



## VOIE GÉNÉRALE ET TECHNOLOGIQUE

2<sup>DE</sup>

1<sup>RE</sup>

T<sup>LE</sup>

Physique-chimie

ENSEIGNEMENT

COMMUN

## ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE AVEC UN SMARTPHONE ET BIEN CHANTEZ MAINTENANT !

Cette activité expérimentale permet d'analyser un son 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

#### Notions et contenus

Signal sonore périodique, fréquence et période. Relation entre période et fréquence.

#### Capacités exigibles et activités expérimentales support de la formation

Définir et déterminer la période et la fréquence d'un signal sonore notamment à partir de sa représentation temporelle.

Mesurer la période d'un signal sonore périodique.

### Objectifs pédagogiques de la séance

#### Expérience 1

Visualiser un signal sonore

#### Expérience 2

Visualiser un signal sonore

Déterminer la période et la fréquence d'une note

#### Expérience 3

Déterminer la période et la fréquence d'une note

Notion de hauteur

### Prérequis

Notion de fréquence : sons audibles, infrasons et ultrasons.

### 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

Capteurs du smartphone utilisés : microphone

Instrument de musique (éventuellement un instrument virtuel en ligne)

Retrouvez éducol sur



## Exemple d'activité pour les élèves

### Dans cette activité, que fait-on ?

On cherche à explorer la représentation du son en fonction du temps, ainsi que la notion de période et de fréquence.



### 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.](#)

Pour apprendre à utiliser le micro, un petit échauffement ludique est proposé à l'aide de l'image suivante :

Trouve comment manipuler ton smartphone pour qu'il affiche cette courbe. Lance l'autocorrélation audio sur phyphox. A toi de jouer !

Période 4,68 ms  
Fréquence 213,76 Hz  
Note Musicale La 2  
différence avec la note idéale (en cents) -49,78

Autocorrélation  
corrélation (a.u.)  
0,0100  
0,00500  
0,00  
-0,00500  
0,00 5,00 10,0 15,0 20,0  
 $\Delta t$  (ms)

**L'énigme :  
LE SON LE PLUS PUR**

N'hésite pas à utiliser ta voix pour voir l'effet sur le smartphone !

université PARIS-SACLAY FACULTÉ DES SCIENCES D'ORSAY  
Retrouvez tous les défis sur [vulgarisation.fr](http://vulgarisation.fr)  
Réalisation : Anna Khazra - La Physique Autrement et le COMPAS

Réponse : chante une note pure  
dans le micro de ton smartphone et observe l'effet sur le graphique de la note que tu entends.

Cliquer [ici](#) pour que l'image s'affiche en taille réelle.

### Du côté des modèles

Le micro produit un signal électrique lorsqu'il est atteint par une onde sonore. La représentation de ce signal en fonction du temps est une image du signal sonore.

Dans certains cas, le signal est périodique : un même motif se répète identique à lui-même à intervalle de temps régulier. La durée du plus court motif qui se répète est appelée "période" (donnée en seconde ou en milliseconde en général).

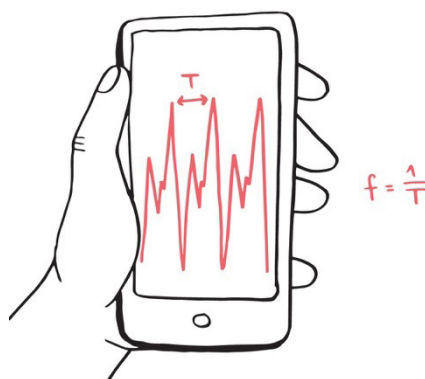
Retrouvez éducol sur



Le nombre de fois où ce signal se répète pendant une seconde est appelé « fréquence », et s'exprime en hertz. Ainsi, pour un signal de fréquence 400 Hz, 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).

### Expérience n°1 : visualisation du signal sonore en fonction du temps

À l'aide de l'application phyphox, lancer l'expérience "mesure du son" de la catégorie "acoustique".



