



**BUT :** Comparer des sons émis par différents instruments - Notion de fondamental et d'harmonique - Notions de hauteur et de timbre d'un son

## COMPETENCES :

Trier, classer et synthétiser l'information (APP) - Réaliser le dispositif expérimental correspondant au protocole - Maîtriser certains gestes techniques - Réaliser une série de mesures et relever les résultats (REA) - Proposer et/ou justifier un protocole, identifier les paramètres pertinents (ANA) - Extraire des informations des données expérimentales et les exploiter - Confronter un modèle à des résultats expérimentaux (VAL).

## Préalable

"La musique est une science qui doit avoir des règles certaines ; ces règles doivent être tirées d'un principe évident, et ce principe ne peut guère nous être connu sans le secours des mathématiques."

*Jean-Philippe Rameau, Traité de l'harmonie réduite à ses principes naturels*

L'acoustique musicale est le domaine consacré à la place et à l'utilisation du son dans l'élaboration et la perception de la musique. Née du souci d'explorer des relations entre des grandeurs physiques et des réactions d'ordre qualitatif, propres à chaque individu, cette science tente de rationaliser les correspondances entre l'émission et la perception de la musique.

*Source Wikipédia*

Lors d'un concert, on peut, éventuellement en se concentrant, identifier la contribution de chacun des instruments car les notes qu'ils produisent (au-delà de leur intensité) sont caractérisées par ce que les musiciens appellent la "hauteur" et le "timbre".

Mais que représentent ces termes pour un physicien ? L'onde sonore n'est pas directement "visible", mais elle peut être captée par un microphone. Le signal électrique produit par celui-ci peut être visualisé et étudié, il possède la même période que le signal sonore et leurs amplitudes sont proportionnelles.

Pour l'ensemble du TP, les différents fichiers numériques seront disponibles dans :

[Mon espace sur controleur/Logiciel réseau/Physique/TPTS/Acoustique/](#)

## Montage utilisé

**Matériel :** microphone – adaptateur-amplificateur son  voie1 de l'AMPLIFICATEUR SON – centrale SysmSP5 – flûte – fils.

✂ Connecter le boîtier adaptateur-amplificateur son sur le **canal 0** de la centrale Sysam. Relier le microphone à l'entrée **Voie1** du boîtier amplificateur son (par l'intermédiaire des adaptateurs jack).

## Paramétrage de l'acquisition

- 🔗 Ouvrir le logiciel *LatisPro* (Dossier Physique). Deux fenêtres sont ouvertes **double cliquer** sur le bandeau de la fenêtre indiquant *Son1* en ordonnées.
- 🔗 Dans *Entrées analogiques* désélectionner (clic gauche) *Son2*. Dans *Acquisition* sélectionner *Temporelle* avec **1000 points** et une durée totale de **10 ms** (ne pas cocher la case *Mode permanent*).
- 🔗 Dans *Déclenchement* sélectionner *Source: Son1 (EA0)* puis *Déclenchement : Montant* et *Seuil : 0V*

**Remarque :** Au moment de réaliser une acquisition, vérifier que le sélecteur du microphone est sur la position **ON**.

## 1. La flûte

### 1.1. Sol

- ✂ Placer le microphone contre le pavillon (extrémité inférieure) de la flûte.
- ✂ A l'aide de la flûte, produire un Sol (voir doigté). Tenir la note.
- 🔗 Faire alors une acquisition en appuyant sur la touche "**F10**" du clavier (un signal doit s'afficher sur l'écran). Recommencer plusieurs fois si nécessaire.
- 🔗 Cliquer sur l'onglet : 
- 🔗 Dans la barre des menus, choisir *Traitements* puis *Calculs spécifiques* puis *Lissage*. Une fenêtre *Lissage d'une courbe* apparaît. Par Glisser-déposer faire "entrer" **Son1** (sur l'entrée **EA0**) dans la case *Courbe*. Déplacer le curseur au maximum vers *Fort*. Cliquer alors sur *Calcul*. Dans la zone de *courbe(s)*, le nom **Lissage de Son1** apparaît et la courbe correspondante est tracée dans la zone graphique (elle se superpose à la précédente).
- 🔗 Si l'acquisition ne fonctionne pas bien, charger le document **Sol.ltp** dans *.../SonsLatisPro*.
  - 🔗 Déterminer la période  $T_1$  et en déduire la fréquence  $f_1$  du son produit.

