

**Objectifs :**

- Réaliser l'analyse spectrale d'un son musical et l'exploiter pour en caractériser la hauteur et le timbre.

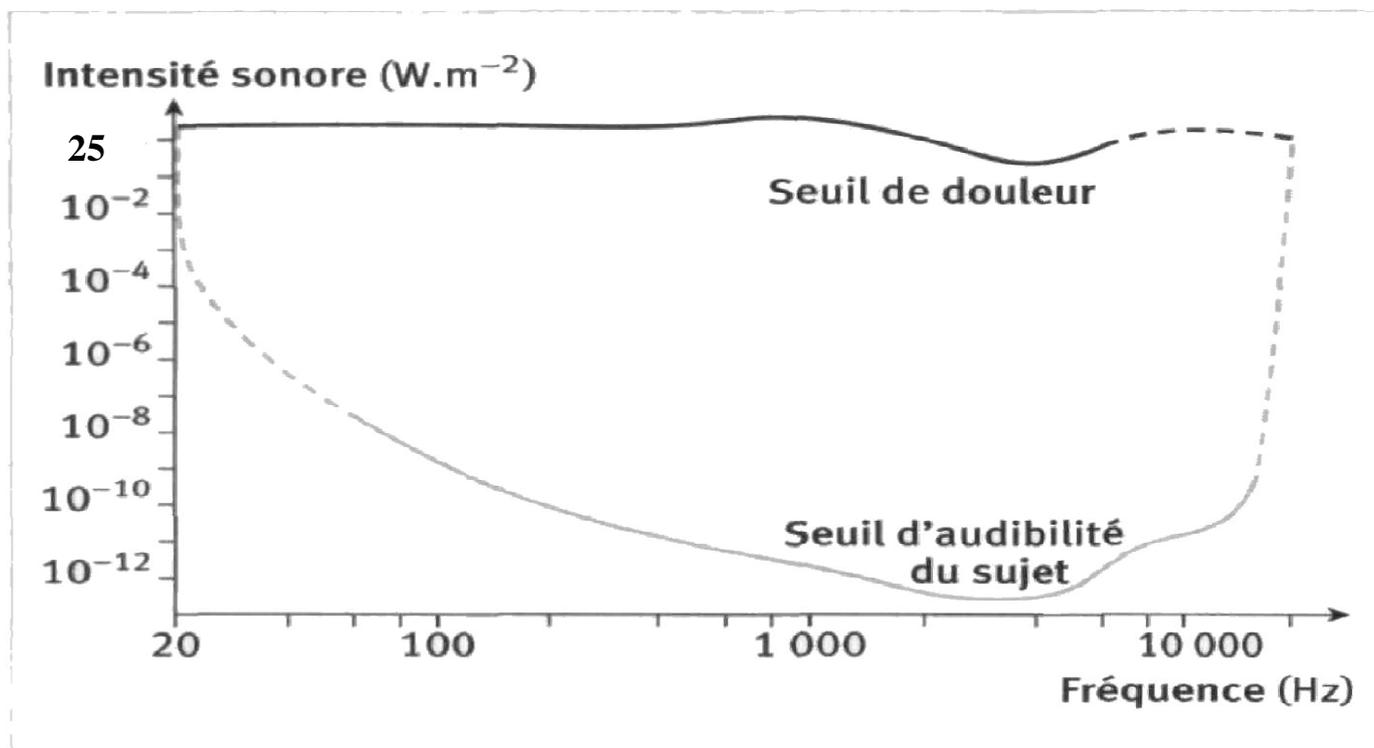
**1. L'AUDIOGRAMME**

Dans les deux chapitres précédents, nous avons vu que les sons périodiques sont caractérisés par les fréquences du fondamental et des harmoniques qui les composent. À l'oreille, nous savons apprécier si un son est fort ou bien s'il est faible. Cette sensation auditive subjective est associée à une autre grandeur physique caractérisant un son et que l'on exprime en décibel acoustique: c'est le niveau sonore

**1.1. Présentation d'un audiogramme**

La perception des sons sinusoïdaux dépend de leur fréquence et de leur intensité. Cette perception est variable suivant les individus. Pour la caractériser, on pratique un examen qui consiste à réaliser un audiogramme. Cet examen ne peut être effectué correctement qu'avec un équipement spécialisé. En voici le déroulement: un écouteur alimenté par un courant électrique sinusoïdal est placé sur l'oreille de la personne. La fréquence  $f$  et la valeur  $i$  de l'intensité du courant sont ajustables. Régler la valeur de  $i$  permet de régler la valeur de l'intensité sonore  $I$  délivrée par l'écouteur.