Déclencher l'enregistrement en appuyant sur « play », et chanter une note en continu devant le micro pendant quelques secondes.

Mettre l'expérience sur pause pour figer une représentation qui montre clairement le caractère périodique du son.

1. Faire une copie d'écran du signal, et représenter la période sur le schéma (vous pouvez jouer sur la durée de l'enregistrement et sur le zoom du graphe). Chanter un "a", puis chantez un "o".
2. Comparer la forme du motif qui se répète entre ces deux sons.

Ouvrir un navigateur et chercher un site qui permet de générer un son pur à une fréquence donnée (chercher « online tone generator » ou « générateur de son en ligne »). Émettre un son et observer la forme du signal qui se répète.

3. Comparer cette forme à celles obtenues pour les sons « a » et « o » ?

### L'expérience n°2 : mesure de la période et de la fréquence

À l'aide de l'application phyphox, lancer l'expérience « mesure du son » de la catégorie « acoustique ». Déclencher l'enregistrement en appuyant sur « play » et jouer avec un instrument une note en continu devant le micro.

Mettre l'expérience sur pause pour figer une représentation qui montre clairement le caractère périodique du son.

Utiliser l'outil « Détail d'une mesure » (accessible en cliquant sur le graphe) pour mesurer la période directement sur le graphe.

1. Mesurer la période du signal. Pour mesurer la période plus précisément, mesurer le temps entre plusieurs motifs successifs (quatre par exemple), et diviser cette durée par ce nombre.
2. Refaire la mesure 10 fois sur le même signal. Regrouper les valeurs de toute la classe dans un tableau.
  - a. Calculer la moyenne de la valeur de la période.
  - b. Calculer l'écart-type des mesures.
  - c. Ecrire la valeur de la période obtenue avec son incertitude-type.

### Pour aller plus loin

Le défi : dire « Aaaa » le plus naturellement et déterminer sa fréquence naturelle de parole. Envoyer une copie d'écran avec son résultat à son enseignant.

## L'expérience n°3 : changer de fréquences

À l'aide de l'application phyphox, lancer l'expérience « mesure du son » de la catégorie « acoustique ».

Déclencher l'enregistrement en appuyant sur « play », et, avec un instrument de musique, jouer une note devant le micro.

Mettre l'expérience sur pause pour figer une représentation qui montre clairement le caractère périodique du son.

1. Mesurer la période du signal. Pour mesurer la période directement sur le graphe, utiliser l'outil « Détail d'une mesure » (accessible en cliquant sur le graphe).
2. Recommencer en jouant une note une octave plus haut, puis une octave plus bas. Comment changent les fréquences quand on change d'octave ?

## Deux défis pour aller plus loin !

### Défi n°1

Déterminer la fréquence la plus basse et la fréquence la plus haute que vous arrivez à émettre en chantant un « Aaaa ». Rechercher sur internet quelle est votre tessiture. La tessiture est l'ensemble des notes que vous pouvez chanter.

### Défi n°2 : Qui chante le plus juste ?

Une note la plus proche possible de 300 Hz. L'application phyphox avec l'expérience « autocorrélation » pour vérifier la fréquence votre note. Envoyer une copie d'écran de votre meilleure performance à votre enseignant.

## Éléments pour le professeur - Et bien chantez maintenant !

### Difficulté conceptuelle - exploitation

Immédiat       Facile       Demande temps et savoir-faire

### Réalisation pratique

Débutant       Familiarisé       Confirmé

### Durée

Expérience 1 : 15 min

Expérience 2 : 15 min

Expérience 3 : 20 min

Défis : à ne pas faire en classe, mais en travail complémentaire à la maison

### Conseils techniques

Il faut plutôt utiliser "mesure sonore" que "autocorrélation" (sauf au défi 3 de l'expérience 3). En effet, avec l'expérience Autocorrélation, le calcul de la fréquence est fait automatiquement, et en plus le graphique de l'onglet principal ne représente pas le signal sonore en fonction du temps, mais son autocorrélation.

