

## SIGNAUX SONORES - ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Cette activité expérimentale a pour objectif de caractériser le plus précisément possible la hauteur d'un son produit par une guitare grâce à l'analyse d'une série de mesures réalisées par exemple avec une application de récupération de signaux de capteurs d'appareils mobiles. Elle permet ainsi d'illustrer et d'étudier la notion de variabilité de mesures.

Cette activité peut être suivie d'un exercice reprenant le thème de la mesure et des incertitudes sur le même sujet des signaux sonores.

### Prérequis / repères de progressivité

Le niveau de maîtrise des outils permettant de traiter les incertitudes de mesure est différent pour chaque élève et il dépend aussi de la période de l'année à laquelle cette activité est réalisée.

Ainsi, cette activité est proposée avec trois niveaux de difficulté différents :

- un niveau **initiation** à destination des élèves n'ayant jamais utilisé des outils permettant de traiter les incertitudes de mesure ou ayant de grandes difficultés avec ceux-ci ;
- un niveau **intermédiaire** à destination des élèves ayant déjà utilisé des outils permettant de traiter les incertitudes de mesure mais ayant encore quelques difficultés pour les appliquer ;
- un niveau **confirmé** à destination des élèves maîtrisant les outils permettant de traiter les incertitudes de mesure.

### Références à la partie « Mesure et incertitudes » du programme

Notions et contenus	Capacités exigibles
Variabilité de la mesure d'une grandeur physique.	Exploiter une série de mesures indépendantes d'une grandeur physique : histogramme, moyenne et écart-type. Discuter de l'influence de l'instrument de mesure et du protocole. Évaluer qualitativement la dispersion d'une série de mesures indépendantes.
Incertitude-type.	Capacité numérique : Représenter l'histogramme associé à une série de mesures à l'aide d'un tableur. Expliquer qualitativement la signification d'une incertitude-type et l'évaluer par une approche statistique.
Écriture du résultat. Valeur de référence.	Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure. Comparer qualitativement un résultat à une valeur de référence.

## Éléments pour construire l'activité des élèves

Un guitariste joue plusieurs fois la note Ré<sub>2</sub> (une vidéo sur Internet peut être trouvée avec les mots-clés : guitare note ré jouée à vide).

Le but de cette activité est de mesurer le plus précisément possible la hauteur de cette note et d'étudier la variabilité des mesures de fréquence effectuées.

### Niveau initiation

1. A l'aide du matériel disponible, proposer un protocole expérimental permettant de réaliser une série de mesures de la fréquence du signal sonore produit par la guitare.
2. Ouvrir le fichier numérique du tableur fourni, réaliser une série de mesures de la fréquence du signal sonore produit par la guitare puis représenter l'histogramme associé à cette série de mesures dans le fichier fourni. Pourquoi certaines mesures peuvent-elles éventuellement ne pas être représentées sur l'histogramme ?
3. Indiquer la valeur moyenne  $\bar{f}$  de la série de mesures.
4. Vérifier dans le tableur que l'incertitude-type  $u(\bar{f})$  de cette série de mesure est égale à :  $u(\bar{f}) = \frac{s}{\sqrt{N}}$  avec  $s$  l'écart-type de cette série de mesure et  $N$  le nombre de mesures réalisées.
5. Indiquer la valeur moyenne  $\bar{f}$ , l'écart-type  $s$  et l'incertitude-type  $u(\bar{f})$  de cette série de mesures puis écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat de cette série de mesures sous la forme :  $\bar{f}$  avec une incertitude-type  $u(\bar{f}) = \dots\dots\dots$
6. Sachant que l'incertitude-type fournit une estimation de l'étendue des valeurs que l'on peut raisonnablement attribuer à une grandeur, vérifier si la vibration de la corde de guitare produit la note Ré<sub>2</sub> (de fréquence  $f = 146,83$  Hz).
7. Echanger avec les autres élèves, en utilisant un vocabulaire adapté, afin de déterminer si la vibration de la corde de guitare produit bien la note Ré<sub>2</sub>.
8. Proposer une ou plusieurs modifications de la démarche expérimentale pour améliorer la précision de la série de mesures réalisées.

