

Travaux pratiques d'Acoustique Musicale

Ce livret regroupe trois énoncés de travaux pratiques d'acoustique musicale. Ils décrivent chacun une séance de 3h, le premier sur les instruments à cordes, le second sur les instruments à vent et enfin, le dernier sur les instruments à percussion. Dans chaque séance, chaque groupe est subdivisé en deux sous-groupes de 2 étudiants.

Évaluation : l'évaluation repose sur le travail en séance et une copie par sous-groupe à remettre au plus tard une semaine après la séance.

Déroulement : la répartition en 3 groupes (A,B,C) et sous-groupes (1-2) est précisée plus bas. Le déroulement repose sur une rotation des groupes, selon le découpage horaire suivant :

Jeudi 21/11 – 14h-17h	Groupe A : Vents	Groupe B : Percus.	Groupe C : Cordes
Vend. 22/11 – 9h00-12h00	Groupe C : Vents	Groupe A : Percus	Groupe B : Cordes
Vend. 22/11 – 14h-17h	Groupe B : Vents	Groupe C : Percus	Groupe A : Cordes

Cordes : barre 54-55 salle 501

Vents : barre 44-54 salle 507

Percussions : barre 44-54 salle 503

Rendez-vous directement dans chacune des salles (**attention : accès contrôlé, soyez ponctuels**).

Jean-Loïc Le CARROU, Benoît FABRE, Christophe VERGEZ

Automne 2024

Les pertes nuisent-elles à la qualité des vents ?

Une séance de travaux pratiques destinée à permettre aux étudiants de :

- Réaliser et interpréter des mesures d'impédance acoustique à l'entrée d'un instrument à vent
- Réaliser une mesure de diagramme de bifurcation d'un instrument de musique en auto-oscillation
- Estimer l'influence d'un stack sur les pertes en propagation dans une conduite cylindrique

Descriptif

L'influence des pertes sur la qualité des instruments à vent est une question ouverte à l'heure actuelle. S'il est clair, dans le cas des instruments à sons entretenus, que des pertes trop importantes risquent de mettre en péril l'oscillation, il est probable que des coefficients de qualité trop élevés privent l'instrumentiste de possibilités de contrôle en jeu.

La manipulation proposée dans cette séance de travaux pratiques vise à modifier les pertes par effets visqueux et thermiques en propagation dans une flûte à bec et d'en apprécier l'effet sur le comportement dynamique de l'instrument en jeu.

Les pertes seront modifiées par l'introduction, dans le corps du résonateur, d'un stack (réseau) inspiré des stacks capillaires utilisés notamment dans les lignes d'échappement automobile¹.

Découpage du travail

1	individuel	Travail préparatoire	
2	Sous-groupe	Mesures d'impédance	
3	Sous-groupe	Relevé de diagrammes de bifurcation	
4	Sous-groupe	Analyse des données	
5	Sous-groupe	Rédaction du compte-rendu (rendre au plus tard une semaine après la séance pratique)	

NB : l'ordre des étapes 2 et 3 peut être interverti.

¹ Ce travail s'inspire largement de l'étude publiée par Auvray dans ForumAcusticum, Alborg (2011)

Travail à réaliser

En séance

- Mesures des résonances
 - La mesure passive se fait au moyen du système capteur d'impédance développé par le CTTM (<http://www.cttm-lemans.com/fr/acoustique-vibrations/produits/capteurs.html>)
 - Elle est effectuée pour les deux configurations de l'instrument (avec et sans stack) dans une bande de fréquence qui permette d'estimer les variations du coefficient de qualité des 2 premières résonances de l'instrument. De plus, l'impédance d'un tube cylindrique simple sera aussi relevée pour référence.
- Mesures en jeu
 - L'instrument est soufflé avec de l'air comprimé issu d'un réservoir. Le débit de jeu sera contrôlé lentement pendant que la pression de contrôle et la fréquence de jeu seront relevées.
- Points de vigilance :
 - Les résonances sont déterminées par la propagation acoustique, qui dépend de la **température**. Cette dernière doit donc être relevée très fréquemment pendant la séance et notamment au moment des relevés qui seront analysés.
 - Le **positionnement du stack** dans le résonateur est assez sensible, aussi est-il préférable pour la cohérence des mesures effectuées de ne pas multiplier les changements de configuration (avec/sans)... ou de s'assurer de la précision de son positionnement
 - De manière générale, le matériel utilisé est fragile et couteux ... si vous avez un doute, une question, une inquiétude, adressez-vous à votre tuteur.