### Modalité de travail entre élèves

Élève seul ou groupe de 2 ou 3 (avec répartition des rôles) si problème de disponibilité de matériel

### Modalité d'intervention pédagogique

Feuille de consignes communiquée aux élèves.

### Quelques remarques

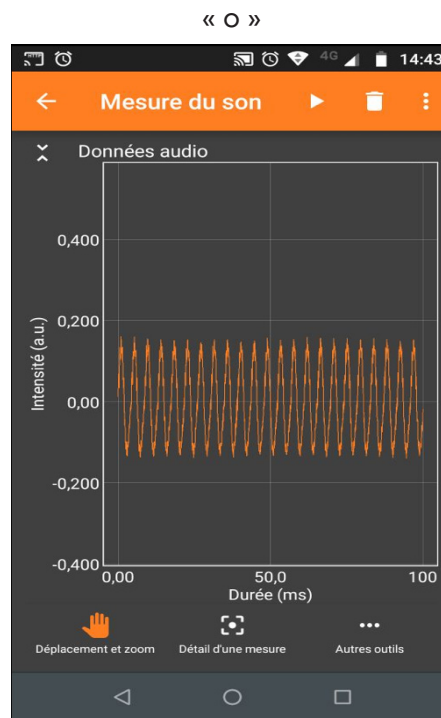
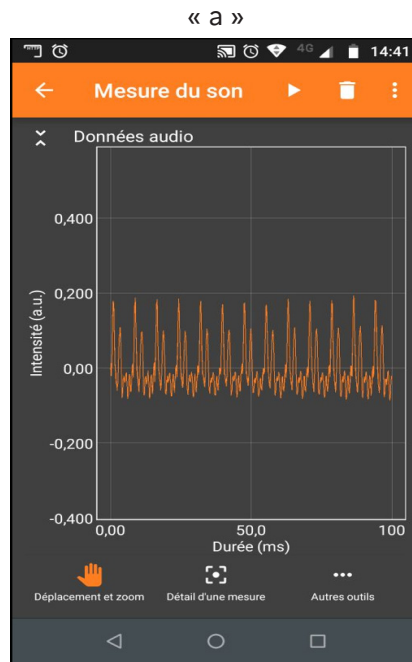
Le travail peut se faire également avec le logiciel Audacity sur un ordinateur, mais demande plus de technicité.

L'application Phypox propose plusieurs applications pour travailler sur le son (liste "acoustique"), notamment :

- "Mesure du son" affiche en direct le son en fonction du temps. Le temps d'enregistrement est fixé par défaut à 10ms, ce qui peut être un peu court, des réglages à 20 ou 50 ms selon les fréquences font souvent des figures plus jolies, car permettent de zoomer comme on veut.
- "Autocorrélation Audio" détecte la fréquence et la période du signal, mais peut donner des résultats faux aux basses fréquences. Attention : le graphe affiché sur la première page n'est pas l'intensité en fonction du temps, mais l'autocorrélation (il faut aller sur le deuxième onglet pour voir le signal direct)

## Éléments de correction de l'expérience 1 - Visualisation du son en fonction du temps

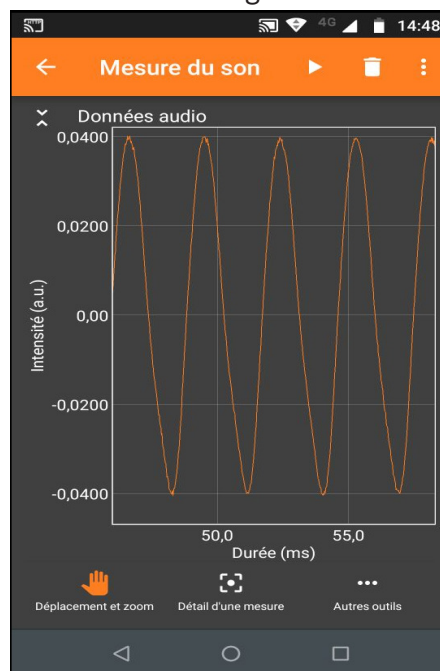
Ne pas hésiter à changer le temps d'enregistrement et à appuyer sur les chevrons en haut à gauche du graphe pour accéder aux outils de zoom (cliquer sur le graphe permet également d'accéder à ces outils).