### 1.2. Do "grave"

- ✂ En procédant de la même façon qu'au paragraphe 1.1. réaliser l'acquisition d'un Do "grave" (voir doigté).

Si l'acquisition ne fonctionne pas bien, charger le document **Do grave.ltp**.

🔗 Déterminer la période  $T_2$  et en déduire la fréquence  $f_2$  du son produit.

### 1.3. La

- ✂ Réaliser l'acquisition d'un La (voir doigté).
- 🔗 Si l'acquisition ne fonctionne pas bien, charger le document **La.ltp**.
  - 🔗 Déterminer la période  $T_3$  et en déduire la fréquence  $f_3$  du son produit.

### 1.4. Hauteur d'un son

🔗 Répondre aux questions du paragraphe 1.4. de la feuille bilan

## 2. Autres instruments

### 2.1. A l'oreille

- ✂ Ecouter le son produit par un diapason et ceux d'autres instruments disponibles dans *.../SonsMidi*.

🔗 Répondre aux questions du paragraphe 2.1. de la feuille bilan.

### 2.2. En utilisant les acquisitions

- ✂ Réaliser l'acquisition du son produit par un diapason.

**Avant d'enregistrer dans "Mes devoirs", faites vérifier par le professeur !**

🔗 Déterminer à chaque fois la période  $T$  et la fréquence  $f$ .

- 🔗 Faire de même avec les acquisitions (déjà réalisées) **Trompette.ltp**, **Flutepan.ltp**, **Violon.ltp**.

🔗 **Attention :** fermer les fichiers sans enregistrer.

🔗 Répondre aux questions du paragraphe 2.2. de la feuille bilan.

### 3. Timbre d'un son

#### 3.1. Joseph Fourier

Joseph Fourier (1768-1830) est un brillant scientifique: ingénieur, mathématicien et physicien. Il place son intérêt scientifique principalement dans la compréhension, la modélisation et l'analyse des phénomènes de propagation de la chaleur.

L'étude mathématique qu'il pratique est une démarche analyse/synthèse.

L'analyse a pour finalité de dissoudre la complexité. L'hypothèse de travail est que la complexité d'un phénomène, n'est qu'apparente et provient en réalité d'un mélange. Le but de l'analyse mathématique est la recherche des éléments simples qui ont été mélangés.

La synthèse est le processus contraire à l'analyse. Elle consiste à reformer le signal ou phénomène de départ à partir de la connaissance de ses constituants simples.

Ainsi pour Fourier, un signal périodique non sinusoïdal de fréquence  $f_1$  peut être considéré comme étant la somme de plusieurs signaux sinusoïdaux dont les fréquences  $f_n$  sont des multiples entiers de la fréquence  $f_1$  ( $f_n = n \times f_1$ ).

La fréquence  $f_1$  correspond au fondamental, les autres fréquences correspondent aux harmoniques.

L'analyse de Fourier, inventée pour la résolution de problèmes spécifiques de la théorie physique de la chaleur, se révèle en fait bien plus universelle puisque, convenablement généralisée, elle se retrouve dans quasiment toutes les mathématiques, aussi bien pures qu'appliquées. En fait, nous en profitons tous les jours, souvent sans le savoir : télécommunications, compression du son (MP3) ou compression d'image (MP4), imagerie médicale... Toutes ces technologies utilisent des élaborations de l'analyse de Fourier.

Sources principales : L'œuvre de Fourier et les mathématiques contemporaines (Emmanuel Ferrand) <http://xymaths.free.fr/index.php?dir=MathAppli&subdir=Fourier> (Yoann Morel)

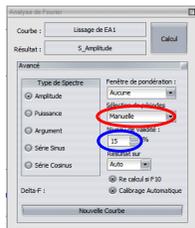
🔗 Répondre aux questions du paragraphe 3.1. de la feuille bilan.

#### 3.2. Analyse de Fourier de quelques sons

🔗 Avec le logiciel LatisPro, travailler successivement sur les acquisitions **Violon.ltp**, **Flutepan.ltp**, **Trompette.ltp** et **Diapason.ltp**.

🔗 Réaliser l'analyse de Fourier à partir d'un **Lissage** des acquisitions obtenues : Dans la barre des menus, choisir **Traitements** puis **Calculs spécifiques** puis **Analyse de Fourier**. Une fenêtre **Analyse de Fourier** apparaît.

🔗 Par Glisser-déposer faire "entrer" **Lissage de EA1** (ou **EA1**) dans la case **Courbe**.



