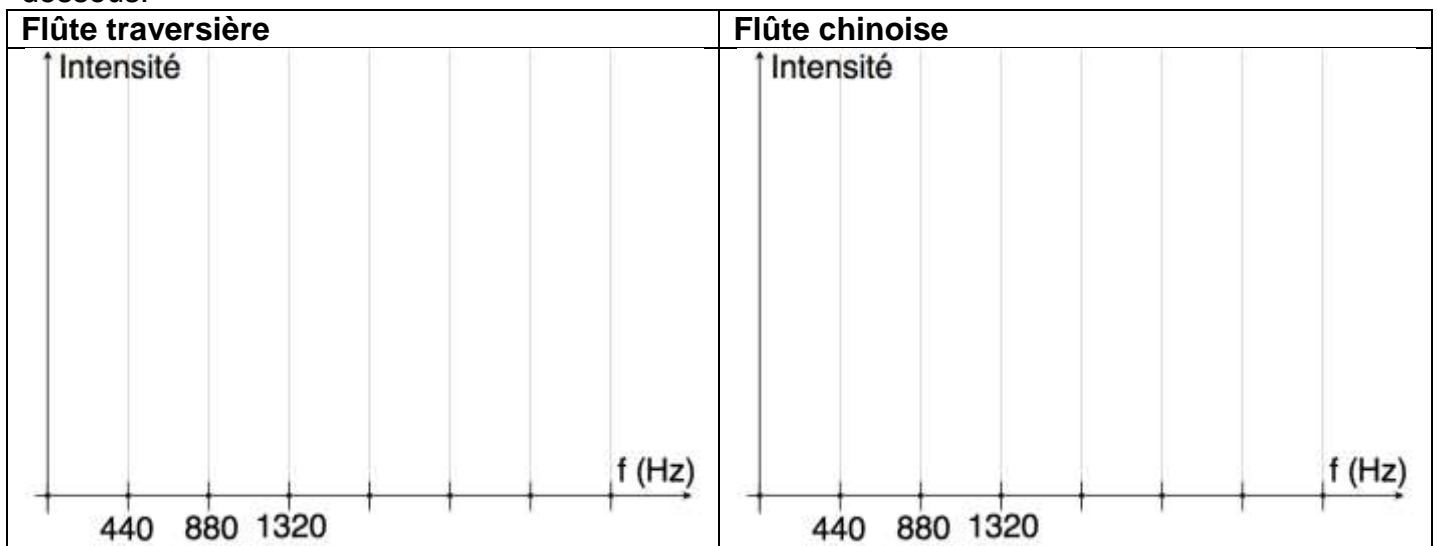
Note	Mi ₄	Ré ₄	Si ₃	La ₃
Fréquence (Hz)	659,3	587,3	493,9	440,0
Longueur du tube Lm (cm)	10,4	12,1	14,6	16,8

Exploitation

En utilisant les logiciels REGAVI et regressi (voir fiche), répondre aux questions suivantes.

Étude des spectres des sons émis par les deux flûtes

1. Étudier les sons « flutetraversière.wav » et « flutechinoise.wav ». Compléter les spectres ci-dessous.



2. Montrer que la flûte traversière est considérée comme un tube ouvert aux deux extrémités et la flûte chinoise comme un tube possédant une extrémité fermée.

Vitesse de propagation du son dans la flûte traversière

1. En consultant les différents documents, donner la relation entre la longueur de la flûte et la hauteur du son émis.

2. Dans Regressi, reporter les valeurs du tableau du document 4. Créer la grandeur $x = 1/L$. Tracer l'évolution de f en fonction de x . Modéliser à l'aide du modèle linéaire et noter la valeur a du coefficient de proportionnalité donnée par la modélisation.