#### Remarque

Dans le niveau **initiation**, le fichier numérique fourni aux élèves est pré-rempli, les élèves doivent uniquement rentrer les valeurs de leur série de mesures et représenter l'histogramme dont un modèle est déjà donné.

Le fichier « initiation » utilisable avec un tableur est disponible dans l'annexe présente sur la page [éduscol du GRIESP](#).

### Niveau intermédiaire

1. A l'aide du matériel disponible, proposer un protocole expérimental permettant de réaliser une série de mesures de la fréquence du signal sonore produit par la guitare.
2. Ouvrir le fichier numérique du tableur fourni, réaliser une série de mesures de la fréquence du signal sonore produit par la guitare puis représenter l'histogramme associé à cette série de mesures dans le fichier fourni. Pourquoi certaines mesures peuvent-elles éventuellement ne pas être représentées sur l'histogramme ?
3. Indiquer la valeur moyenne  $\bar{f}$  de la série de mesures.
4. L'incertitude-type  $u(\bar{f})$  de cette série de mesure est égale à :  $u(\bar{f}) = \frac{s}{\sqrt{N}}$  avec  $s$  l'écart-type de cette série de mesure et  $N$  le nombre de mesures réalisées. Evaluer l'incertitude-type de cette série de mesures puis écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat de cette série de mesures.

5. Sachant que l'incertitude-type fournit une estimation de l'étendue des valeurs que l'on peut raisonnablement attribuer à une grandeur, vérifier si la vibration de la corde de guitare produit la note Ré<sub>2</sub> (de fréquence  $f = 146,83$  Hz).
6. Echanger avec les autres élèves, en utilisant un vocabulaire adapté, afin de déterminer si la vibration de la corde de guitare produit bien la note Ré<sub>2</sub>.
7. Proposer une ou plusieurs modifications de la démarche expérimentale pour améliorer la précision de la série de mesures réalisées.

#### Remarque

Dans le niveau **intermédiaire**, le fichier numérique fourni aux élèves est pré-rempli mais les élèves doivent représenter eux-mêmes l'histogramme associé à la série de mesures ; ils doivent également écrire eux-mêmes les lignes de code permettant d'évaluer l'incertitude-type de la série de mesures.

Le fichier « intermédiaire » utilisable avec un tableur est disponible dans l'annexe présente sur la page [éduscol du GRIESP](#).

### Niveau confirmé

1. A l'aide du matériel disponible, proposer un protocole expérimental permettant de réaliser une série de mesures de la fréquence du signal sonore produit par la guitare.
2. Réaliser une série de mesures de la fréquence du signal sonore produit par la guitare puis représenter l'histogramme associé à cette série de mesures à l'aide d'un tableur. Pourquoi certaines mesures peuvent-elles éventuellement ne pas être représentées sur l'histogramme ?
3. Indiquer la valeur moyenne  $\bar{f}$  de la série de mesures.
4. L'incertitude-type  $u(\bar{f})$  de cette série de mesure est égale à :  $u(\bar{f}) = \frac{s}{\sqrt{N}}$  avec  $s$  l'écart-type de cette série de mesure et  $N$  le nombre de mesures réalisées. Evaluer l'incertitude-type de cette série de mesures puis écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat de cette série de mesures.
5. Vérifier si la vibration de la corde de guitare produit la note Ré<sub>2</sub> (de fréquence  $f = 146,83$  Hz).
6. Echanger avec les autres élèves, en utilisant un vocabulaire adapté, afin de déterminer si la vibration de la corde de guitare produit bien la note Ré<sub>2</sub>.
7. Proposer une ou plusieurs modifications de la démarche expérimentale pour améliorer la précision de la série de mesures réalisées.

