Université Grenoble Alpes. Licence 3 Physique.
TD de musique et physique. Frédéric Faure.

TD 4. **Perception des sons**

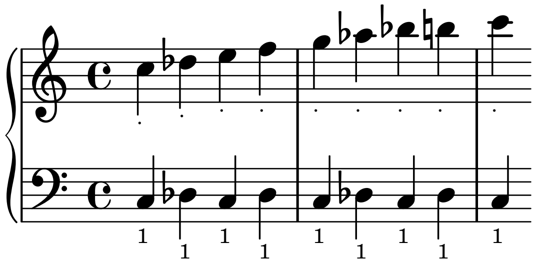
Table des matières

1 Intensités, pitch, timbre et phases **1**

2 Intervalles justes **2**

Rappels : bien se rappeler des notions suivantes, étudiées dans les exercices précédents :

- 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 φ, amplitude A. Schéma.
- Formule de passage entre la fréquence f et le pitch MIDI x.
- Voici la **suite des 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 les numéros d'harmonique $n_1, n_2 \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$.



1 Intensités, pitch, timbre et phases

Exercice 1.1. La perception précise du pitch se fait elle au niveau de l'oreille interne ou au niveau du cerveau ?

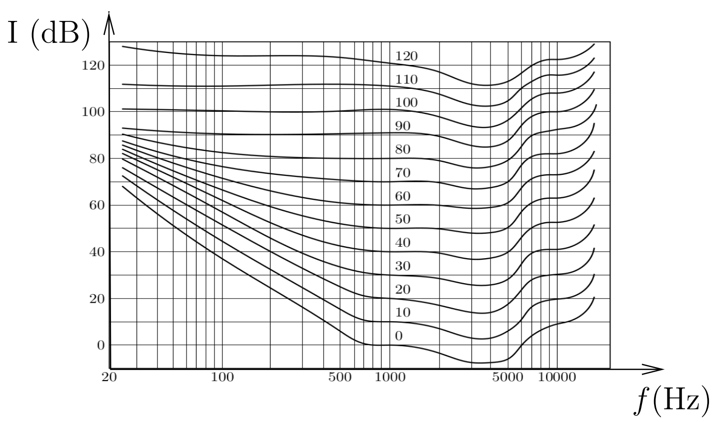


FIGURE 1.1 – courbes isophones de Fletcher-Muson

Exercice 1.2. D'après les courbes isophones de la figure 1.1, si on mixe un duo basse à 100Hz et flute à 1000Hz au niveau de 30dB, et que l'on souhaite faire le même rendu sonore à 90dB, il faudra augmenter les niveaux de la basse et de la flûte respectivement de combien de dB sur l'équalizeur ?

Exercice 1.3. Pourquoi un son aigu intense ne masque pas des sons graves plus faibles ?

Exercice 1.4. Quel effet ressent-on si change au hasard la phase des signaux sinusoidaux des notes d'un accord ?

2 Intervalles justes

En musique, un **intervalle juste** est constitué de deux notes, de fréquence $f_1, f_2 \in \mathbb{R}$ telles que le rapport de fréquences qui est un nombre rationnel :

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{a}{b}, \quad a, b \in \mathbb{N} \setminus \{0\}.$$

L'importance de ces intervalles vient du fait que ce sont les intervalles que l'on trouve entre les harmoniques d'un signal périodique, et donc que notre cerveau analyse de façon préférentielle (c'est hypothétique, voir cette conférence de Christine Petit). Il y a une structure mathématique naturelle dans les nombres rationnels, étudiée depuis l'antiquité. Cette structure riche se manifeste dans la richesse des règles harmoniques en musique.

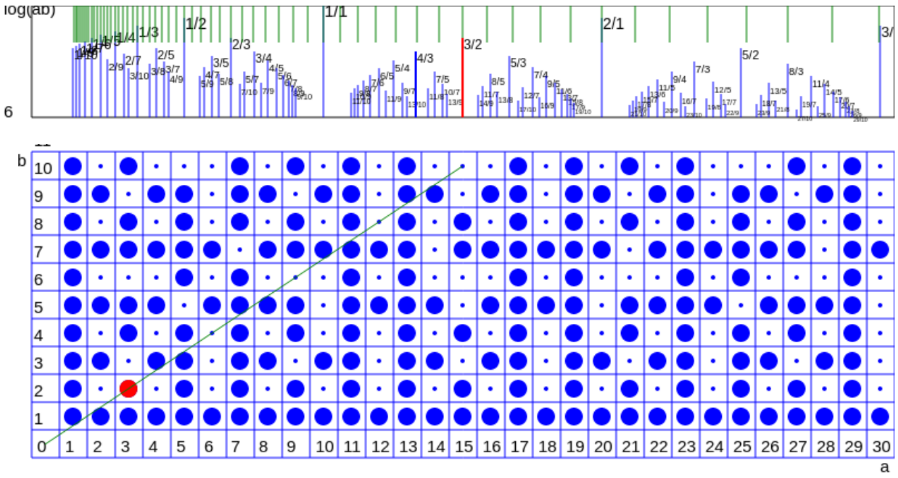
Exercice 2.1. Si on écoute simultanément des harmoniques de C_3 (voir figure **??**), quelle note percoit t-on ? Compléter le tableau