En préparation

- Lire les 2 articles donnés en référence
- Calculer au moyen de l'ordinateur (Matlab ou autre...) l'impédance de l'instrument vue depuis l'extrémité passive

Pour l'analyse des données

- Impédance : identification d'une fonction de transfert d'ordre 2 autour des premières fréquences de résonances afin d'estimer le facteur de qualité et le coefficient de pertes dans les 2 configurations étudiées
- diagramme de bifurcation : estimer les variations du comportement dynamique de l'instrument pour les 2 configurations étudiées
- On réfléchira aux grandeurs pertinentes à faire apparaître sur le diagramme de bifurcation, en tenant compte d'expériences préliminaires réalisées rapidement pour explorer la dynamique non linéaire du système.

Dans le compte-rendu, prévoir d'inclure les éléments suivants :

- les calculs réalisés en préparation : valeurs des paramètres, algorithmes et courbes résultantes,
- les courbes d'impédance mesurées et leur comparaison aux courbes calculées,
- les diagrammes de bifurcation relevés et leur analyse en lien avec les modifications de l'impédance

Références bibliographiques :

- Auvray, Fabre, Lagrée : On the influence of the Q factor on the oscillating frequency of flue organ pipes, in Forum Acusticum Alborg 2011
- Le Roux JC, Dalmont JP, Gazengel B : A new impedance tube for large frequency band measurement of absorbing material. Acoustics 08 Paris 2008.

Matériel utilisé :

- Flûte à bec alto modifiée : corps cylindrique de 18,9mm de diamètre et 29,3cm de long, fenêtre rectangulaire de 4mm par 9mm.
- Thermomètre Digitron 2046T
- Stack de pailles
- Capteur d'impédance CTTM et logiciel « CapteurZ » associé
- Manomètre Digitron 2020P
- Fréquencemètre
- Microphone externe
- Compresseur + détendeur

Le ukulélé est-il une petite guitare ?

Une séance de travaux pratiques destinée à permettre aux étudiants de :

- Réaliser et interpréter des mesures de fonctions de réponse en fréquence d'instruments à cordes
- Identifier les modes A0 et T1 dans le cas de la guitare classique et dans le cas du ukulélé
- Établir un modèle basse fréquence de l'instrument à 2 degrés de liberté
- Identifier expérimentalement les paramètres du modèle basse fréquence

Descriptif

Le ukulélé est un instrument à cordes pincées originaire des îles Hawaï. Sa sonorité en fait un instrument incontournable dans la musique actuelle. Pourtant, cet instrument, dont la géométrie ressemble grossièrement à une « guitare miniature », n'a pas fait, à notre connaissance, l'objet d'études approfondies. En particulier, l'étude que vous mènerez porte sur le dimensionnement de la cavité et de l'évent de l'instrument.

La manipulation proposée dans cette séance de travaux pratiques vise à analyser comparativement le comportement vibro-acoustique d'un ukulélé et celui d'une guitare à travers l'identification des paramètres d'un modèle générique basse fréquence des instruments. Ainsi, vous modéliserez le couplage de la vibration de la table d'harmonie avec la résonance acoustique de la caisse, afin de discuter le dimensionnement de l'évent du ukulélé. Cette étude vous permettra, le cas échéant, de proposer un nouveau dimensionnement de l'évent qui améliore le rayonnement aux basses fréquences de l'instrument

Pour valider l'influence de paramètres de facture sur les paramètres du modèle, vous pourrez tester plusieurs configurations du même instrument en augmentant la masse acoustique ou la masse vibrante de la table en rajoutant, respectivement, un rebord à l'évent ou une masse à la table.

Découpage du travail

1	Individuel	Travail préparatoire	
2	Sous-groupe	Mesures de FRF suivant les différentes configurations	
3	Sous-groupe	Identifier les pics de résonance pertinents	
4	Sous-groupe	Analyse des données	
5	Sous-groupe	Rédaction du compte-rendu	