#### Remarque

Dans le niveau **confirmé**, il n'y a pas de fichier numérique déjà rempli fourni aux élèves. De plus, le lien entre l'incertitude-type et l'estimation de l'étendue des valeurs données indiquée dans le programme n'est pas noté dans l'énoncé.

## Éléments pour le professeur

Cette séance expérimentale, durant environ 1 h 20 min, nécessite le matériel suivant par groupe d'élèves :

- une guitare ou un enregistrement sonore ou vidéo d'un guitariste jouant de nombreuses fois la note Ré<sub>2</sub>, comme par exemple la vidéo que l'on peut trouver sur Internet avec les mots-clés : guitare note ré jouée à vide ;
- une chaîne de mesure du signal sonore émis par l'instrument, à savoir un microphone relié à une interface d'acquisition informatisée, à un oscilloscope ou un smartphone sur lequel est installé une application de récupération des signaux des capteurs de cet appareil ;
- un ordinateur avec un tableur-grapheur ;
- un fichier numérique pour les versions **initiation** et **intermédiaire**.

Les mesures sont beaucoup plus rapides avec un smartphone sur lequel est déjà installée une application de récupération des signaux des capteurs qu'avec un oscilloscope par exemple.

Avec un smartphone, il est possible pour un binôme de réaliser 30 ou 40 mesures différentes en 5 minutes, ce qui est suffisant pour l'étude statistique à mener en classe de seconde.

Dans le cadre de cette expérimentation, l'application Phypox (<https://phyphox.org/experiments/>), gratuite, a été utilisée.

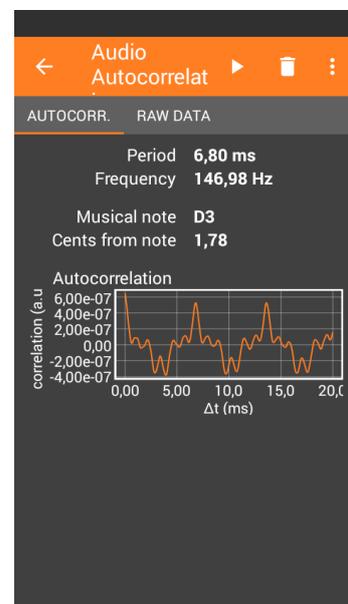
L'utilisation de cette application pour mesurer la fréquence est simple et la durée d'appropriation de cette application par les élèves est très courte, de l'ordre d'une à deux minutes, une fois que l'application est installée dans le smartphone.

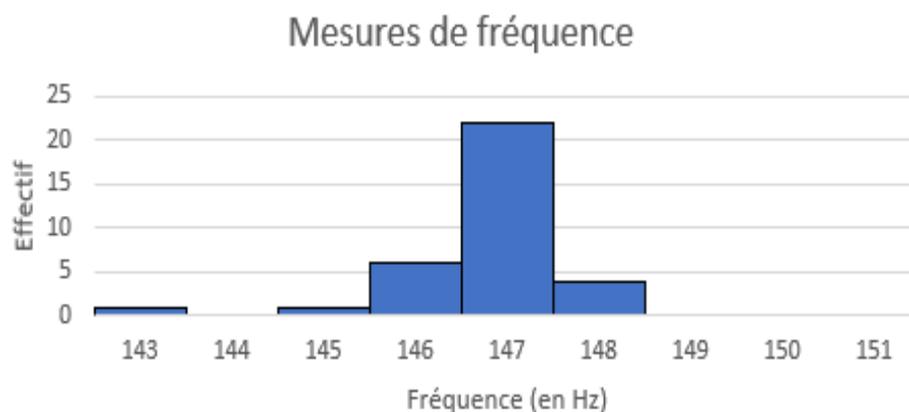
Quelques informations peuvent être données aux élèves lors de leur première utilisation de cette application pour mesurer la fréquence d'un signal sonore :

- la note est indiquée suivant la notation anglaise. Ainsi, la note D3, indiquée sur la capture d'écran ci-contre, correspond au Ré<sub>2</sub> en France ;
- la mesure de la fréquence doit s'effectuer durant le corps de la note. Elle ne doit pas s'effectuer lors du transitoire d'attaque ou d'extinction de la note. Pour cela, avant d'intégrer le résultat d'une mesure dans la série de mesures effectuée, il est important d'analyser rapidement la représentation temporelle du signal.