Pour une fréquence donnée, l'intensité sonore  $I$  est progressivement augmentée jusqu'à ce que la personne perçoive le signal sonore. La courbe obtenue, représentant le seuil de perception sonore en fonction de la fréquence, est appelée **audiogramme**. L'audiogramme du doc. 1 est celui d'un sujet possédant une ouïe particulièrement fine.



Sur cet audiogramme figure également le seuil de douleur: pour chaque fréquence, il existe une valeur maximale de l'intensité sonore à partir de laquelle la perception sonore devient douloureuse. Aller au-delà de cette valeur peut provoquer des troubles irréversibles de l'audition, troubles qui seront aggravés par une écoute prolongée. À 4 000 Hz, le domaine d'intensité des sons audibles s'étend très approximativement de  $10^{-12}$   $\text{W.m}^{-2}$  à  $25$   $\text{W.m}^{-2}$ .

### QUESTIONS

a) Quelle unité est utilisée pour exprimer l'intensité sonore, qui figure en ordonnée de l'audiogramme?

#### 1.2. Définir le niveau sonore.

Comme pour le pH, on utilise une échelle logarithmique pour définir le niveau sonore (de l'anglais level)

$L = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$  où  $I$  est l'intensité sonore et  $I_0$  l'intensité sonore de référence fixée à  $10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$ .

L'unité de  $L$  est le décibel acoustique, noté  $\text{dB}_A$ .

### QUESTIONS

b) Déterminer à l'aide de l'audiogramme, la fréquence pour laquelle la perception auditive du sujet testée est maximale.

c) Calculer le niveau sonore correspondant au seuil de douleur

d) Pourquoi l'intensité sonore de référence a-t-elle été prise égale à  $10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$  ?

e) Comment évolue le niveau sonore quand l'intensité sonore est multipliée par 2 (c'est-à-dire quand le son est 2 fois plus fort) ? Par 4 ?

#### 1.3. Sensibilité de l'oreille

##### **Expérience à faire en salle 304**

- Brancher un haut-parleur aux bornes d'un GBF délivrant un signal sinusoïdal et fixer la valeur de l'amplitude de la tension de sortie à environ 30 % du maximum. (Cette valeur ne devra pas être modifiée)

- Diminuer la fréquence et noter la valeur  $f_{\min}$  à partir de laquelle le son n'est plus audible.

- Augmenter la fréquence et noter la valeur  $f_{\max}$  au-delà de laquelle le son n'est plus perceptible.

### QUESTIONS

f) Quel est le domaine des fréquences audibles ?

g) Cette bande de fréquence est-elle identique pour tout le monde ?

h) Comment évoluent, à l'oreille, les sons quand on augmente la fréquence ?

i) La bande de fréquences audibles dépend-elle de l'intensité (ou volume) du son ?

## 2. INTENSITE SONORE

**Rem : Un tutoriel pour l'utilisation du logiciel Audacity est disponible sur le réseau**

- Ouvrir le logiciel **Audacity**

- Ouvrir le fichier « **son-faible.wav** » présent dans le dossier de votre classe.

- Ecouter le fichier

- Renouveler l'expérience avec le fichier « **son-fort.wav** »

### QUESTIONS

1) Quelle définition pouvez-vous donner de l'intensité sonore ?

