



VOIE GÉNÉRALE

2^{DE}

1^{RE}

T^{LE}

Enseignement scientifique

ENSEIGNEMENT

COMMUN

ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE AVEC UN SMARTPHONE À VOS PUPITRES!

Cette activité expérimentale permet d'analyser des sons avec un smartphone.

Une ressource produite
en partenariat avec
l'équipe La Physique
autrement de
l'université Paris-Saclay.

université
PARIS-SACLAY

FACULTÉ
DES SCIENCES
D'ORSAY

Référence au programme

4.1-Le son, phénomène vibratoire

La banalité du son dans l'environnement cache une réalité physique précise.

Savoirs

Un son pur est associé à un signal dépendant du temps de façon sinusoïdale. 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. f est appelée fréquence fondamentale, les autres fréquences sont appelées harmoniques. 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.

Savoir-faire

Utiliser un logiciel permettant de visualiser le spectre d'un son. Utiliser un logiciel pour produire des sons purs et composés.

Relier puissance sonore par unité de surface et niveau d'intensité sonore exprimé en décibels.

4.2-La musique ou l'art de faire entendre les nombres

Savoirs

En musique, un intervalle entre deux sons est défini par le rapport (et non la différence) 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.

Objectifs pédagogiques de la séance

Expérience 1 - Déterminer la période d'un signal périodique et en déduire sa fréquence.

Expérience 2 - Distinguer son pur et son complexe.

Expérience 3 - Distinguer son pur et son complexe. Exploiter le spectre d'un son

Expérience 4 - Exploiter le spectre d'un son.

Retrouvez éducol sur



Les prérequis

Période d'un signal périodique, fréquence, hauteur, timbre, niveau d'intensité sonore (voir fiche 2^{de} "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.

Matériel nécessaire

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

Capteurs du smartphone utilisés : microphone

Logiciel acquisition

Instruments de musique apportés par les élèves ou le professeur

Piano virtuel à l'aide d'un simulateur en ligne

Exemple d'activités pour les élèves**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. Le tutoriel suivant permet de découvrir comment utiliser cette application : [Activité expérimentale avec un smartphone – Tutoriel pour utiliser PHYPHOX](#)

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 :

$f = 1 / T$ (avec f en Hz et T en s).



Retrouvez éducol sur



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.

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 Phypox, 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 ouvert aux deux extrémités

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 m.s^{-1} à 20 °C et au niveau de la mer).

Effectuer un enregistrement en frappant à une extrémité avec la paume de la main. 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).

Fournir un enregistrement de klaxon. 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 ».

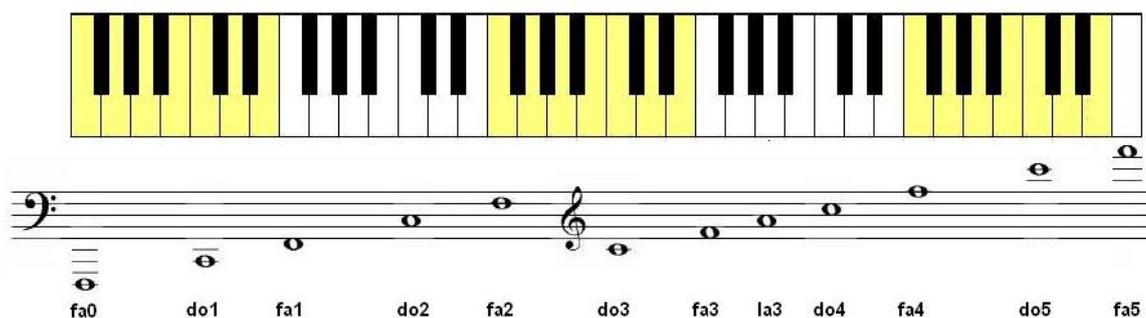
Expérience n°2 : son pur, son complexe

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.

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.

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).

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

Éléments pour le professeur - À vos pupitres !

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

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 la classe de seconde "En avant la musique" qui introduit les notions de hauteur, timbre et niveau d'intensité sonore.