Retrouvez éduscol sur

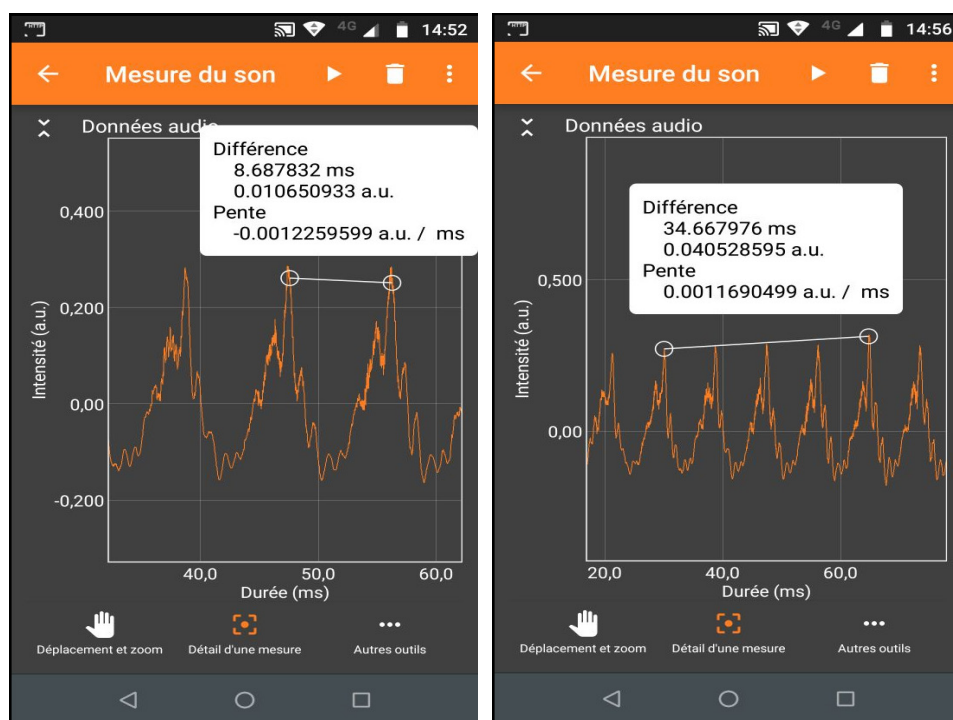


## online tone generator



La forme des signaux est différente, le "a" a facilement des pics secondaires dans le motif périodique (présence de fortes harmoniques), le "o" est souvent plus proche d'un signal sinusoïdal. Les signaux "purs" sont plus lisses et plus sinusoïdaux (c'est comme cela qu'ils sont générés).

### Éléments de correction de l'expérience 2 - Mesure de la période et de la fréquence



Retrouvez éducol sur



Mesure de la période sur un motif ou sur 4 motifs. Répéter la mesure plusieurs fois donne des résultats légèrement différents (des périodes comprises entre 8,7 et 8,8 ms). Par exemple : le motif change légèrement d'une période à l'autre, rendant la détermination de la période moins évidente, et pointer avec ces doigts sur l'écran n'est pas très précis.

Note : projeter son écran de smartphone sur l'ordinateur peut aider (« autoriser le contrôle à distance »), car on peut regarder l'ordinateur en pointant sur le smartphone : le doigt ne gêne plus pour viser.