Une fois ces quelques informations données, les élèves réalisent leurs mesures puis ils représentent dans un tableur l'histogramme associé à cette série de mesures avant de calculer la valeur moyenne  $\bar{f}$ , l'écart-type  $s$  et l'incertitude-type  $u(\bar{f})$  de cette série de mesures (le travail sur le tableur dure environ vingt minutes si les fichiers numériques ont été distribués suivant le niveau de chaque groupe d'élèves).

Le fichier « correction » utilisable avec un tableur est disponible dans l'annexe présente sur la page [éduscol du GRIESP](#).





<b>Nombre total de mesures prises en compte pour les calculs statistiques</b>	38
<b>Valeur moyenne (en Hz)</b>	147
<b>Écart-types (en Hz)</b>	22
<b>Incertitude-type (en Hz)</b>	4

#### Remarque

Certaines mesures, comme par exemple  $f = 103,47$  Hz ne sont pas représentées sur l'histogramme, ce qui explique l'écart-type et l'incertitude-type élevés.

Chaque groupe d'élèves réfléchit ensuite à l'écriture, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, du résultat de leur série de mesures sous la forme :  $\bar{f}$  avec une incertitude-type  $u(\bar{f})$  puis le professeur entame une phase rapide d'institutionnalisation afin d'expliquer la procédure à suivre pour écrire correctement ce résultat.

Au lycée, l'incertitude-type s'écrit avec un chiffre significatif, ce qui permet de noter, en prenant l'exemple lié à ce document :  $\bar{f} = 147$  Hz avec une incertitude-type  $u(\bar{f}) = 4$  Hz.

Important : l'incertitude-type permet de déterminer le nombre de chiffres significatifs du meilleur estimateur de la mesure, (ici la moyenne.)

Dans cet exemple, sachant que l'incertitude-type fournit une estimation de l'étendue des valeurs que l'on peut raisonnablement attribuer à une grandeur, la vibration de la guitare produit la note Ré<sub>2</sub> (de fréquence  $f = 146,83$  Hz).

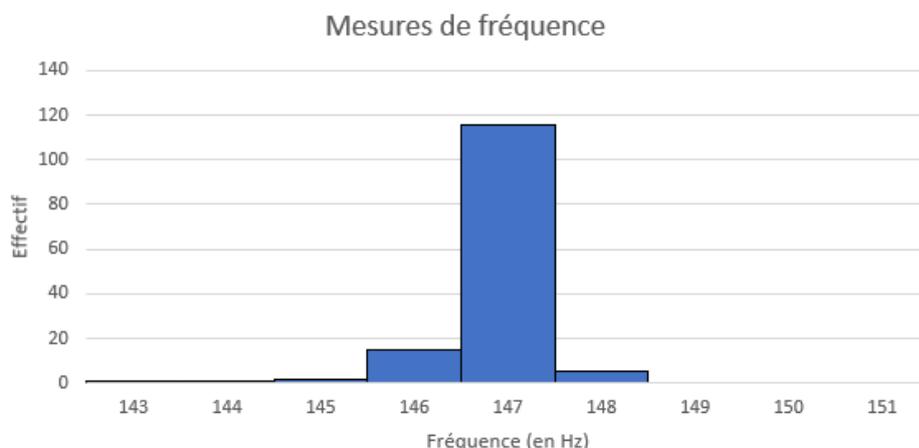
Le moment d'échanges entre élèves permet ensuite de présenter et d'analyser les différents résultats de mesure.

