

Percer les mystères des perces de cuivres

Un apprentissage par problème destiné à permettre aux étudiants :

- D'écrire mathématiquement, en terme d'impédance acoustique, une approximation approchée à basses fréquences des conditions à l'extrémité ouverte d'un tuyau sonore débouchant dans un écran infini (bafflé/flanged) ou non bafflé.
- D'écrire mathématiquement la matrice de transfert qui relie le vecteur (pression, débit) à l'entrée et à la sortie d'un tronçon de cylindre, puis d'un tronçon de cône, en prenant en compte les effets des couches limites visqueuses et thermiques en propagation (température uniforme et constante).
- De calculer numériquement l'impédance d'entrée d'un résonateur approximé par une succession de cylindres et cônes en prenant en compte les effets des couches limites visqueuses et thermiques en propagation (température uniforme et constante), ainsi qu'une approximation basses fréquences du rayonnement au pavillon.
- D'estimer les fréquences de résonance d'un instrument de la famille des cuivres approximé par une succession d'éléments simples (cylindres, cônes).

Christophe VERGEZ, Benoît FABRE, Jean-Loïc Le CARROU

Automne 2024

Ce livret est largement inspiré de celui proposé par les collègues de l'Université Catholique de Louvain / FA2L. Cet APP a pu être développé grâce au soutien SU au travers du projet Forminov AMFI.

Le Musée de la Musique possède dans ses réserves de nombreux instruments à vent très anciens de la famille des cuivres. En effet, depuis l'antiquité, des instruments de cette famille ont été fabriqués par l'Homme, comme par exemple le schofar, constitué d'une corne de bœuf, des trompes tibétaines faites d'os de bras humain, des cors péruviens faits de queues de tatous, ... Ces instruments sont soit endommagés (corps fissurés) ou trop fragiles pour être joués.

Dans le but de préparer une exposition où seraient données des informations sur les notes initialement jouables sur ces instruments, ainsi que des informations sur la justesse de ces instruments, le conservateur du musée fait appel à vous. Il s'est plongé dans un livre d'acoustique sans tout comprendre aux notions qui y étaient abordées.

Il vous demande dans un premier temps de démontrer comment dans le cas d'un cuivre cylindrique sans embouchure on déduit les fréquences de résonance à partir de l'impédance d'entrée écrite analytiquement. Il veut aussi savoir si dans un contexte musical il est pertinent de modéliser le rayonnement pour prédire les fréquences de résonance.

Dans un second temps, il voudrait que vous engagiez le développement d'un outil numérique permettant, en fonction de la perce d'un instrument, de calculer son impédance d'entrée, dont on déduirait les fréquences de résonance de l'instrument. Suite à ses propres lectures douloureuses, il mentionne la méthode de l'impédance ramenée en vous demandant si c'est une réponse adaptée au problème posé.

Afin d'évaluer l'intérêt et le potentiel d'un tel outil, le conservateur vous demande de le valider dans le cas d'un instrument moderne, une trompette de marque Blessing pour laquelle il dispose d'une mesure de l'impédance d'entrée pour le doigté où aucun piston n'est enfoncé. L'étude se limitera à ce doigté, les cotes correspondantes étant données en annexe ainsi que les résultats de mesure : fréquences de résonance et amplitudes du module de l'impédance d'entrée à ces fréquences. La précision attendue sur les fréquences de résonance doit être suffisante pour que des musicologues puissent analyser les échelles musicales associées à ces instruments, par comparaison au tempérament égal. Le conservateur attend donc des fréquences de résonance convergées à 1 cent au plus.

Annexe :

Côtes de la trompette Blessing :

