

À VOS PUPITRES !

UNE ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE POUR ANALYSER DES SONS AVEC UN SMARTPHONE.

DANS CETTE ACTIVITÉ, ON FAIT QUOI ?



On cherche à enregistrer et à déterminer les caractéristiques de sons émis par des instruments ou par la voix. On réalisera aussi le spectre des sons enregistrés. Les enregistrements et leur exploitation seront réalisés avec un smartphone.

L'ÉCHAUFFEMENT « PHYPHOX »

Télécharger l'application Phyphox pour découvrir comment l'utiliser sur ce tutoriel : <https://tinyurl.com/PhyphoxTuto>

Utiliser l'application Phyphox, onglet « générateur de son ». Augmenter la valeur de la fréquence du son émis et noter la valeur de la fréquence maximale d'un son audible. Faire l'expérience avec plusieurs personnes d'âges différents (frères, sœurs, parents, grands-parents...). Que constatez-vous ?



DU CÔTÉ DES MODÈLES



Signal périodique

Le capteur enregistre l'amplitude du signal sonore reçu en fonction du temps. On peut souligner que l'ordonnée est improprement nommée intensité. Dans le cas d'un signal périodique : le même motif se répète identique à lui-même à intervalle de temps régulier. La durée de ce motif est appelée « période » (en seconde). Le nombre de fois où ce signal se répète pendant une seconde est appelé « fréquence » (en hertz, Hz). Ainsi 400 Hz signifie que le motif se répète 400 fois par seconde. Période (T) et fréquence (f) sont reliées par la relation :



$$f = 1 / T \text{ (avec } f \text{ en Hz et } T \text{ en s).}$$

Analyse spectrale d'un signal sonore périodique

Un signal sonore périodique peut se décomposer en une somme de signaux sinusoïdaux. Le spectre du son est composé de plusieurs pics : le premier correspond à la fréquence de la fondamentale, les autres pics correspondent aux harmoniques dont les fréquences sont des multiples de la fréquence de la fondamentale. La fréquence de la fondamentale donne la hauteur du son.

L'EXPÉRIENCE N°1 : LA HAUTEUR D'UN SON



Enregistrer deux signaux sonores correspondant à deux notes différentes d'un même instrument de musique à l'aide de l'application Phyphox, onglet « autocorrélation audio » puis « données brutes ». Si vous ne disposez pas d'instruments de musique, vous pouvez chanter deux notes différentes.

1) Observer et décrire le signal.

2) Déterminer la période puis la fréquence du son pour les deux signaux sonores précédents, comparer aux valeurs indiquées sur l'application, onglet « autocorr. ».

Pour aller plus loin :



Taper sur un tube : une colonne d'air soumise à une perturbation peut entrer en vibration pour certaines fréquences particulières f_n . À chacune de ces fréquences f_n est associée un mode propre de vibration de la colonne d'air appelé mode harmonique de rang n . La plus petite de ces fréquences, notée f_1 , est appelée fréquence fondamentale.

Les tubes cylindriques ouverts à une extrémité et fermés à l'autre résonnent approximativement à des fréquences de :

$$f_n = (2n-1) v / 4L$$

où « n » est un nombre entier (1, 2, 3...) représentant le mode de résonance, « L » est la longueur du tube et « v » est la vitesse du son dans l'air (qui est approximativement de 344 mètres par seconde à 20 °C et au niveau de la mer).

À partir de la vidéo <https://youtu.be/K5nbA9xdFP0>, déterminer la valeur de la fréquence du son émis par le tuyau PVC et vérifier que le résultat est cohérent avec la formule donnant la fréquence de résonance d'un tube en fonction de sa longueur.

L'effet Doppler : cet effet se manifeste pour les ondes sonores par la perception de la hauteur du son émis par une source sonore différente selon qu'elle soit fixe ou en mouvement par rapport au récepteur. La hauteur d'un son mesurée par un récepteur est différente selon que la source sonore se rapproche du récepteur (le son étant alors perçu plus aigu) ou s'en éloigne (le son est alors perçu plus grave).

Dans la vidéo <https://youtu.be/88Pvmxn2Kk8>, étudier la variation de la fréquence du son émis par le klaxon suivant que la voiture s'approche ou s'éloigne. Pour la mesure, on peut utiliser l'onglet « historique des fréquences ».

