Nom:............................ Prénom:............................ Classe:.................... Date: ....

Du son à la gamme

Objectifs	Classe
☐ Un signal périodique de fréquence f se décompose en une somme de signaux sinusoïdaux de fréquences multiples entières de f. Le son associé à ce signal est un son composé. f est appelé fréquence fondamentale, les autres fréquences sont appelées harmoniques. ☐ La corde tendue d'un instrument à cordes émet en vibrant un son composé dont la fréquence fondamentale ne dépend que de ses caractéristiques (longueur, tension, masse par unité de longueur). Dans les instruments à vent, un phénomène analogue se produit par vibration de l'air dans un tuyau. ☐ En musique, un intervalle entre deux sons est défini par le rapport de leurs fréquences fondamentales. Deux sons dont les fréquences sont dans le rapport 2/1 correspondent à une même note, à deux hauteurs différentes. L'intervalle qui les sépare s'appelle une octave. Une gamme est une suite finie de notes réparties sur une octave.	1ère ES **Durée** 1 h

Sur la paillasse

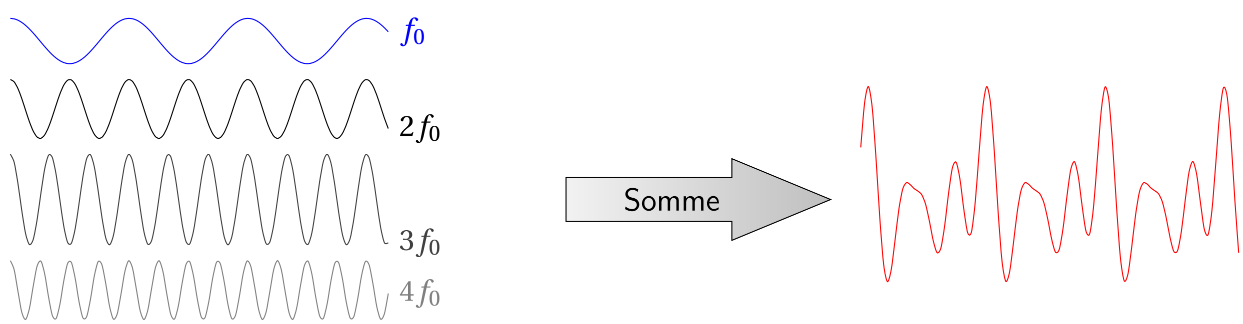
- Une guitare,
- Smartphone avec l'application *phyphox*.

https://phyphox.org/download/

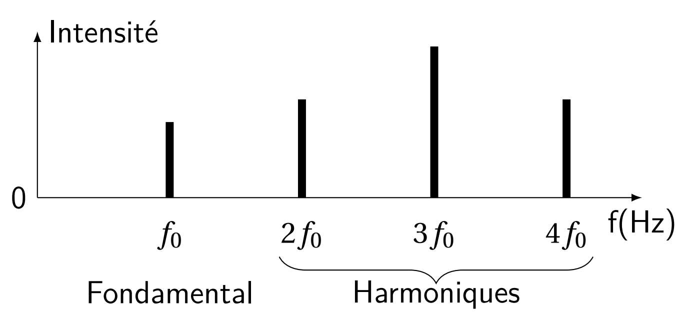
1 Décomposition de Fourier d'un son

Document 1: Décomposition de Fourier

Tout signal périodique, de fréquence f_0 (la **fondamentale**) est la somme de plusieurs signaux sinusoïdaux (purs) de fréquences multiples entières de f_0 appelées **harmoniques**.