Harmoniques simultanées :	4, 5, 6, 7	4, 6, 8, 10	4,6,8,11	6,9,12,15	6,9,13,14
Note percue :					

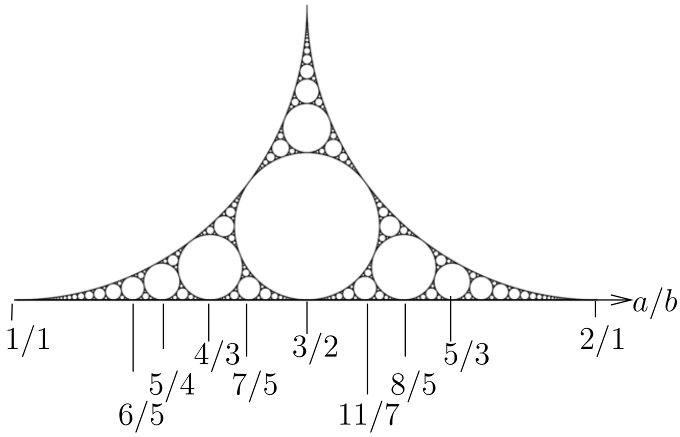
Exercice 2.2. « **Verger d'Euclide des rationnels** ».

Une fraction est irréductible $\frac{a}{b}$ si elle ne peut pas se simplifier, donc si a, b sont premier entre eux.

1. Dans le plan, avec les axes $a \in \{1, \ldots, 20\}$ et $b \in \{1, \ldots 10\}$ dessiner les points (a, b) qui sont premiers entre eux (retrouver le dessin ci-dessous)
2. A partir de la suite des harmoniques, identifier les fractions correspond aux intervalles justes musicaux simples $\frac{a}{b}$: unisson, octave, quinte, quarte, tierces majeure et mineure, triton, sixte, septieme.
3. Trouver un moyen graphique de représenter ces intervalles et de les comparer aux intervalles du tempérament égal. Aide : considérer les point d'intersection $I = D_{(a,b)} \cap H$ entre la droite D passant par $(0, 0)$ et (a, b) et la droite horizontale H passant par $(0, b_0)$ avec b_0 arbitraire. Montrer que $I = b_0 \left(\frac{a}{b}, 1\right)$. Utiliser/consulter le site web just intervals.



4. Optionnel : écrire un programme (python) qui fait ce dessin précisément et fait apparaître la **fractale de Thomae**.
5. Optionnel : dessiner la fractale des cercles d'Appolonius et montrer que cela donnes les même positions, et donc les intervalles juste en musique.



Exercice 2.3. « Accords justes ». Le tonnetz est une représentation d'un nombre rationnel $\frac{a}{b}$ par les exposants $n_2, n_3, n_5, n_7, \ldots \in \mathbb{Z}$ d'après la décomposition d'Euclide :

$$\frac{a}{b} = 2^{n_2} 3^{n_3} 5^{n_3} 7^{n_7} \ldots$$

1. On considère seulement les axes $n_3, n_5, n_7 \in \mathbb{Z}$, associés aux nombres premiers $\{2, 3, 5, 7\}$ (mais sans représenter l'axe 2) formant ainsi un réseau $\mathbb{Z}^3$ appelé le « **tonnetz** $3, 5, 7$ ». A l'origine $(0, 0, 0)$ placer la note C et de proche en proche placer le nom des autres notes sur les points voisins du réseau.
2. Considérer des ensemble de notes proches, appelés **accords justes**, (3 notes, puis 4 notes, puis 5 notes) et les identifier comme des accords intéressants en musique.
3. Optionnel : considérer des **mouvements d'accords justes** qui satisfont la règle de conduite des voix (i.e. petit mouvement en fréquence) et reconnaître des cadences intéressantes en musique, comme la résolution du triton, les cadences $II^{m7} \rightarrow V^7 \rightarrow I$, $II^{m,b5,7} \rightarrow V^7 \rightarrow I^m$ ou la grande cadence

$$I^{maj7} \rightarrow IV^{maj7} \rightarrow VII^{m,b5,7} \rightarrow III^{m7} \rightarrow VI^{m7} \rightarrow II^{m7} \rightarrow V^7 \rightarrow I^{maj7}$$

.