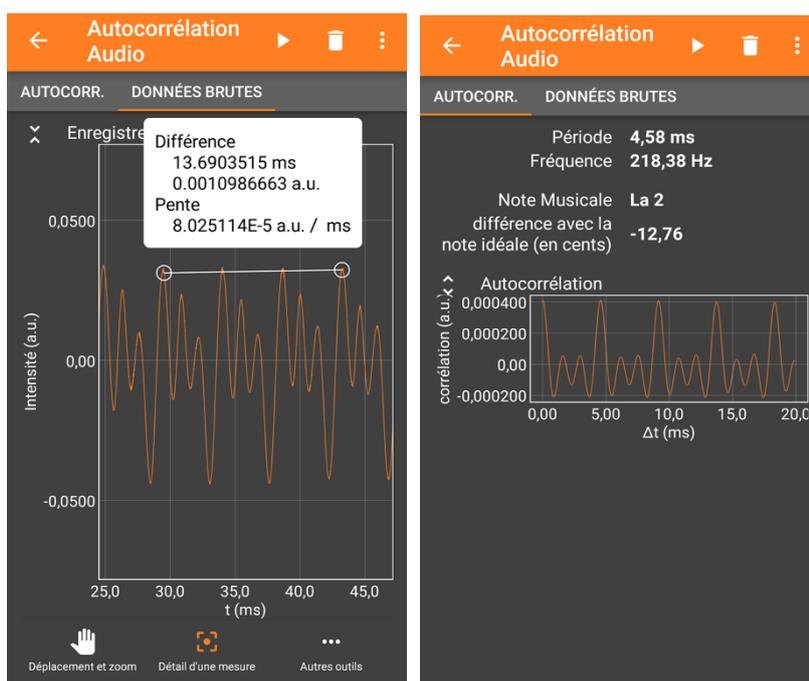
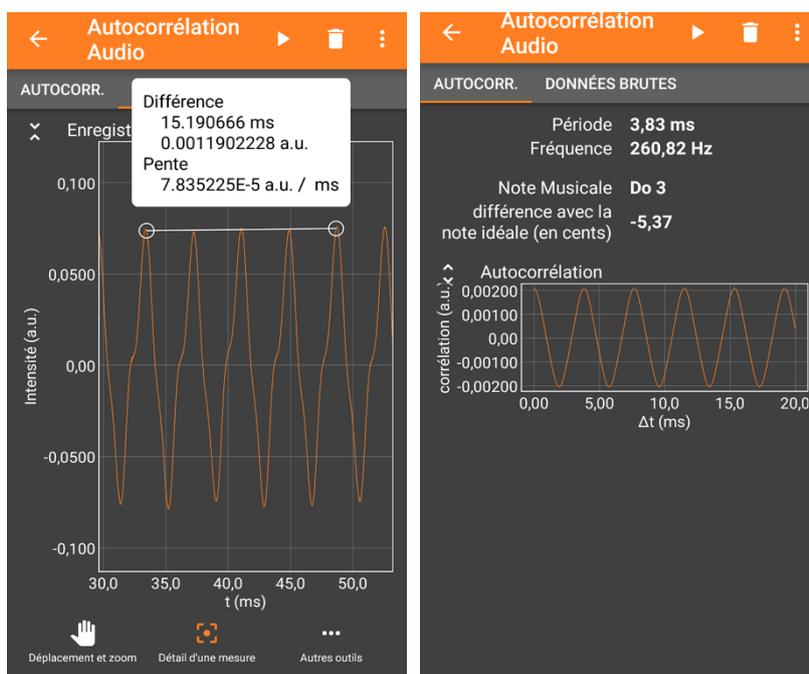
Éléments de correction

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



Retrouvez éducol sur

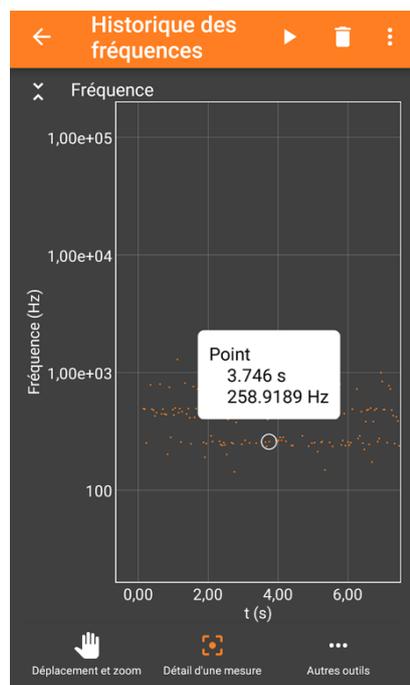


L'application phyphox permet de faire la mesure directement sur le graphe sans passer par un transfert de données sur ordinateur.

On peut aussi récupérer les données sous la forme d'un tableau ("exporter les mesures") et les exploiter à l'aide d'un logiciel de traitement.

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.