Travail à réaliser

En séance

- Mesures vibratoires avec excitation contrôlée
 - La mesure de Fonction de Réponse en Fréquence (appelé FRF) se fera, dans le cadre de ce travail expérimental, avec un marteau d'impact et un accéléromètre et le programme Matlab mis à disposition.
 - Quelques FRF judicieusement choisies peuvent être mesurées suivant plusieurs configurations (évent ouvert ou évent fermé, avec ou sans masse ajouté sur la table d'harmonie) pour étudier l'influence du mode acoustique sur les modes vibratoires.
 - Une attention particulière sera menée sur le domaine de fréquence d'analyse et sur la fiabilité de la mesure.
- Identification des paramètres du modèle
 - A partir des FRF mesurées suivant les différentes configurations, une recherche des fréquences d'intérêt sera à faire pour la guitare comme pour le ukulélé.
 - Grâce à ces résultats, l'identification des paramètres du modèle est possible et donc la synthèse de ce modèle que l'on pourra comparer aux FRF expérimentales.
- Points de vigilance :
 - En fonction de la précontrainte appliquée par les cordes sur la table d'harmonie, cette dernière peut voir son comportement modal varier. Il est donc important de bien accorder les instruments avant votre manipulation.
 - L'excitation avec un marteau d'impact n'est pas sans risque pour des instruments en bois.
 - De manière générale, le matériel utilisé est fragile et couteux ... si vous avez un doute, une question, une inquiétude, adressez-vous à votre tuteur.

En préparation

- Lire les 4 documents donnés en référence
- Ecrire le modèle basse fréquence de la guitare et établir la procédure à mettre en place pour identifier ses paramètres et leurs incertitudes.

Pour l'analyse des données

- FRF : Identifier les pics de résonance et d'anti-résonance pour comparer les différentes configurations
- Paramètres du modèle : Estimation des valeurs en fonction des mesures

Dans le compte-rendu, précisez les points suivants :

- L'établissement d'un modèle basse fréquence de l'instrument
- Les liens entre les paramètres de facture et les paramètres du modèle
- La présentation des FRF, suivant différentes configurations, ainsi que les données extraites des FRF.
- L'interprétation des résultats, permettant de conclure sur le dimensionnement d'un ukulélé, assorti d'une éventuelle proposition de modification du dimensionnement.

Références bibliographiques :

- O. Christensen, B.B. Vistisen. Simple model for low-frequency guitar function. Journal of the Acoustical Society of America, 68(3), pp. 758-766 (1980)
- N.H. Fletcher et T.D. Rossing, "The physics of Musical Instruments", Springer, 2nd edition 1998. Chap 9, section 4, 5, 6 et 7.
- A. Chaigne, J. Kergomard, "Acoustique des instruments de musique" Belin- Collection Echelles. 1^{ère} édition 2008 (ou 2^{nde} édition 2014). Chap 6, section 1 (Interaction structure-cavité)

Pour aller plus loin :

- J-L. Le Carrou, F. Gautier et E. Foltête. Identification of A0 and T1 modes of the concert harp. Journal of the Acoustical Society of America, 121(1), pp. 559-567 (2007).

Matériel à disposition :

- 1 Ukulélé
- 1 guitare
- 1 marteau d'impact
- 1 accéléromètre
- Feuille de papier et pâte à modeler
- Carte d'acquisition NI et PC d'acquisition

Percussions : accord ou pas d'accord ?

Une séance de travaux pratiques destinée à permettre aux étudiants de :

- Réaliser et interpréter des mesures de fréquence et d'amortissements des différentes composantes fréquentielles,
- Estimer l'influence de l'inharmonicité des modes sur l'ambiguïté de la sensation de hauteur à l'écoute de sons d'instruments à percussion
- Estimer la variation de l'inharmonicité en fonction de la tessiture pour des instruments à percussions à peaux et à lame.

Descriptif

La structure vibrante des instruments à percussion, qu'il s'agisse d'une peau, d'une barre ou autre, donne le plus souvent lieu à des modes dont les fréquences ne correspondent en rien à une série harmonique. La perception de la hauteur associée à la superposition de telles composantes est fort ambiguë. Aussi, dès lors que la sensation de hauteur est importante pour la qualité de l'instrument, les facteurs s'attachent à réaliser un accord relatif des modes. Les solutions mises en œuvre intègrent des compromis dont la pertinence varie le long de la tessiture des instruments concernés.

La manipulation proposée dans cette séance de travaux pratiques vise à apprécier l'accord relatif des modes sur trois instruments : le glockenspiel, le vibraphone, la timbale. Cet accord des modes sera étudié en fonction de la tessiture de chaque instrument.

La sélection judicieuse des points de frappes permettra de faciliter l'analyse des différentes composantes, et d'interpréter cet aspect de la technique de jeu des percussionnistes.

Découpage du travail

1	Individuel	Travail préparatoire	
2	Sous-groupe	Mesures sur les instruments à peau(x)	
3	Sous-groupe	Mesures sur les instruments à lames	
4	Sous-groupe	Analyse des données	
5	Sous-groupe	Rédaction du compte-rendu	

NB : l'ordre des étapes 2 et 3 peut être interverti.