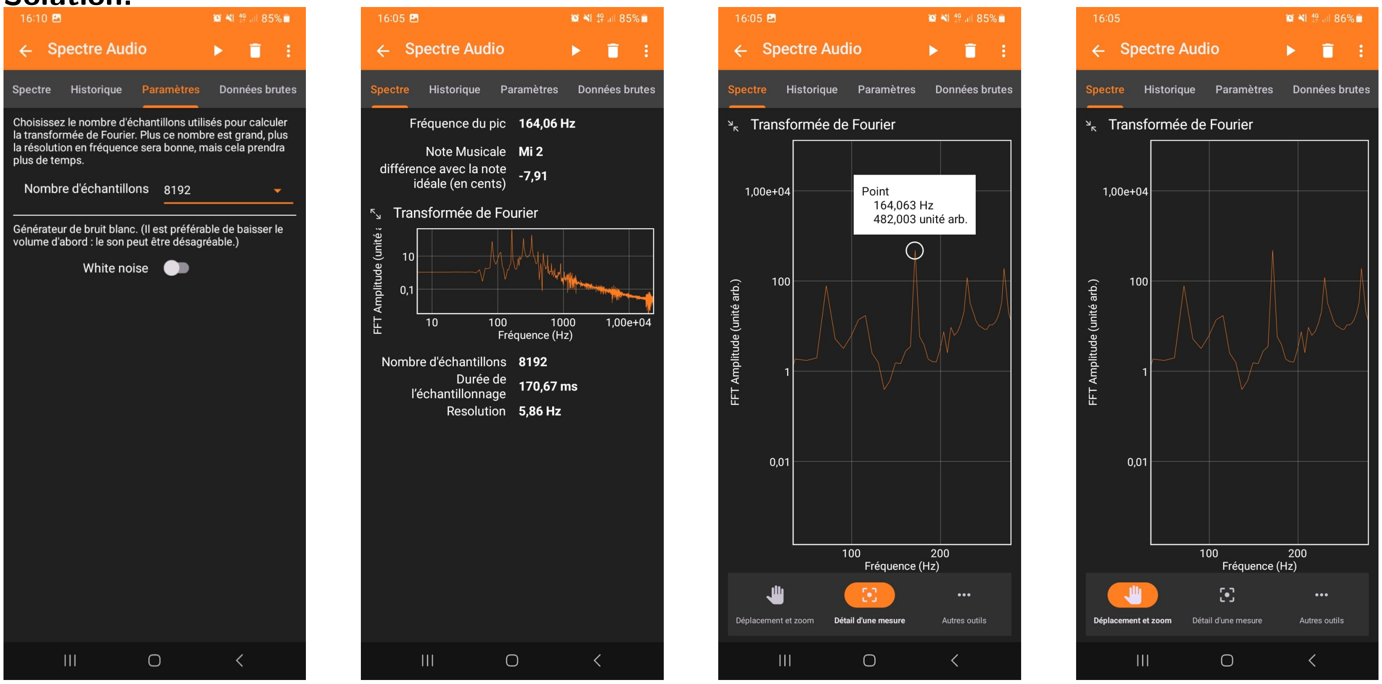


Plutôt que de représenter tous les signaux (fondamental et harmoniques), on préfère le **spectre de fréquences** qui montre les différents harmoniques en abscisse et leur intensité relative en ordonnée. C'est une décomposition de **Fourier**.



1. Suivre le protocole ci-dessous.

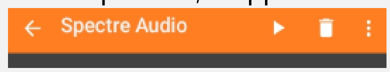
Solution:

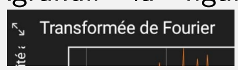


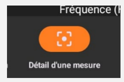
Note	Fréquence (Hz)
Do1	65
Do#1	69
Ré1	73
Ré#1	78
Mi1	82
Fa1	87
Fa#1	93
Sol1	98
Sol#1	104
La1	110
La#1	117
Si1	123
Do2	131
Do#2	139
Ré2	147
Ré#2	311
Mi2	165
Fa2	175
Fa#2	185
Sol2	196
Sol#2	208
La2	220
La#2	466
Si2	247
Do3	262
Do#3	277
Ré3	294
Ré#3	311
Mi3	330
Fa3	349
Fa#3	370
Sol3	392
Sol#3	415
La3	440
La#3	466
Si3	494

Table 1: Fréquence de quelques notes

Mesure de spectre de la corde de guitare

- ☐ Ouvrir l'application *phyphox*.
- ☐ Se rendre dans le menu "Acoustique" puis "Spectre audio".
- ☐ Dans "paramètres", augmenter le nombre d'échantillons à 8192.
- ☐ Revenir dans "spectre", s'approcher de la guitare et cliquer sur "play" 

- ☐ Au bout de quelques secondes, cliquer sur "pause".
- ☐ Agrandir la figure en cliquant sur la double flèche 

puis en bas sur détail de la mesure. 

- ☐ Cliquer sur les pics du spectre de Fourier pour obtenir sa fréquence.

2. Donner les fréquences des 4 pics les plus importants.

Solution: On trouve:
- $f_0 = 82\,\text{Hz}$
- $f_1 = 164\,\text{Hz}$
- $f_2 = 246\,\text{Hz}$
- $f_3 = 328\,\text{Hz}$

3. Qu'ont ces fréquences en commun ?

Solution: Ces fréquences sont des multiples de la fréquence f_0, la fréquence fondamentale:
- $f_0 = 82\,\text{Hz}$
- $f_1 = 164\,\text{Hz} \approx 2\,f_0$
- $f_2 = 246\,\text{Hz} \approx 3\,f_0$
- $f_3 = 328\,\text{Hz} \approx 4\,f_0$

4. Quelle est la note jouée par la corde la plus grave de la guitare ?

Solution: La note de la fréquence fondamentale est Mi1 car elle correspond à la fréquence $f = 82\,\text{Hz}$. Les harmoniques Mi2, Mi3 et Si2 sont aussi jouées.