### 3. SON PUR ET SON COMPLEXE

#### 3.1. Le diapason : Un son pur

**Rem :** Un tutoriel pour l'utilisation de Latis Pro est disponible sur le réseau

- Brancher le microphone sur « l'entrée micro » du GBF qui se trouve dans la partie « Amplificateur »
- Brancher la sortie de la partie amplificateur du GBF sur l'interface « sysam » (fiche jaune sur EA0 et la fiche noire sur la REF, masse de l'interface « sysam »)
- Allumer le GBF
- Ouvrir le logiciel d'acquisition de données « LatisPro»  
**Démarrer / Physique-chimie/ Eurosmart/Latis Pro**
- Sélectionner la voie EA0
- Choisir un nombre de points d'enregistrement de l'ordre de 1000 points et la durée totale de l'acquisition de l'ordre de 20ms
- Taper sur le diapason à l'aide du marteau
- Lancer l'acquisition (F10)

**APPELER LE PROF, POUR VERIFICATION**

#### QUESTIONS

a) La courbe  $s(t)$  obtenue est elle périodique? Sinusoïdale ?

**Faites l'analyse de Fourier du signal sonore (traitements/ calculs spécifiques/ Analyse de Fourier)**

- b) Déterminer, à l'aide du curseur réticule, l'abscisse du pic observé. Que représente cette valeur ?
- c) Le son émis par un diapason est appelé son pur. Qu'est ce qu'un son pur ?

#### 3.2. La flûte Traversière : un son complexe

Le son émis par la flûte Traversière est un « La3 »

**Rem :** Un tutoriel pour l'utilisation de Regavi et de Regressi est disponible sur le réseau

- Ouvrir le logiciel **Regavi** - Lecture d'un fichier.Wav.
- Dans l'option **lecture d'un fichier.wav** , ouvrir le fichier « **flûte TraversièreLa3.wav** » présent dans le dossier de votre classe.
- Ecouter le fichier
- Sélectionner une partie du signal sonore obtenu à l'aide des curseurs bleu turquoise  (environ 20 ms) et le transférer vers **Regressi**  avec comme **commentaire** « flûte traversièreLa3 »

**Faites l'analyse de Fourier de « flûte TraversièreLa3 »**

- Dans le **mode spectre** , apparaît le résultat de l'analyse de Fourier du signal sonore ; superposer l'évolution temporelle .

#### QUESTIONS

a) La courbe  $s(t)$  obtenue est elle périodique ? Sinusoïdale ?

b) Déterminer l'abscisse du 1 premier pic. Que représente cette valeur ?

c) Déterminer, l'abscisse des 3 autres pics. Que représentent ces valeurs ?

d) Le son émis par la flute traversière est appelé son complexe. Qu'est ce qu'un son complexe ?

**Remarque :** par la suite on pourra utiliser indifféremment les logiciels **Regavi** ou **Audacity** pour lire et traiter les signaux sonores

(Chemin d'accès à l'analyse de Fourier dans Audacity : onglet Analyse/tracer le spectre)

#### **4. HAUTEUR D'UN SON**

**Ouvrir, écouter et comparer les fichiers « flûte TraversièreLa3.wav » et « flûte TraversièreLa4.wav »**

##### **QUESTIONS**

- a) Donner la définition de la hauteur d'un son
- b) Quel est le son qui a la hauteur la plus importante ? Pourquoi ?

**Faites l'analyse de Fourier de « flûte TraversièreLa3 » et de « flûte TraversièreLa4 »**

##### **QUESTIONS**

- c) Quelle est la hauteur du son de la flûte TraversièreLa3 ? De la flûte TraversièreLa4 ? Justifier votre démarche
- d) Que pouvez vous dire de la hauteur du son de la flûte TraversièreLa3 par rapport à la flûte TraversièreLa4 ?

#### **5. TIMBRE D'UN SON**

**Ouvrir, écouter et comparer les fichiers « flûte TraversièreLa3.wav » et « ViolonLa3.wav »**

**Faites l'analyse de Fourier des courbes**

##### **QUESTIONS**

- 1) A l'aide des courbes, expliquer pourquoi les 2 notes ont la même hauteur (fréquence) ?
- 2) Quelle est la différence entre les 2 spectres ?
- 3) A l'aide du a) et b), donner la définition du timbre d'un son.