**Remarque : Avant de cliquer sur Calcul pour l'Analyse de Fourier, sélectionner une période manuellement sur la courbe puis cliquer sur Avancé** et dans la case **Niveau de validité** choisir **15 %** pour l'acquisition la trompette et **10 %** pour la flûte de pan et le violon.

Cliquer alors sur **Calcul**. Dans la zone de graphique, un nouveau tracé apparaît dans le bas de l'écran, il est appelé **spectre de fréquences** (abscisses : fréquences, ordonnées : amplitudes).

Pour chaque instrument de musique étudié, adapter le maximum de l'échelle des abscisses pour obtenir les mesures les plus précises possibles. A l'aide du réticule (clic droit)

déterminer les fréquences représentées ainsi que leurs amplitudes.

🔗 Enregistrer les travaux dans Mes devoirs.

🔗 Noter les mesures obtenues dans la feuille bilan.

#### 3.3. Timbre d'un son

🔗 Répondre aux questions du paragraphe 3.3. de la feuille bilan.

### 4. Synthèse d'un son

#### 4.1. Synthèse



**Brancher à nouveau la centrale d'acquisition**

L'analyse de Fourier du *La* produit par la flûte est représenté dans le tableau de la feuille bilan.

🔗 Dans **Latispro**, ouvrir une **nouvelle feuille**, choisir **Traitements** puis **Calculs spécifiques** puis **Synthèse harmoniques** choisir ensuite **Création d'un signal par synthèse** (dernier choix de la liste).

🔗 Dans la fenêtre qui s'ouvre, sélectionner **Filtre pour émission sur HP** puis **Créer un nouveau spectre**. Pour la **plage de fréquence**, sélectionner **0 à 10 kHz**. Deux fenêtres s'ouvrent alors, faire les réglages qui suivent dans celle du bas (**Nouvelle amplitude**)



**Ne surtout pas fermer la fenêtre Synthèse d'un nouveau son.**

🔗 Par un double clic sur les ordonnées, changer l'échelle, choisir **min : -0,5 V ; max : 6 V**

🔗 Par un double clic sur les abscisses, changer l'échelle, choisir **min : 0 Hz ; max : 5,5 kHz**

🔗 Pour chacune des fréquences  $f_n$  du tableau, régler le curseur dans la fenêtre **Nouvelle amplitude** sur l'une des fréquences du tableau, cliquer, puis déplacer le curseur vers le haut pour régler à la valeur de l'amplitude correspondante.

🔗 Recommencer pour les autres fréquences du tableau. La fenêtre **Synthèse de la nouvelle amplitude** figure les variations du signal synthétisé.

**APPEL**

**Appeler le professeur pour qu'il constate ou en cas de difficulté**



🔗 Répondre à la question du paragraphe 4.1. de la feuille bilan.

#### 4.2. Restitution

🔗 Sélectionner le **paramétrage de l'émission** (👇). Choisir **Sortie SA1** puis **Courbes**. Dans cette catégorie sélectionner **Synthèse de la nouvelle amplitude**



**L'émission commence dès que le haut-parleur est branché. La stopper en débranchant l'un des fils.**

🔗 Brancher le haut parleur entre les sorties **SA1** et 🗑️ de la centrale d'acquisition

🔗 Répondre à la question du paragraphe 4.2. de la feuille bilan.

#### 4.3. Autres sons

🔗 Recommencer les mêmes étapes (synthèse et restitution) pour d'autres sons d'instruments étudiés pendant le TP.

🔗 Répondre à la question du paragraphe 4.3. de la feuille bilan.

### 5. Pour les plus rapides

Pour de nombreux instruments à vent tels que la flûte, la façon de souffler à une influence importante sur le son produit. En effet la force du vent envoyé dans l'embouchure peut permettre d'obtenir plus d'un demi-ton de variation pour un même doigté. La flûte (comme le saxophone et le hautbois par exemple) est également prédisposée au saut d'octave. En adaptant son souffle, pour un même doigté, on entend alors une note dont le nom est le même mais plus aiguë d'une octave.

**Remarque :** en musique, une octave est l'intervalle séparant deux sons dont la fréquence fondamentale de l'un vaut le double de la fréquence de l'autre.

🔗 Proposer un protocole puis, **après validation du professeur**, réaliser les enregistrements et mesures permettant de mettre en évidence la propriété "octaviante" de la flûte.