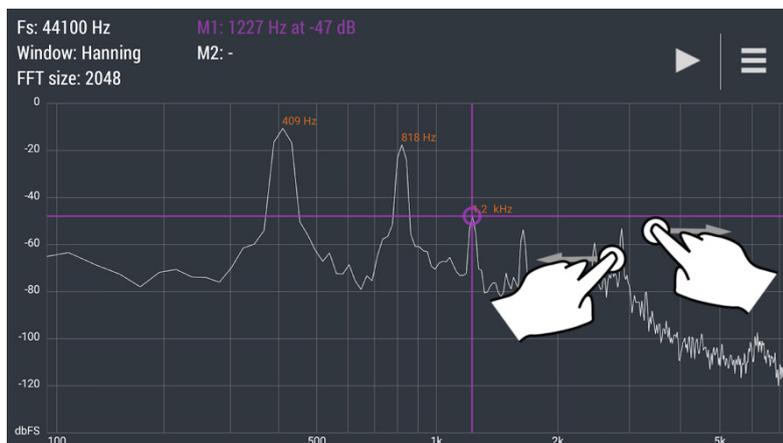
Effet Doppler : pour suivre en continu la fréquence du son émis par le klaxon de la voiture, on peut utiliser les onglets "historique des fréquences" ou "spectre audio→historique".

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

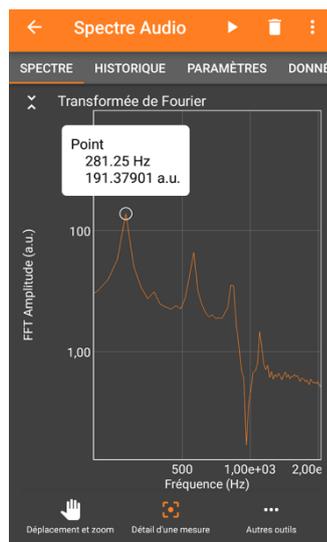
Enregistrer le son émis par un diapason La3, et celui émis en jouant le La3 d'un instrument de musique à l'aide de l'application Phyphox, onglet "spectre audio" ou l'application Advanced spectrum.



Application Advanced spectrum

Retrouvez éducol sur



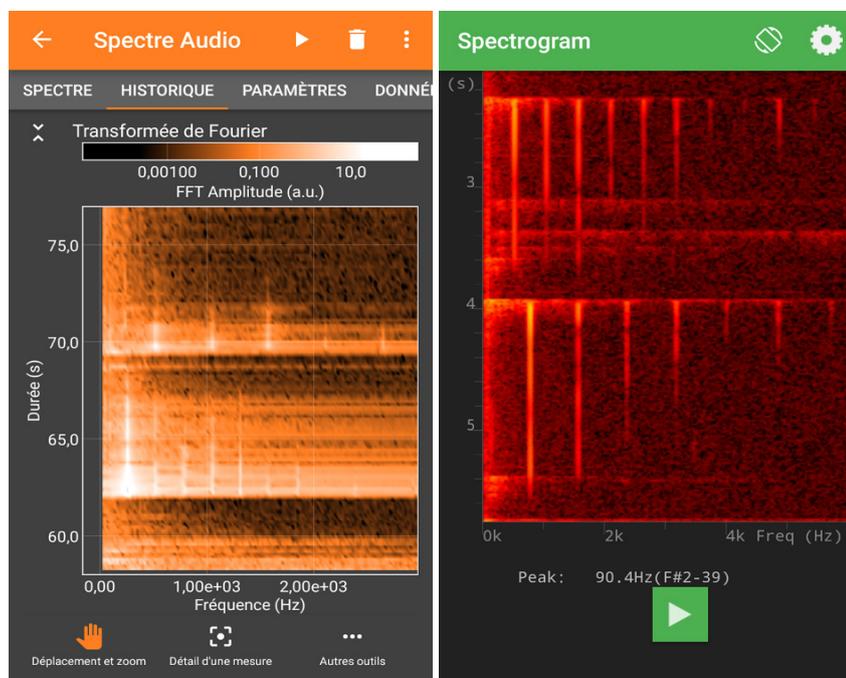


Phyphox

On peut aussi récupérer les données sous forme d'un tableur ("exporter les mesures") et faire le spectre de Fourier à l'aide d'un logiciel de traitement.

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.



Deux notes à l'octave

Quinte

Une vidéo sur la construction des gammes et les intervalles consonants : Les mathématiques de la musique (avec Vled Tapas) — Science étonnante #41.

Retrouvez éducol sur

