

# Travaux pratiques d'acoustique, séances 6,7 « Psycho-acoustique et physique des instruments »

Licence 2, de physique et musicologie  
(version : 3 mars 2023)

Frédéric Faure

Université Grenoble Alpes, France

frederic.faure@univ-grenoble-alpes.fr

## Résumé

Ces T.P. sont autour de la psycho-acoustique directement reliés au chapitre 3,4 de ce cours [cours d'acoustique musicale](#) dont voici le [fichier pdf](#). Voici la [page web du TP](#) avec d'autres informations. On pourra consulter les documents et liens vidéos proposés sur cette page de [cours d'acoustique musicale](#).

## Table des matières

<b>1 Perception du son</b>	<b>1</b>
<b>2 Physique des instruments</b>	<b>3</b>

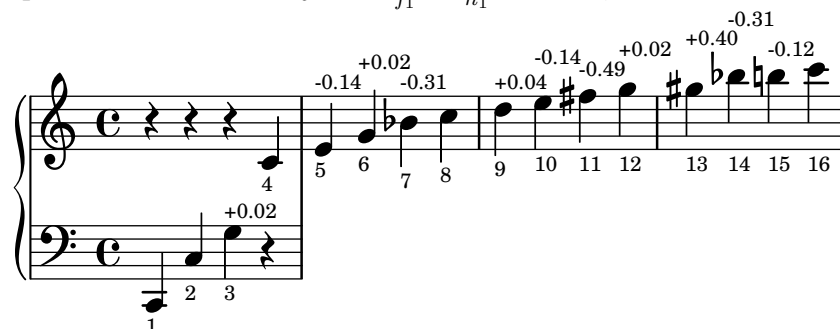
*Remarque 1.* Dans la version électronique de ce document (pdf), vous accédez aux pages de cours et autres documents en **cliquant sur les liens de couleur qui entourent le texte**, comme ce lien vers la [page web de ce cours](#).

Rappel : toutes les mesures  $x$  doivent être accompagnées d'une estimation de l'incertitude de mesure  $\Delta x$ .

## 1 Perception du son

### Rappel de cours :

- Signal périodique fréquence fondamentale  $f$ , période  $T$ . Décomposition de Fourier en harmoniques de fréquences  $nf$  avec  $n \in \mathbb{N}^*$ . Signal sinusoïdal (son pur) de phase  $\varphi$ , amplitude  $A$ . Schéma.
- Formule de passage entre la fréquence  $f$  et le pitch MIDI  $x$ .
- Voici les harmoniques d'une note fondamentale et les corrections de pitch, permettant de déduire le pitch des intervalles justes  $\frac{f_2}{f_1} = \frac{n_2}{n_1}$  avec  $n_1, n_2 \in \mathbb{N}^*$ .



- Représentation des intervalles justes sur le **tonnetz**  $\mathbb{Z}^P$ . Identification des intervalles de bases, du triton, des triades majeures, mineures, augmentées, etc.

### Conseils de logiciels :

- **pour générer les sons**, on pourra utiliser ou choisir les logiciels Audacity, ou programme python ou un générateur Basse Fréquences (BF), ou des instruments de musique à disposition : guitare, cordes, flûtes, etc
  - On pourra consulter/utiliser le site web [Analysis of sounds](#) qui permet de mélanger les harmoniques.
- **Pour mesurer les fréquences  $f$  et les pitches  $x$ , observer le signal**, on pourra utiliser l'application android « [Spectroid](#) » ou un oscilloscope,
  - On pourra consulter/utiliser cette application javascript [5 Real-time analysis](#) qui utilise le microphone de votre ordinateur ou téléphone.