Note : il est possible d'exporter facilement les données et de les traiter un tableau (cf le tutoriel [Activité expérimentale avec un smartphone – Tutoriel pour utiliser PHYPHOX](#)).

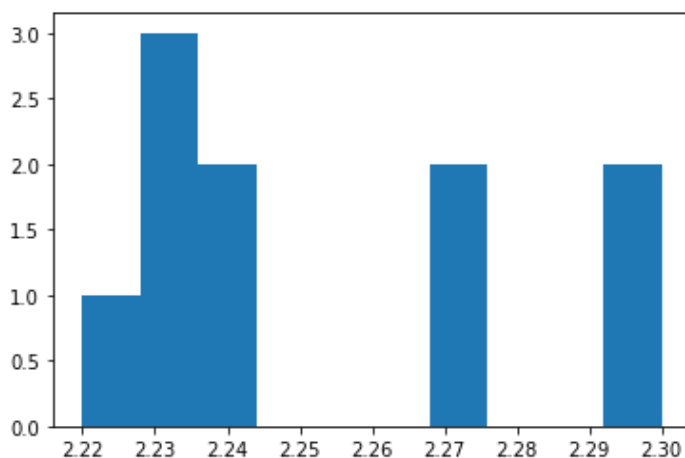
Les calculs de valeur moyenne et écart-type peuvent se faire avec un programme Python.