Pabsc contient les distances (m) depuis l'entrée de l'embouchure où sont relevés les rayons donnés dans Prayon (m).

```
Pabsc =[ 0.000000 0.002000 0.004000 0.006000 0.008000 0.010000
0.012000 0.014600 0.015100 0.018000 0.022900 0.027900 0.033000
0.038700 0.048000 0.058600 0.069000 0.079400 0.086900 0.089200
0.304400 0.307200 0.383200 0.502200 0.607900 0.608700 0.634800
0.646300 0.659700 0.677000 0.689800 0.708300 0.722300 0.740300
0.790300 0.818300 0.870300 0.919300 0.947300 0.997300 1.047300
1.097300 1.107300 1.117300 1.127300 1.137300 1.147300 1.157300
1.167300 1.177299 1.187299 1.197299 1.207299 1.217299 1.222299
1.227299 1.232299 1.237299 1.242299 1.247299 1.252299 1.257299
1.262299 1.267299 1.272299 1.277299 1.282299 1.287299 1.292299
1.295299 1.298299 1.301299 1.304299 1.307299 1.310300 1.313300
1.316300 1.319300 1.322300 1.325300 1.328300 1.331300 1.334300
1.337300 1.340300 1.343300 1.346300 1.349300 1.352300 1.355300
1.358300 1.361300 1.364300 1.367300
];
```

```
Prayon =[0.008150 0.008150 0.007550 0.006400 0.004250 0.002750
0.002200 0.001850 0.001850 0.002000 0.002250 0.002500 0.002750
0.003000 0.003250 0.003500 0.003750 0.004000 0.004150 0.005000
0.005800 0.006350 0.005850 0.005850 0.005850 0.006350 0.005850
0.005710 0.005950 0.005730 0.005970 0.005770 0.005950 0.006000
0.006100 0.006400 0.006500 0.006800 0.007000 0.007650 0.008500
0.009300 0.009500 0.009750 0.010000 0.010150 0.010350 0.010600
0.010800 0.011150 0.011500 0.011850 0.012200 0.012500 0.012700
0.012850 0.013000 0.013200 0.013400 0.013600 0.013800 0.014000
0.014300 0.014600 0.015000 0.015400 0.015900 0.016500 0.017100
0.017500 0.017900 0.018350 0.018850 0.019550 0.020100 0.020750
0.021350 0.022000 0.022800 0.023750 0.024800 0.025900 0.027150
0.028750 0.030500 0.032200 0.034250 0.036800 0.039200 0.042000
0.045400 0.049000 0.052500 0.059000
];
```

Fréquences de résonances de la trompette (Hz) :

84.87	230.68	349.88	467.92
586.31	710.28	810.69	921.72
1048.3	1175.2	1292.7	1424.9
1552.4	1552.4	1690.2	

Amplitude du module à ces fréquences (Pa.m^{-3.s})

9.1952e+07	6.3045e+07	7.9696e+07	1.0009e+08
1.1273e+08	1.4276e+08	1.4466e+08	8.5698e+07
4.2555e+07	3.0801e+07	2.2872e+07	1.5526e+07
1.2771e+07	1.2771e+07	1.0277e+07	

Découpage de la séance « Aller »

1	5 min	Organiser le groupe (distribuer les rôles)	
2	5 min	Prendre connaissance du document fourni	
3	10 min	Comprendre et clarifier le problème <ul style="list-style-type: none"> • Quel est le problème que nous devons traiter ? • Quelle est notre mission ? 	
4	20 min	Etablir des pistes pour traiter le problème <ul style="list-style-type: none"> • Etablir une liste de questions pertinentes • Faire le point sur ce que le groupe connaît (et ne connaît pas) • Etablir une liste d'hypothèses à considérer • Etablir une liste des productions attendues 	
5	10 min	Formuler les objectifs d'apprentissages <ul style="list-style-type: none"> • Que faut-il apprendre / découvrir pour traiter le problème ? 	
6	10 min	Etablir un plan d'action <ul style="list-style-type: none"> • Déterminer les informations à recueillir pour sélectionner parmi les pistes énumérées • Etablir la liste des tâches à accomplir par chacun • Dresser la liste des livrables à préparer avant la prochaine séance etc... 	

Des rôles pour faciliter le travail en groupe

Animateur

- S'assure que le groupe suit les étapes prévues
- Veille à ce que le contenu de la discussion soit noté par le secrétaire
- Anime la discussion :
 - distribue la parole (en s'assurant de la participation de tous) et modère les interventions
 - amène le groupe à clarifier les idées développées
 - propose des synthèses de ce qui a été élaboré / dit / fait

Scribe

- note au tableau l'essentiel qui ressort des échanges, comme support et mémoire de la discussion
- des idées, des concepts, des schémas, des questions plutôt que des phrases
- ne filtre pas les informations
- organise les tableaux en fonction des étapes

Secrétaire

- prépare une trace écrite synthétique des résultats produits par le groupe
- transmet cette trace à tous les membres du groupe et au(x) tuteur(s)

Intendant

- s'assure du respect du temps, par étape et globalement
- veille à la logistique (feutres, etc...)

Références bibliographiques :

- Kinsler & al. « Fundamentals of acoustics », 4th edition, J. Wiley & Sons, 2000. Chap 10 Pipes, Resonators and Filters, sections 10.1 et 10.2
- Chaigne A., Kergomard J., “Acoustique des instruments de musique” Belin- Collection Echelles. 1ère édition 2008 (ou 2nde édition 2014), chap7, section 4
- Zegrev C., extraits de supports de cours – rayonnement + pertes visco-thermiques.

Ajouter les liens internet consultés :