3. À partir des résultats de la question 5, exprimer a en fonction de v . En déduire la valeur de la vitesse de propagation du son dans la flûte traversière. Commenter cette valeur

À propos de la longueur de la flûte chinoise

Pour un fabricant de flûte, la longueur de tube L_m est définie entre l'extrémité de la flûte et le centre du dernier trou ouvert. La longueur acoustique L est la longueur théorique du tube correspondant à la note jouée. Cette longueur est légèrement supérieure à la longueur L_m et suit la relation $L = L_m + \Delta L$ où ΔL est une constante. Donnée : $v = 340 \text{ m.s}^{-1}$

1. En exploitant les documents 3 et 5 que le résultat de la question 2 précédente, calculer la longueur acoustique L pour chaque note présentée dans le document 5.
2. Représenter L en fonction de L_m . Modéliser la courbe et commenter.

IV – Étude expérimentale : flûte de pan

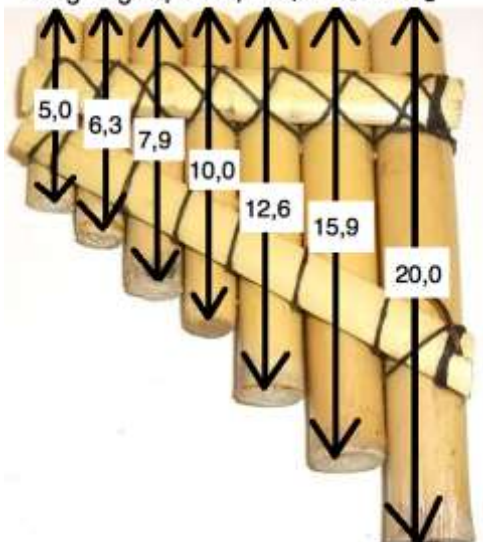
Document 1 Présentation de la flûte de pan

Les flûtes de Pan sont des instruments à vent (ou aérophone) de la famille des flûtes. Elles sont composées d'un ensemble de tuyaux de grandeurs différentes qui sont fermés à une extrémité.

Lorsque l'on souffle fortement au raz de l'ouverture d'une cavité (par exemple une bouteille vide), le souffle provoque une compression qui a tendance à écraser l'air de la cavité. Cet air ne peut pas sortir car il n'y a pas d'autre ouverture, il se comprime, mais son élasticité a tendance à le ramener à sa position initiale provoquant sa détente. Puis notre souffle le contracte à nouveau et ainsi de suite. Il se met donc à vibrer, ce qui produit une note et s'installe dans le tube une onde stationnaire. Comme le tube est ouvert à l'un de ses



extrémités, seuls les harmoniques impairs sont conservés. C'est la superposition de ces harmoniques impairs qui donne sa sonorité à la flûte



Document 2 Caractéristiques d'une flûte de pan

Voici ci-contre les caractéristiques d'une flûte de pan, détaillant les notes jouées et les longueurs des tubes correspondants exprimées en cm.

Matériels à disposition

- une éprouvette
- de l'eau
- une règle graduée
- logiciel Regressi
- Capteur de son+cartes d'acquisition Latis Pro (paramètres d'acquisition : points = 5000 ; $T_e = 100 \mu\text{s}$, Total = 0,5 s)

Travail demandé

1. Reproduction de quelques tubes de la flûte du document 2

1.1 À l'aide du matériel à votre disposition, indiquer comment reproduire quelques-uns des tubes présentés dans le document 2.

1.2 Réaliser pour un tube l'acquisition du son correspondant. Déterminer par la méthode de votre choix la hauteur du son émis.

1.3 Reprendre la même manipulation pour trois autres tubes.

2. Modélisation

2.1 En vous appuyant sur la partie « modes de vibrations des tubes sonores », exprimer la longueur d'onde associée au mode fondamental en fonction de la longueur du tube.

2.2 Dans Regressi, entrer les valeurs expérimentales trouvées lors de la partie 1. Créer les grandeurs λ_b (longueur d'onde) et T (période associée à la hauteur du son). Tracer λ_b en fonction de T . Modéliser la courbe et noter les valeurs numériques obtenues.

2.3 Comment, à partir de cette courbe, est-il possible de déterminer la vitesse de propagation des ondes dans ce tube ?

2.4 Déterminer pour quelle longueur de tube, on peut obtenir un la_4 . Réaliser l'expérience et comparer avec le résultat attendu.