L'EXPÉRIENCE N°2 : SON PUR, SON COMPLEXE



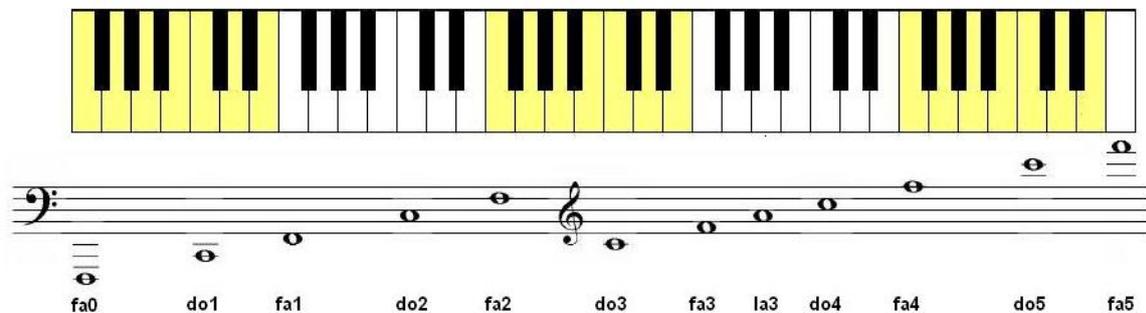
Enregistrer le signal sonore émis par un diapason (La3) et le La3 d'un instrument de musique à l'aide de l'application Phyphox, onglet « autocorrélation audio ». À la maison, on peut remplacer le diapason par un générateur de son en ligne. Si on ne dispose pas d'instrument de musique, on peut chanter la note.

Observer et comparer les courbes associées au signal émis par le diapason et au signal émis par l'instrument.

L'EXPÉRIENCE N°3 : LES SPECTRES



Enregistrer le signal sonore émis par un diapason La3 (440 Hz), et le La3 d'un instrument de musique à l'aide de l'application Phyphox, onglet « spectre audio » ou l'application Advanced spectrum . À la maison, on peut remplacer le diapason par un générateur de son en ligne. Si on ne dispose pas d'instrument de musique, on peut chanter la note.



- 1) Comparer le spectre d'un son pur et celui d'un son complexe.
- 2) Dans le cas d'un son complexe, vérifier que les fréquences des harmoniques sont des multiples de la fréquence de la fondamentale.

L'EXPÉRIENCE N°4 : QUINTE, OCTAVE



Enregistrer les signaux sonores correspondant à un Do3 et un Do4 d'un instrument de musique à l'aide de l'application Phyphox, onglet « autocorrélation audio ».

- 1) Noter les valeurs des deux fréquences et calculer le rapport f_{do4}/f_{do3} . Si l'instrument est bien accordé, ce rapport vaut 2; conclure.



Enregistrer les signaux sonores correspondant à un Do3 et un Sol3 avec un instrument de musique à l'aide de l'application Phyphox, onglet « autocorrélation audio ».

- 2) Noter les valeurs des deux fréquences et calculer le rapport f_{sol}/f_{do} . Si l'instrument est bien accordé, ce rapport vaut 3/2; conclure.

L'octave et la quinte sont des intervalles consonants. Les deux notes d'un intervalle consonant ont des harmoniques communes ce qui le rend harmonieux.



Réaliser le spectrogramme des signaux sonores associés aux deux notes successivement : Do3 et Sol3 (quinte), puis Do3 et Do4 (octave).

- 2) Vérifier que les signaux sonores associés aux deux notes de l'intervalle ont bien des harmoniques communes.

POUR ALLER PLUS LOIN

Résoudre cette énigme :

<https://view.genial.ly/5eef7a5a8146ce0d750c1182/interactive-content-timer-escape-son>

FICHE PROF : À VOS PUPITRES !

Ces activités expérimentales ont été conçues à l'initiative de l'Inspection Générale en collaboration avec l'équipe "[La Physique Autrement](#)" (Univ. Paris-Saclay/CNRS). Textes et vidéos : Julien Bobroff, Frédéric Bouquet, Jean Lamerenx, Patricia Marchand, Jacques Vince. Schémas : Anna Khazina.