Travail à réaliser

En séance

- Mise en place du dispositif d'étude :
 - L'estimation des fréquences des différentes composantes modales sera réalisée à partir du son rayonné par les instruments. Les instruments seront frappés avec leur mailloche. Une attention particulière sera portée à la position du microphone, en lien avec le rayonnement attendu de chaque instrument.
 - Un programme d'analyse du signal permettra d'estimer les fréquences des modes principaux, au moyen d'une transformée de Fourier « classique ». Dans un second temps, une estimation plus précise de la fréquence et du temps de décroissance des différentes composantes pourra être proposée au moyen d'un algorithme haute définition hérité des travaux pratiques de Traitement du Signal Musical (TP Cloche).
- Etude de différentes configurations de frappe et tessiture :
 - L'analyse des réponses obtenues pour différents points de frappe, en lien avec la connaissance a priori des lignes nodales des différents modes, doit permettre l'identification des différentes composantes observées dans le signal rayonné.
 - Une exploration de la tessiture sera envisagée, en adoptant un échantillonnage compatible avec le temps de travail (durée prévue de la séance, analyse des données).
- Points de vigilance :
 - L'accumulation de données aveugles est rarement profitable : mieux vaut se concentrer sur un nombre réduit de mesures (position et tessiture) dont on peut s'assurer en séance de la bonne documentation, de l'intérêt et de la validité, plutôt que d'en accumuler un nombre important.
 - De manière générale, le matériel utilisé est fragile et couteux ... si vous avez un doute, une question, une inquiétude, adressez-vous à votre tuteur.

En préparation

- Lire les articles donnés en référence
- Préparer un plan de travail qui inclue les différents points de frappe prévus compte-tenu de la géométrie des modes des différents instruments, ainsi qu'un protocole permettant une frappe raisonnablement reproductible (pesanteur ou autre).
- Préparer un outil logiciel (Matlab ou autre), permettant une analyse des différentes composantes fréquentielles d'un son de percussion en oscillation libre au moyen d'une simple transformée de Fourier. Dans un second temps, on pourra réaliser une estimation plus précise des fréquences mais aussi des temps de décroissance, en se reportant aux travaux pratiques de traitement de signal.

Pour l'analyse des données

- Analyser les évolutions des fréquences et amortissements des différentes composantes en fonction de la tessiture, et notamment aux extrêmes de la tessiture.
- On veillera à faire ressortir la-es zone-s de la tessiture qui offre-nt la sensation de hauteur la plus univoque.

Dans le compte-rendu, prévoir d'inclure les éléments suivants :

- Le plan de travail élaboré en amont de la séance et, le cas échéant, les modifications subies en séance.

- La description des outils d'analyse du signal utilisés.
- Un graphique présentant l'évolution des fréquences et amortissements des différentes composantes en fonction de la tessiture.

Références bibliographiques :

- Kinsler & al. « Fundamentals of acoustics », 4th edition, J. Wiley & Sons, 2000. Chap 3 Vibration of bars, Chap 4 The two-dimensional wave equation, Chap 7 Radiation and reception of acoustic waves.
- Chaigne A., Kergomard J., "Acoustique des instruments de musique" Belin- Collection Echelles. 1ère édition 2008 ou 2^{nde} édition 2014. Chap3, section 4 et Chap5, section 2

Matériel utilisé :

- Timbale Bergerault Voyager I, 29" : fût en cuivre, pédale d'accord.
- Baguettes (magiques)
- Glockenspiel Bergerault Valise 2,5 octaves Fa5-Do8 : lames acier à haute teneur en carbone, section 30x10mm.
- Vibraphone Bergerault Performer 3 octaves : lames 60 à 40 mm, 13mm d'épaisseur.
- Tom Pearl 13"x09", fût acajou / peuplier
- Microphone AudioTechnica 4022
- Interface audio Presonus AudioBox iTwo et PC d'acquisition
- Accordeur Korg OT-120

Répartition en groupes

COLAS	Benjamin	A	1
DANIEL	Mathys	A	1
FORGEOT D'ARC	Damien	A	2
JACQUIN	Simon	A	2
JEANNEAU	Aurélien	B	1
KANG	Jiale	B	1
LE BAGOUSSE	Azal	B	2
MEINNEL	Marco	B	2
PAIN	Alice	C	1
WENDLING	Robin	C	1