#### **6. ENVELOPPE D'UN SON**

- Ouvrir le fichier « **flûte TraversièreLa4.wav** » présent dans le dossier de votre classe.
- Sélectionner les 60 premières ms du signal

**Faire l'analyse de Fourier de la courbe**

- Refaire la manipulation avec les 60 dernières millisecondes

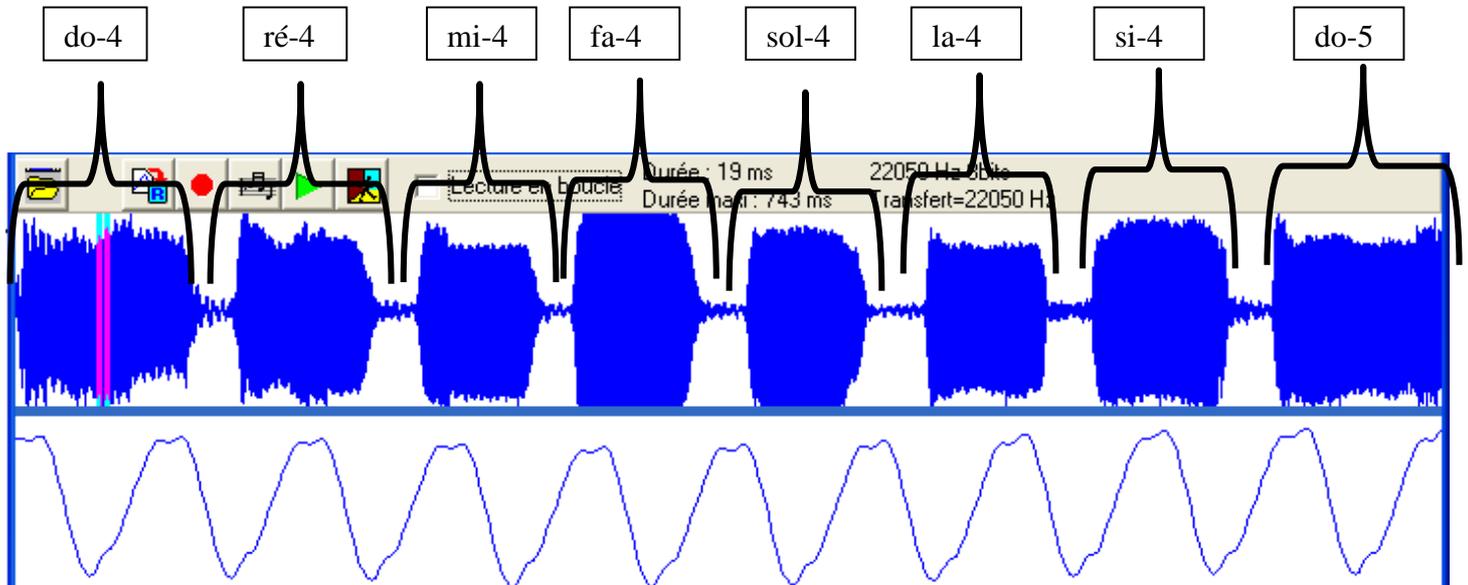
##### **QUESTIONS**

- 1) Comparer le nombre d'harmoniques du son lors de la phase d'attaque et de la phase d'extinction

## 7. ETUDE D'UNE GAMME MUSICALE

La gamme étudiée a été jouée à la flûte ; elle s'étend du do 4 au do 5.

- Dans le logiciel **Regavi ou Audacity**, ouvrir le fichier « **gamme\_flute-2.WAV** » présent dans le dossier de votre classe.



- Pour chaque note, sélectionner, une tranche d'une durée d'environ 20 ms, pour faire l'analyse spectrale,

1) Quelle est la relation entre la fréquence du fondamental du do-5 et la fréquence du fondamental du do-4

2) Quelle serait la fréquence du do-3 ? du do-6 ?

3) Quelle est la relation entre la fréquence du fondamental du sol-4 et la fréquence du fondamental du do-4 ?  
Conclusion ? (aidez vous du lexique)

### AIDE

- Deux sons sont qualifiés d'harmonieux si le rapport de leur fréquence est  $3/2$ .

- L'intervalle de quinte est un rapport de  $3/2$ .