IV – Résolution de problème : du clairon à la trompette

Document 1 Le clairon

Le clairon est l'un des instruments les plus simples de la famille des cuivres. Il est constitué d'un tube conique replié sur lui-même, long d'environ **1,2 m**. Les deux extrémités de ce tube sont le bec et le pavillon. Sa fréquence fondamentale est de 131 Hz, mais la note correspondante est difficile à produire. En ajustant la tension de ses lèvres, le musicien peut en revanche jouer les deux harmoniques suivant le fondamental.



Source photo : Wikipedia

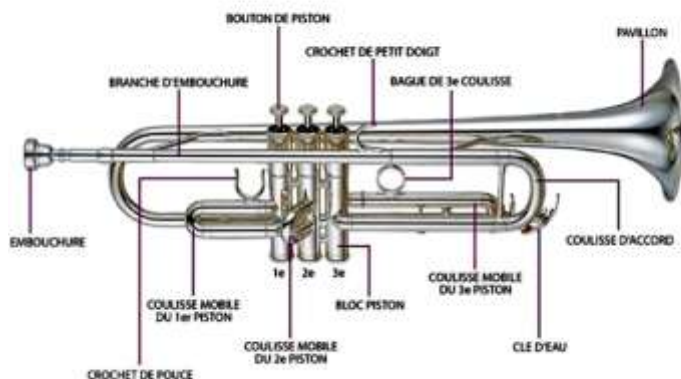
Document 2 La trompette

Dans une trompette, un piston actionné bouche le tuyau principal et ouvre une dérivation vers une coulisse. L'onde sonore doit ainsi parcourir une longueur de tube supplémentaire. La trompette a trois pistons, qui libèrent des coulisses de longueurs égales respectivement à environ 12, 6 et 18 pour cent de la longueur du corps principal.

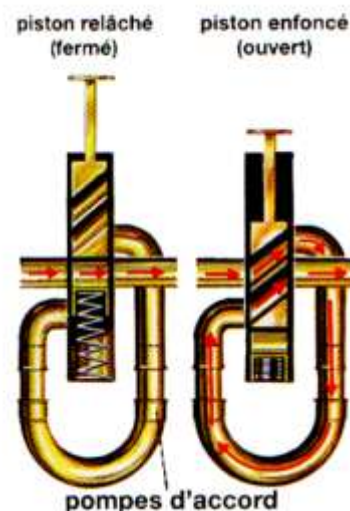
[...] Par combinaisons, on produit six notes supplémentaires, les six notes qui manquaient à notre clairon entre la première et la seconde !



D'après des extraits tirés du livre « La physique buissonnière » de Jean-Michel Courty et Edouard Kierlik.



Source : <http://www.musikia.com/fr/musiconseil/choisir-une-trompette>



La trompette naturelle est fabriquée dans un tuyau d'environ **1,5 m** de long et constituée par l'embouchure, le tube (ou perce) et le pavillon. La perce est cylindrique, ce qui lui donne un son brillant. La coulisse d'accord (ou/et les pompes d'accord) permet comme son nom l'indique d'affiner la justesse de l'instrument ; par **exemple, L = 1,46 m pour le La#₁**. Cet instrument est encore employé dans la musique baroque sur des instruments anciens, et dans la musique militaire.

Document 3 Modes de vibration d'un tuyau sonore

Dans un instrument à vent, les ondes de vibrations de la colonne d'air se propagent dans l'axe principal du tube. Pour un tube de longueur L, ouvert aux deux extrémités, les fréquences des ondes stationnaires sont données par la formule $f_n = \frac{n \cdot v}{2L}$ avec n = 1, 2, 3, etc., où v est la valeur de la vitesse du son dans l'air.

Suivant la position des lèvres, le musicien peut exciter, pour une longueur donnée, soit le mode fondamental (n=1) soit ses harmoniques (n=2,3...)

Document 4 La gamme tempérée

On donne ci-dessous le tableau permettant d'établir la correspondance entre la hauteur et la fréquence associée de quelques notes de la gamme tempérée. Douze notes sont placées sur une octave qui est alors divisée en douze intervalles appelés demi-tons.