Enfin, en conclusion, la séance se termine avec la proposition d'une ou plusieurs modifications de la démarche expérimentale pour améliorer la précision de la série de mesures réalisées, comme par exemple :

- regrouper les mesures des différents groupes d'élèves afin de diminuer la valeur de l'incertitude-type ( $u(\bar{f}) = \frac{s}{\sqrt{N}}$ ) ;
- supprimer les mesures que l'on peut qualifier d'aberrantes lors du traitement des données ;

- utiliser une chaîne de mesure du son plus précise : microphone avec une bande passante adaptée, détermination de la mesure de la fréquence avec davantage de chiffres significatifs...

Après la suppression des mesures aberrantes, le fichier « professeur correction avec 154 mesures » utilisable avec un tableur est disponible dans l'annexe présente sur la page [éduscol du GRIESP](#).



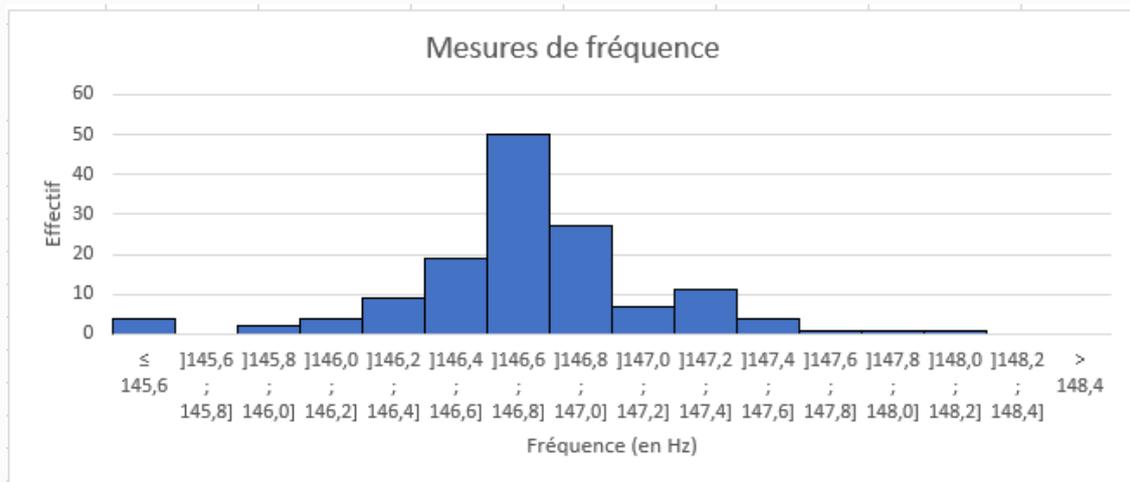
<b>Nombre total de mesures prises en compte pour les calculs statistiques</b>	140
<b>Valeur moyenne (en Hz)</b>	146,74
<b>Écart-types (en Hz)</b>	0,55
<b>Incertitude-type (en Hz)</b>	0,05