### Exercice 1. (TP) « Perception des fréquences et des écarts de fréquence pour notes seules »

- Pour différentes valeurs du pitch  $x$ , générer un son pur unique (sinus), et **mesurer le seuil de perception en pitch**  $\Delta x$  (en émettant successivement des sons seuls de pitch  $x$  et  $x + \Delta x$  jusqu'à percevoir et identifier une variation  $\pm$ ). Faire l'expérience autour de 1000Hz, en aveugle, cad une personne qui choisit et l'autre qui écoute.
- Refaire avec un son timbré (signal carré ou triangle), c'est à dire contenant des harmoniques.
- Tracer les valeurs obtenues  $x \rightarrow \Delta x$  (en pitch) et les mêmes valeurs  $f \rightarrow \Delta f$  (en Hz). Comparer aux courbes des livres de [psycho-acoustique](#). Commentaires par rapport à la gamme chromatique occidentale ?

### Exercice 2. (TP) « Perception ou non des phases »

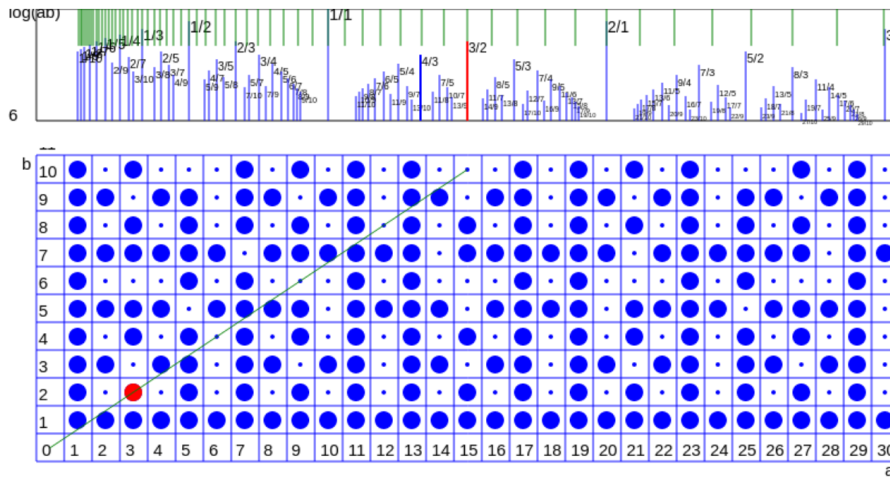
Superposer deux sons purs (sinus) de pitch  $x_1, x_2$  assez différents pour éviter les battements et déphaser un signal par rapport à l'autre. Que perçoit-t-on ? Explication physiologique ? A partir de quelle différence de fréquence  $\Delta f = f_2 - f_1$  perçoit-t-on les battements ?

### Exercice 3. (TP) « Perception des amplitudes (intensité) »

Superposer un son grave fort et un son aigu faible et inversement. Que perçoit-t-on ? Vérifier l'effet de « [masquage](#) » en psycho-acoustique. Explication physiologique ?

### Exercice 4. (TP) « Recherche des résonances entre deux notes ».

Superposer deux sons timbrés de fréquences  $f_1, f_2$ , avec  $f_1 = 260\text{Hz}$  ( $C_5$ ) fixé. Faire varier continûment  $f_2$  entre  $f_1$  et  $4f_1$  (i.e. deux octaves) et noter les rapports de fréquences  $f_2/f_1$  pour lesquels on perçoit une « résonance » ? Sur un graphe, comparer vos sélections à la fractale de Farey que l'on construira graphiquement. Aide : utiliser/consulter le [site web just intervals](#).



**Exercice 5. (TP) « Perception des timbres et illusion de la basse virtuelle ».**

Superposer plusieurs sons purs (entre 2 et 10) parmi les fréquences  $f, 2f, 3f, \dots, 13f$  d'une fréquence basse  $f$  fixée. Par exemple  $f = 110\text{Hz}$  ( $A_3$ ). Trouver pour quelles combinaisons on entend  $f$  ou  $2f$  alors qu'elle n'est pas présente (bien vérifier qu'elle n'est pas présente à l'aide de l'appli **Spectroid** par exemple).

Suggestions :

- Consulter la vidéo [Auditive illusion with just intervals](#).
- Consulter la vidéo [Compare harmonics and equal temperament](#)
- Pour deux notes, essayer le rapport  $\frac{f_2}{f_1} = \frac{7}{5}$  puis  $\frac{f_2}{f_1} = \frac{10}{7}$ . Quelle basse virtuelle entendez vous ? quel est le lien avec la **substitution tritonique** en musique ?