NIVEAU : 1ère Enseignement scientifique



DIFFICULTÉ CONCEPTUELLE - EXPLOITATION :

immédiat facile demande temps et savoir-faire



RÉALISATION PRATIQUE :

débutant familiarisé confirmé



DURÉE :

Expérience 1 : 15 min et plus si on choisit une proposition pour aller plus loin

Expérience 2 : 15 min

Expérience 3 : 10 min

Expérience 4 : 20 min

Expérience 5 : 20 min

Partie de programme :

4.1 - Le son, phénomène vibratoire	
La banalité du son dans l'environnement cache une réalité physique précise.	
Savoirs	Savoir-faire
<p>Un son pur est associé à un signal dépendant du temps de façon sinusoïdale.</p> <p>Un signal périodique de fréquence f se décompose en une somme de signaux sinusoïdaux de fréquences multiples de f. Le son associé à ce signal est un son composé.</p> <p>f est appelée fréquence fondamentale, les autres fréquences sont appelées harmoniques.</p> <p>La puissance par unité de surface transportée par une onde sonore est quantifiée par son intensité. Son niveau d'intensité sonore est exprimé en décibels selon une échelle logarithmique.</p>	<p>Utiliser un logiciel permettant de visualiser le spectre d'un son.</p> <p>Utiliser un logiciel pour produire des sons purs et composés.</p> <p>Relier puissance sonore par unité de surface et niveau d'intensité sonore exprimé en décibels.</p>
<p>En musique, un intervalle entre deux sons est défini par le rapport (et non la différence) de leurs fréquences fondamentales.</p> <p>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.</p>	

Objectifs pédagogiques de la séance :

	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Exp 4
Déterminer la période d'un signal périodique et en déduire sa fréquence.	X			
Distinguer son pur et son complexe		X	X	
Exploiter le spectre d'un son			X	X

Les prérequis : période d'un signal périodique, fréquence, hauteur, timbre, niveau d'intensité sonore (voir fiche 2nde "en avant la musique !").

Le type d'activité : expérience quantitative pouvant être réalisée chez soi en autonomie, de façon individuelle ou par groupe de 2 ou 3.

Le matériel nécessaire

Appli nécessaire : Phyphox / Physics toolbox suite / spectrum advanced / sonomètre

Capteurs du smartphone utilisés : microphone

Logiciel acquisition : Regressi

Instruments de musique apportés par les élèves ou le professeur

Piano virtuel sur ordi : <https://papiermusique.fr/piano-virtuel.php>

Conseils techniques

Dans l'onglet "autocorrélation", choisir le deuxième onglet "données brutes". Et pour comparer la fréquence mesurée, basculer après avoir fait pause sur l'onglet "autocorr."

Avec le générateur de son, on a des harmoniques qui peuvent être visibles sur le spectre mais qui ont une amplitude 10 fois plus petite que celle de la fondamentale.

Modalité de travail entre élèves : élève seul ou groupe de 2 ou 3 élèves (avec répartition des rôles) en cas de problème de disponibilité de matériel.

Modalité d'intervention pédagogique : feuille de consignes communiquée aux élèves.

Cette activité peut être complétée avec la fiche de 2nde "En avant la musique" qui introduit les notions de hauteur, timbre et niveau d'intensité sonore.