### Exemple

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
periode = [indiquer les valeurs obtenues]
moyenne = np.mean(periode)
plt.hist(periode)
plt.show()
print('moyenne:',moyenne)
EcartType=np.std(periode)
print('ecart type:',EcartType)
n=len(periode)
print('nombre de valeurs:',n)
IncertitudeType=EcartType/np.sqrt(n)
print('Incertitude type :',IncertitudeType)
print('T =', '%.2f'%moyenne, '+/-' , '%.2f'%IncertitudeType, 's')
```

### Exemple de résultats avec seulement dix mesures

Pour une note jouée avec une flûte de pan virtuelle à l'aide d'un simulateur en ligne :





Moyenne : 2.253

Écart type: 0.028301943396169718

Nombre de valeurs: 10

Incertitude type : 0.008949860334105749

$T = 2.25 \pm 0.01 \text{ s}$

### Pour aller plus loin

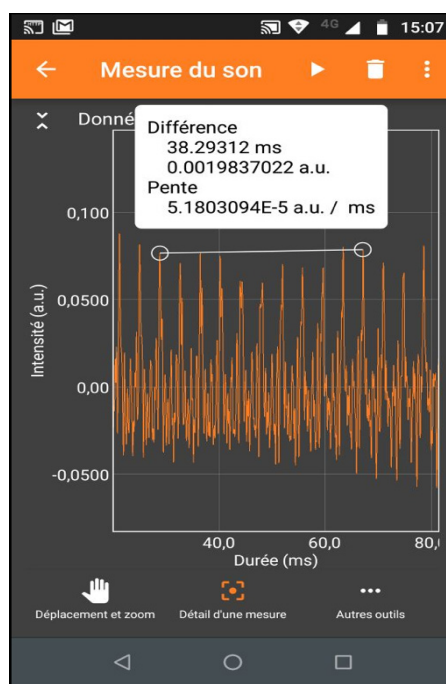
#### Défi 1

Les élèves envoient la fréquence du son qu'ils émettent naturellement et le professeur fait un histogramme de toutes les fréquences ou un axe gradué avec les fréquences reportées, ce qui permet d'introduire la notion de tessiture.

## Éléments de correction de l'expérience 3

### Mesure en utilisant un piano virtuel en ligne

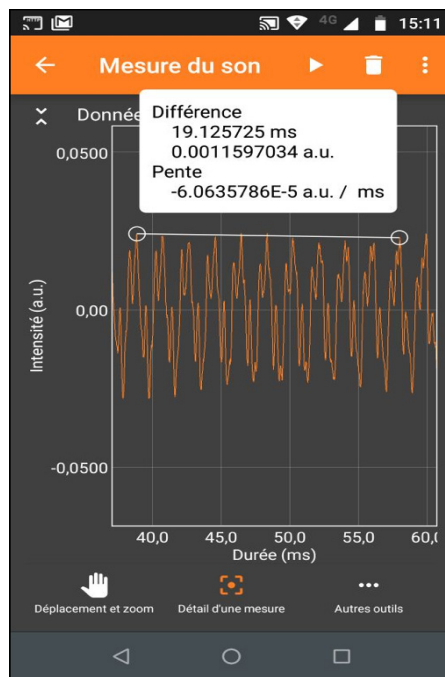
On joue un DO en changeant d'octave à chaque fois, on mesure la période sur 10 motifs et on calcule la fréquence.



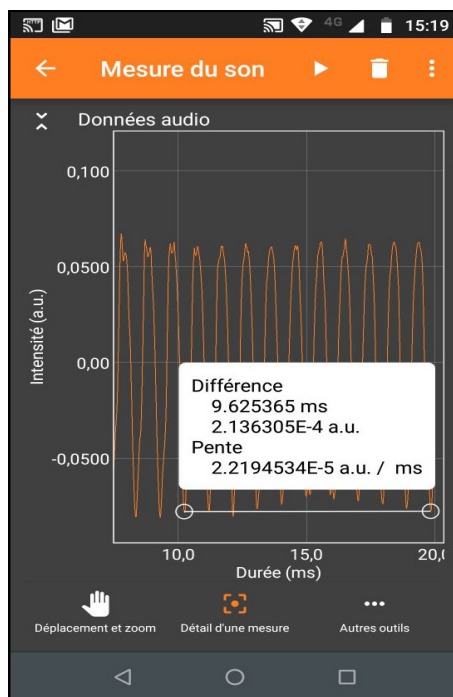
$T = 3.83 \text{ ms}$ ,  $f = 261 \text{ Hz}$

Retrouvez éducol sur





$$T = 1.91 \text{ ms}, f = 524 \text{ Hz}$$



$$T = 0.963 \text{ ms}, f = 1040 \text{ Hz}$$

Les rapports des fréquences sont 2 : changer d'octave c'est multiplier la fréquence par deux.

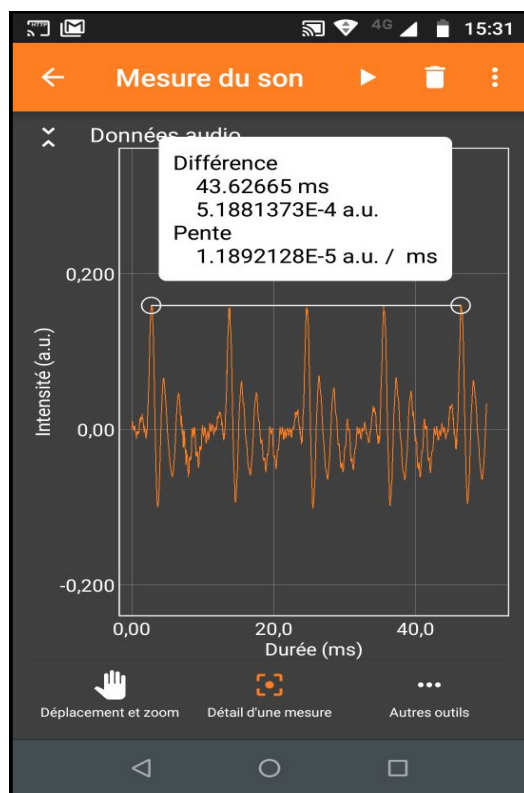
### Pour aller plus loin

#### Défi 2

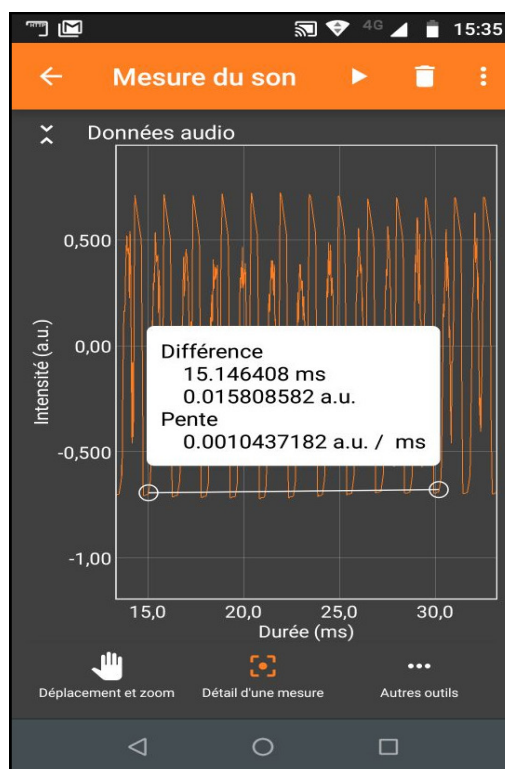
Les élèves déterminent la note la plus basse qu'ils arrivent à générer de façon exploitable et la note la plus haute (copie d'écran à l'appui). Le professeur récupère les résultats, trace les capacités des élèves (anonymement) et compare aux tessitures (ténor, alto, etc...).