**Exercice 6. (TP) « Localisation 3 dimensionnelle du son »**

Essayer de reproduire les expériences décrites [ici](#), **perception 3D**. Validez vous les conclusions ?

**Matériel utilisé :**

- Ordinateur, micros, haut parleurs, carte son, quelques instruments de musique, casques, pâte à modeler.



## 2 Physique des instruments

**Rappel de cours :**

- En simplifiant, il y a deux types d'instruments harmoniques (i.e. produisant des notes périodiques) :
  1. Note musicale par apport d'énergie initial et ensuite vibration propre du matériau (corde de piano, clavecin, guitare, xylophone etc). Pour ces instruments, le spectre de vibration doit être presque harmonique.

2. Note musicale, par oscillations entretenues (flûte, trompette, violon etc). [Video de structures périodiques](#) de l'air dans une flute. [Bowed violin string in slow motion](#)

- Modèle de Helmholtz de la corde entretenue par un archet.
- Modèle de Helmholtz du résonateur sonore.
- article [Pour La science 2018 n494 p.88.](#) sur le chant des verres et le son d'une tasse.

**Exercice 7.** (TP) « **Spectre des harmoniques d'instruments** ». par enregistrement et transformée de Fourier, mesure du spectre de fréquence de différents instruments, et observer la répartition de l'énergie entre les harmoniques. Faire des schémas. Avec le temps comment l'énergie de chaque harmonique décroît ?

- Voix humaine,
- corde pincée ou frappée
- corde violon entretenue,
- flûte
- bouteille (oscillateur Helmholtz)
- cloche
- Sons d'animaux (chants d'oiseaux, brame du cerf, miaulements, etc)

**Exercice 8.** (TP) « **Physique de l'archet** »

On filme au ralenti le mouvement de l'archet. Comparer au modèle simple de Helmholtz.

**Exercice 9.** (TP) « **Résonateur de Helmholtz** »

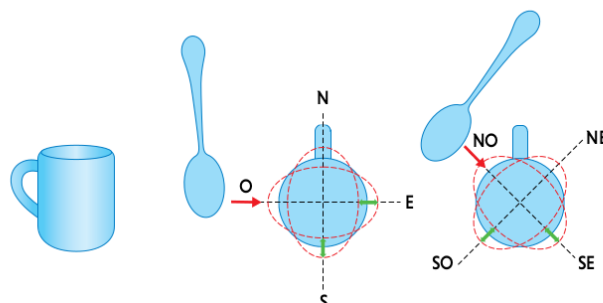
Son d'une cannette de bière, partiellement remplie d'eau. Tester le modèle élémentaire du résonateur Helmholtz. Référence : [note de cours, section B8.](#)

**Exercice 10.** (TP) « **Verre qui chante et son d'une tasse** »

Son d'un verre qui chante, cf article [Pour La science 2018 n494 p.88.](#) Vérifier le(s) son(s) d'une tasse.

### UNE ANSE, DEUX MODES DE VIBRATION

**E**n tapotant avec une cuillère une tasse dotée d'une anse, le bord du récipient se met à vibrer selon deux modes possibles. Si l'on tapote aux points cardinaux N, O, S ou E, le mode de vibration excité est celui dont l'un des axes est aligné avec l'anse (qui se trouve donc sur un ventre de vibration radiale). Si l'on frappe la tasse aux points NE, SE, SO ou NO, l'anse se trouve sur un nœud de vibration radiale. Cela correspond à un autre mode de vibration, qui produit une note différente. Si la cuillère frappe un point intermédiaire, les deux modes de vibration sont excités.



**Matériel utilisé :**

- Utilisation d'instruments de musique.
- Bouteille vide, verre, tasse.
- Caméra rapide pour filmer le contact archet/corde de violon. [Bowed violin string in slow motion](#)
- Effet Schlieren stroboscopique (?) [Video de structures périodiques](#)