#### Remarques

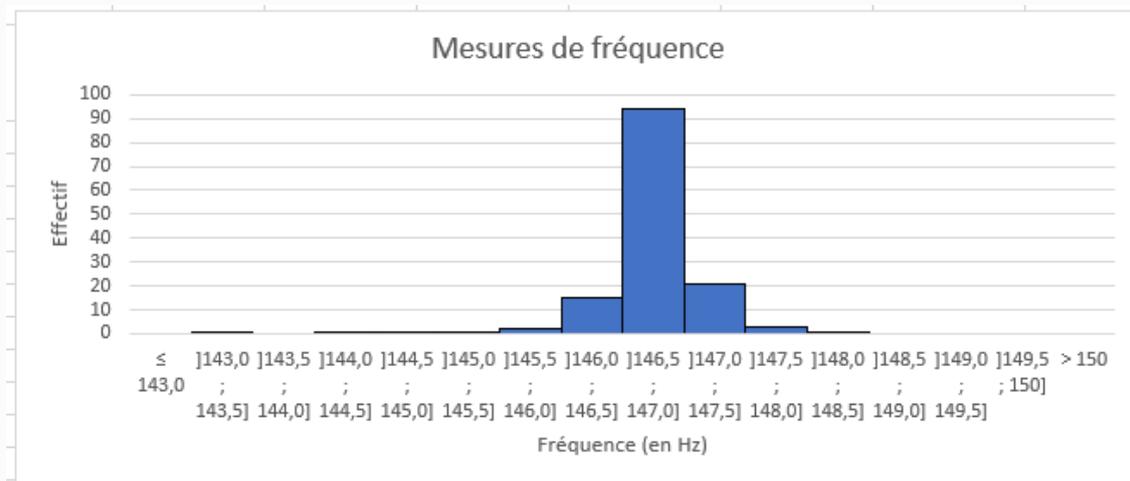
- Dans cette activité, l'histogramme présenté dans les fichiers élève est plutôt un diagramme à bâtons car la programmation d'un diagramme à bâtons semble suffisante en classe de seconde pour la plupart des élèves. Toutefois, les professeurs peuvent aller plus loin dans la programmation d'un tableur-grapheur dès la seconde pour visualiser notamment toutes les mesures ou pour pouvoir choisir les intervalles de classes de l'histogramme.

C'est pourquoi les fichiers « Correction professeur » présentent plusieurs histogrammes, avec des intervalles de classes différents, avec ou sans formules matricielles.

Histogramme avec intervalles de classes de 0,2 Hz



Histogramme avec intervalles de classes de 0,5 Hz



- Le programme de seconde indique que « l'incertitude-type fournit une estimation de l'étendue des valeurs que l'on peut raisonnablement attribuer à une grandeur ». Ainsi, le résultat de cette série de mesures ( $\bar{f} = 146,74$  Hz avec une incertitude-type  $u(\bar{f}) = 0,05$  Hz) est compatible avec la fréquence  $f = 146,83$  Hz de la note Ré<sub>2</sub> car  $\bar{f}$  et  $f$  sont séparés de l'ordre de deux fois l'incertitude-type. Il est demandé d'effectuer une comparaison qualitative et non quantitative d'un résultat d'une série de mesures à une valeur de référence.

*On peut vérifier avec les élèves qu'une différence auditive de 0,1 Hz n'est pas perceptible et donc que la guitare est bien accordée.*

## Annexe : références au programme

### Émission et perception d'un son

Notions et contenus	Capacités exigibles
	Activité expérimentale support de formation
Signal sonore périodique, fréquence et période. Relation entre fréquence et période.	Définir et déterminer la période et la fréquence d'un signal sonore notamment à partir de sa représentation temporelle.
Perception du son : lien entre fréquence et hauteur.	Relier qualitativement la fréquence à la hauteur d'un son audible.  Enregistrer et caractériser un son (hauteur, timbre, niveau d'intensité sonore, etc.) à l'aide d'un dispositif expérimental dédié, d'un smartphone, etc.

### Compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique

Compétences	Capacités associées
Analyser / raisonner	Élaborer un protocole.
Réaliser	Mettre en œuvre les étapes d'une démarche. Effectuer des procédures courantes (calculs, collectes de données, etc.). Mettre en œuvre un protocole expérimental.
Valider	Faire preuve d'esprit critique, procéder à des tests de vraisemblance. Identifier des sources d'erreur, estimer une incertitude, comparer à une valeur de référence. Proposer d'éventuelles améliorations de la démarche ou du modèle.
Communiquer	À l'écrit comme à l'oral : Présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente. Utiliser un vocabulaire adapté et choisir des modes de représentation appropriés. Echanger entre pairs.