Retrouvez éducol sur





Fréquence la plus basse : 92 Hz



Fréquence la plus haute : 660 Hz

Dans cet exemple : Baryton / Ténor (mais cela n'engage pas la justesse de la note !)

Cette étape peut être proposée hors la classe.

Retrouvez éducol sur



**Défi 3**

Le professeur donne une fréquence et les élèves doivent produire la note la plus proche, copie d'écran à l'appui. Le prof récupère les résultats et les trace (anonymement).

Pour cette activité, il est plus facile d'utiliser l'expérience "Autocorrélation Audio" qui donne la fréquence en temps réel (attention, la courbe de l'onglet principal n'est pas l'intensité en fonction du temps, mais l'autocorrélation. La courbe en fonction du temps est visible sur le deuxième onglet).

Si vous choisissez une fréquence plutôt élevée (400 Hz), vous favoriserez les filles.

Si vous choisissez une fréquence plutôt basse (120 Hz), vous favoriserez les garçons.

**Info supplémentaires**

- 100 à 150Hz : voix de l'homme
- 200 à 300Hz : voix de la femme
- 300 à 450Hz : voix de l'enfant

**Les tessitures**

- 262 à 1046 Hz : voix chantée d'un soprano
- 196 à 698 Hz : voix d'un contralto
- 120 à 520Hz : voix du ténor
- 110 à 392 Hz : voix d'un baryton
- 82,4 à 294 Hz : voix de la basse

**Les instruments**

- Violon : 200 à 2650 Hz
- Piano : 27,5 à 4186 Hz
- Orgue : 16 à 16000 Hz

**Seuil d'audibilité suivant l'âge**

- 15kHz : à 30 ans
- 12kHz : à 50 ans
- 10kHz : à 60 ans
- 6kHz : à 70 ans

**Les gammes de fréquences**

- 20 Hz à 20000 Hz : fréquences audibles par l'homme
- Inférieur à 20 Hz : Les Infra-sons
- 20000 (20 KHz) Hz à 200 MHz : Les ultra-sons
- 200 MHz à 1 GHz : hypersons
- 30 à 100 Hz : Sons très Graves
- 100 à 300 Hz : Sons Graves
- 300 à 1250 Hz : Sons Médioms
- 1250 à 5000 Hz : Sons Aigus
- 5000 à 16000 : Sons très Aigus

**Chez les animaux**

- Le chien peut entendre des fréquences allant jusqu'à 80000 Hz.
- Le chat peut entendre des fréquences allant jusqu'à 40000 Hz.

Retrouvez eduscol sur