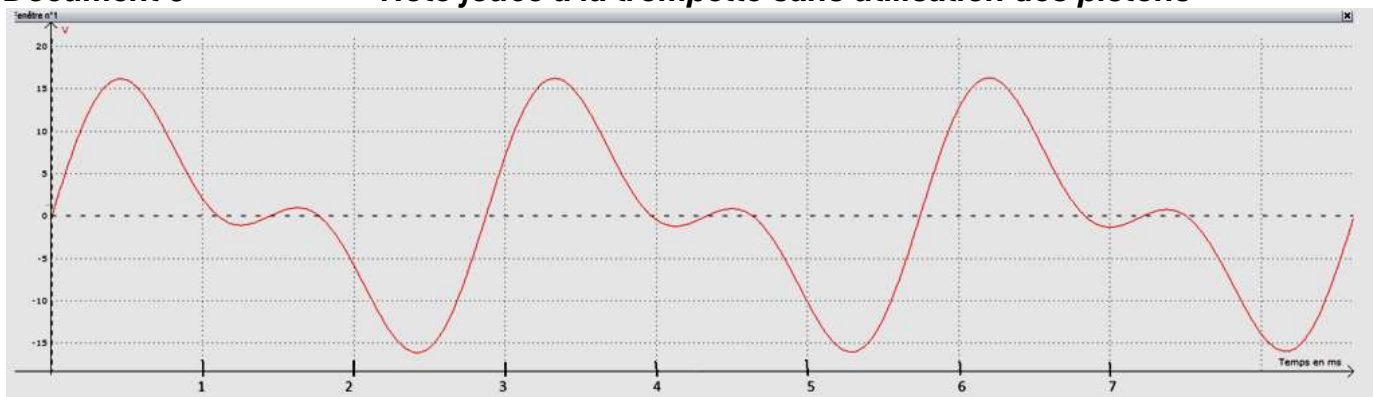
Hauteur de la note	la ₂	la# ₂	si ₂	do ₃	do# ₃	ré ₃	ré# ₃	mi ₃	fa ₃	fa# ₃	sol ₃	sol# ₃	la ₃	la# ₃	si ₃
Fréquence (Hz)	220	233	247	262	277	294	311	330	349	370	392	416	440	466	494

Deux notes successives dans le tableau, par exemple **si₂** et **do₃**, sont séparées par une hauteur de demi-ton en musique ce qui correspond à un rapport en fréquence de : $\frac{261}{247} = \sqrt[12]{2} = 2^{\frac{1}{12}} = 1,06$.

Deux notes sont à l'octave l'une de l'autre si le rapport de leurs fréquences vaut 2 : par exemple la note **la₄** est à l'octave supérieure de la note **la₃** car : $\frac{880}{440} = 2$

Document 5

Note jouée à la trompette sans utilisation des pistons



Donnée : valeur de la vitesse du son dans l'air : 340 m/s

Questions préalables

1. Quelles sont les notes jouées par un musicien avec un clairon ? Argumenter votre réponse.
2. Pourquoi peut-on obtenir huit notes avec une trompette et seulement deux avec un clairon ? Votre réponse sera argumentée et fera référence aux différents documents utilisés.
3. Le trompettiste tente de jouer un **fa₃**, sans utiliser les pistons. À l'aide du document 5, vérifier si la note jouée est juste. Le musicien a produit une excitation de l'air produisant une onde stationnaire qui correspond à un certain mode de vibration, s'agit-il du mode fondamental ? Si non, préciser ce mode de vibration.

Problème

En n'actionnant aucun piston d'une trompette, un musicien joue un fa₃. Il enfonce les trois pistons, arrivera-t-il à produire la même note à l'octave ?

- Vous démontrerez de quel intervalle est modifiée la note si seul le piston numéro 2 est actionné et préciserez alors la note jouée. Et vous réitérerez votre démarche en considérant le seul piston 3 actionné.
- Vous expliquerez alors votre démarche pour répondre au problème posé. Celle-ci sera rigoureuse, les calculs posés, et fera référence aux différents documents utilisés.