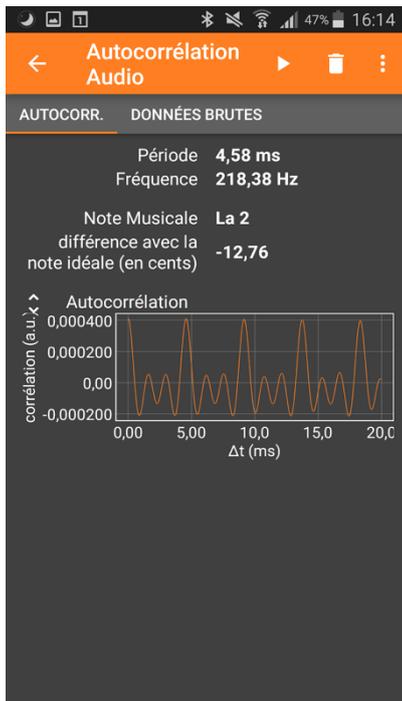
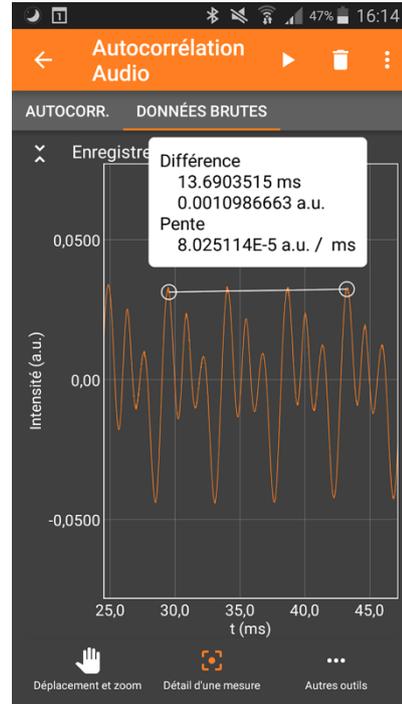
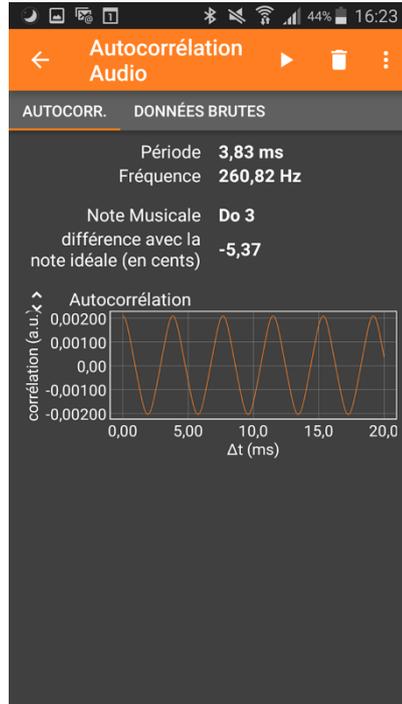
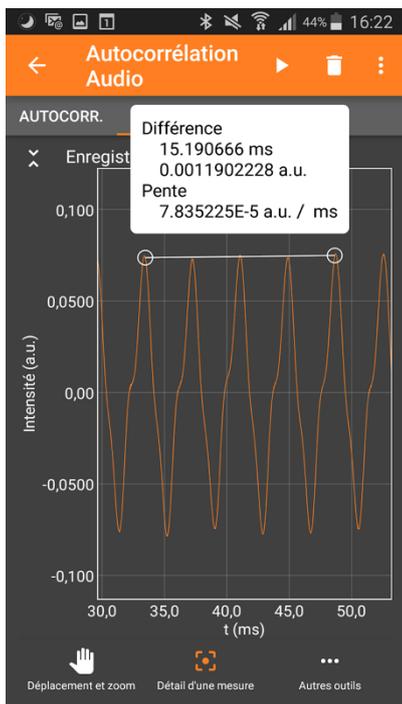
Corrigé détaillé :

Expérience 1 : la hauteur

Enregistrer deux notes différentes d'un même instrument à l'aide de l'application Phyphox, onglet "autocorrélation audio" puis "données brutes". Pour vérifier la valeur obtenue, aller sur l'onglet "autocorr."

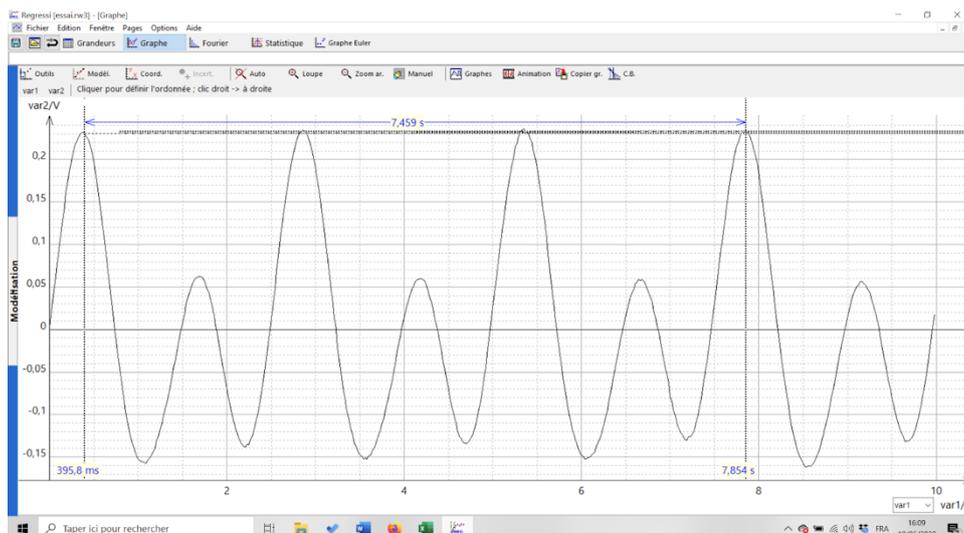
Attention : la courbe représentée dans l'onglet "autocorr." n'est pas le signal sonore (mais le résultat du calcul de l'autocorrélation).