2 Émission d'un son par un instrument

Lorsqu'une corde tendue est mise en vibration, elle produit une onde stationnaire qui est à la base du fonctionnement des instruments à cordes (guitare, violon, piano...).

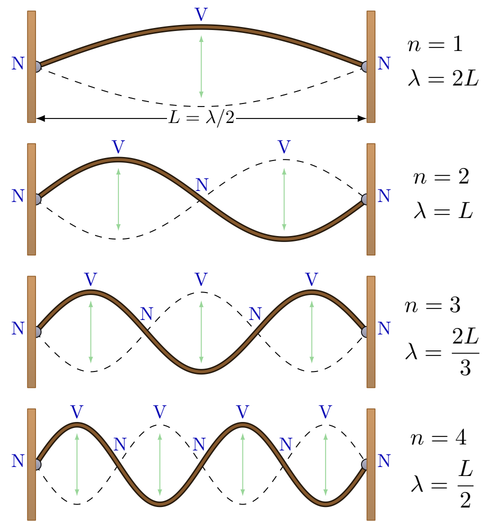
Document 2: Onde stationnaire

En physique ondulatoire, une onde stationnaire est une **oscillation locale dans un milieu clos, qui ne se propage pas**. On appelle les points où l'amplitude est nulle des **nœuds** de vibration, et ceux où l'amplitude est maximale des **ventres** de vibration.

Document 3: Modes propres de vibration

Les fréquences auxquelles la corde peut vibrer sont appelées fréquences propres:

- Fréquence fondamentale (f_0) : mode de vibration le plus simple, correspondant à une longueur d'onde égale à deux fois la longueur de la corde.
- Harmoniques : modes de vibration multiples de la fréquence fondamentale ($f_2 = 2f_0$, $f_3 = 3f_0$, etc.).



5. Compléter la figure ci-dessus en indiquant:
   (a) les nœuds et les ventres de vibrations des différentes ondes par les lettres N et V.
   (b) le lien entre la longueur L de la corde et la longueur d'onde λ.
   (c) la fréquence de vibration de chaque onde stationnaire.

BILAN

Solution: Le son d'un instrument de musique est un **son composé** dont la composition, qui dépend des caractéristiques de l'instrument (longueur, masse linéique, et tension), est la somme de la fréquence propre de l'instrument et de ses harmoniques.

3 Intervalle et consonance

Document 4: Intervalle

Le rapport $\frac{f_2}{f_1}$ entre deux notes de fréquences f_1 et f_2 telles que $f_2 > f_1$ s'appelle un **intervalle** en musique.

6. Calculer les intervalles entre la fondamentale et les harmoniques du spectre de la corde de guitare. Faire de même entre les harmoniques.

Solution:

- $\frac{f_1}{f_0} = \frac{164\,\text{Hz}}{82\,\text{Hz}} = 2$
- $\frac{f_2}{f_0} = \frac{246\,\text{Hz}}{82\,\text{Hz}} = 3$
- $\frac{f_3}{f_0} = \frac{328\,\text{Hz}}{82\,\text{Hz}} = 4$
- $\frac{f_2}{f_1} = \frac{246\,\text{Hz}}{164\,\text{Hz}} = 1{,}5 = \frac{3}{2}$
- $\frac{f_3}{f_1} = \frac{328\,\text{Hz}}{164\,\text{Hz}} = 2$
- $\frac{f_3}{f_2} = \frac{328\,\text{Hz}}{246\,\text{Hz}} = 1{,}333 = \frac{4}{3}$

Document 5: Octave

Lorsqu'un intervalle entre deux notes vaut **2**, on appelle cet intervalle une **octave**. Deux notes à l'octave portent le même nom.

7. A-t-on une ou des octaves dans les notes du spectres précédent ?

Solution: On remarque que $\frac{f_1}{f_0} = 2$, tout comme $\frac{f_3}{f_1} = 2$. On a donc une octave entre f_0 et f_1 ainsi qu'entre f_3 et f_1.

Document 6: Consonance

Deux sons, joués ensemble ou l'un après l'autre, sont **consonants** si leur association est **agréable à l'oreille**.

8. Jouer, à l'aide du générateur de son de phyphox, deux sons simultanément, dont les fréquences sont celles mesurées dans le spectre de la corde de guitare. Que remarque-t-on ?

Solution: On remarque que ces sons sont agréables à l'oreille: ils sont consonants.

9. Mettre une des deux fréquence au hasard. Que remarque-t-on ?

Solution: On remarque que ces sons sont désagréables à l'oreille: ils sont dissonants.

BILAN

Solution: Deux notes de fréquences f_1 et f_2 sont consonantes si l'intervalle $\frac{f_2}{f_1}$ est une **fraction entière** (c'est-à-dire un nombre entier divisé par un autre nombre entier).