Détermination de la période :



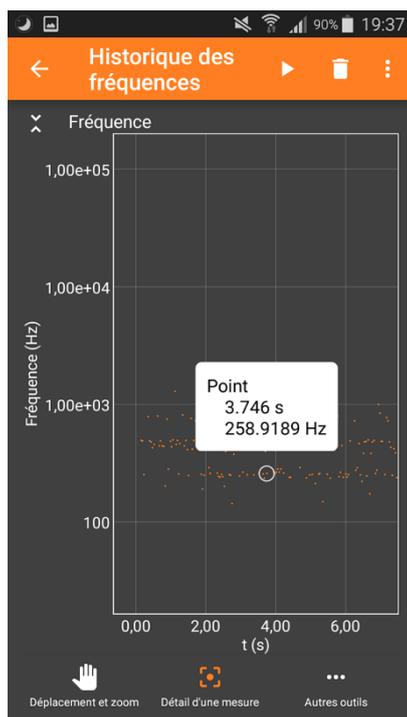
L'application phyphox permet de faire la mesure directement sur le graphe sans passer par un transfert de données sur ordinateur.

On peut aussi récupérer les données sous la forme d'un fichier Excel ("exporter les mesures") et les exploiter avec Regressi (→fichier→nouveau→presse papier puis coller les mesures exportées.)



Pour aller plus loin :

- le tube en PVC mesure 31,5 cm. La fréquence mesurée pour le son émis est d'environ 260 Hz. Par le calcul, on trouve 273 Hz.



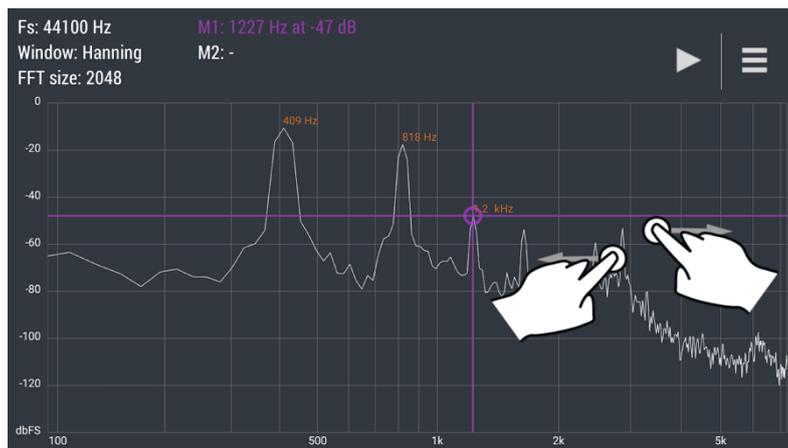
- effet Doppler : pour suivre en continu la fréquence du son émis par le klaxon de la voiture, on peut utiliser les onglets "historique des fréquences" ou "spectre audio→historique".

Expérience 2 : son pur, son complexe

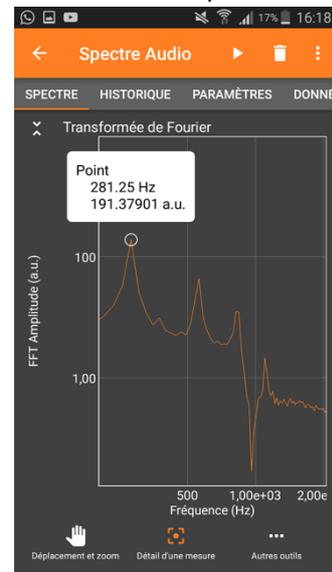
L'allure du son émis par un diapason ou un générateur de son est très lisse, sinusoïdale. L'allure d'un son émis par un instrument, même virtuel, contient des harmoniques.

Expériences 3 : Spectres

Enregistrer le son émis par un diapason La3, et celui émis en jouant le La3 d'un instrument de musique à l'aide de l'application Phyphox, onglet "spectre audio" ou l'application Advanced spectrum.

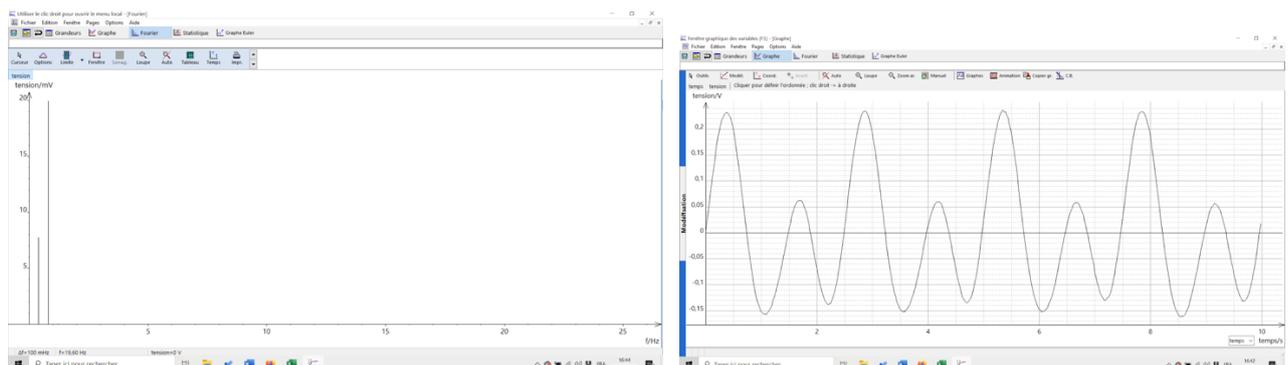


application Advanced spectrum



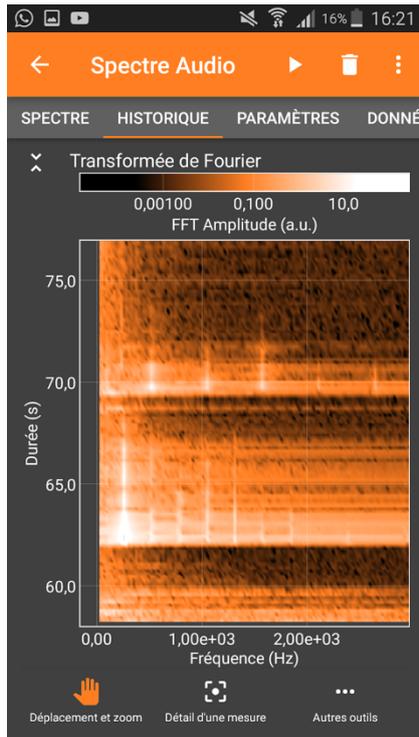
Phyphox

On peut aussi récupérer les données sous forme de fichier Excel ("exporter les mesures") et faire le spectre de Fourier avec Regressi (fichier → nouveau → presse papier puis copier-coller les données du fichier Excel, et enfin faire le spectre de Fourier).

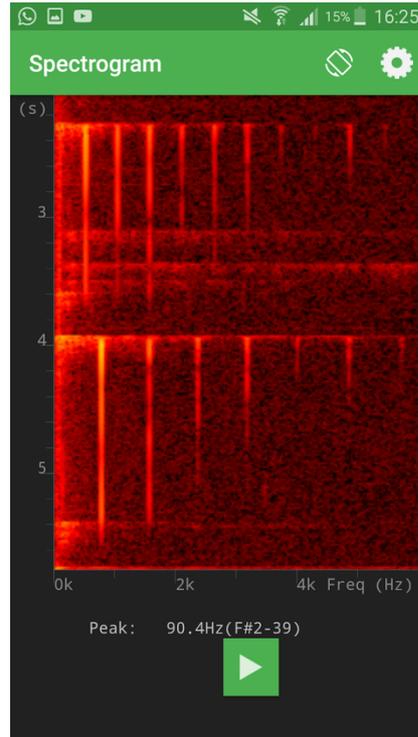


Expérience 4 : Quinte -Octave

Enregistrer les deux notes produites avec un instrument à l'aide de l'application Phyphox, onglet "spectre audio" puis "historique" ou "spectrogram" dans l'application Advanced spectrum. Si on ne dispose pas d'un instrument, on peut utiliser un piano en ligne (par exemple : <https://papiermusique.fr/piano-virtuel.php>).



Deux notes à l'octave



Quinte

Une vidéo sur la construction des gammes et les intervalles consonants :

<https://www.youtube.com/watch?v=cTYvCpLRwao>