

# TP : L'analyse spectrale d'un son

## I. Position du problème

### Document 1 : L'origine de l'analyse spectrale

Les physiciens et les mathématiciens ont depuis longtemps cherché à rationaliser les sensations et la production des sons musicaux, à expliquer l'origine des consonances, harmonies et effets de timbres, à décrire les phénomènes vibratoires par des lois simples. De nombreux physiciens et théoriciens se sont donc intéressés à l'acoustique musicale. Parmi eux, on trouve de grands noms tels Pythagore, Zarlino, Ohm, Savart, Fourier, Helmholtz... Le mathématicien Joseph Fourier (1768-1830) a montré qu'un son complexe peut être décomposé en une somme de signaux sinusoïdaux (appelés harmoniques) aux amplitudes variables, mais dont les fréquences  $f_n$  sont un multiple d'une fréquence de base appelée fréquence fondamentale (ou fréquence du premier harmonique).

### Document 2 : Fréquence d'un son musical

Tout son musical (ou note) possède une fréquence fondamentale correspondant à sa hauteur. Dans la musique occidentale, les catégories de hauteurs sont au nombre de douze. Sept d'entre elles sont considérées comme les principales et portent pour noms : do, ré, mi, fa, sol, la et si. L'intervalle compris entre deux hauteurs dont la fréquence de l'une vaut le double (ou la moitié) de l'autre s'appelle une octave. Pour distinguer deux notes de même nom dans deux octaves différentes, on numérote les octaves et donne ce numéro aux notes correspondantes : par exemple, le  $la_3$  a une fréquence de 440 hertz dans la norme internationale. Cette fréquence de référence est donnée par un diapason.

Fréquences des hauteurs (en hertz) dans la gamme tempérée								
Note / Octave	0	1	2	3	4	5	6	7
Do	32,70	65,41	130,81	261,63	523,25	1046,50	2093,00	4186,01
Ré	36,71	73,42	146,83	293,66	587,33	1174,66	2349,32	4698,64
Mi	41,20	82,41	164,81	329,63	659,26	1318,51	2637,02	5274,04
Fa	43,65	87,31	174,61	349,23	698,46	1396,91	2793,83	5587,65
Sol	49,00	98,00	196,00	392,00	783,99	1567,98	3135,96	6271,93
La	55,00	110,00	220,00	440,00	880,00	1760,00	3520,00	7040,00
Si	61,74	123,47	246,94	493,88	987,77	1975,53	3951,07	7902,13

L'objectif du TP est de mettre en évidence la décomposition d'un son par analyse spectrale.

## II. Simulation d'une analyse spectrale - Livre p 52

Nous allons montrer que lorsque l'on additionne des sons purs (signaux sinusoïdaux) de fréquences  $2f, 3f, \dots$  on obtient un signal complexe. On choisira le  $la_3$  de fréquence 440 Hz. Puis nous ferons l'analyse de Fourier de ce signal pour montrer que l'on retrouve bien tous les harmoniques qui ont permis sa construction.

Pour cela :

► Lancer LatisPro.

► Aller dans l'onglet Traitements → Tableur, puis l'onglet Variables et Nouvelle. La nommer t en s.

Sélectionner la colonne en cliquant sur t puis retourner dans l'onglet Variables → Remplir avec une rampe :

— valeur initiale : 0

— valeur finale :  $20 \cdot 10^{-3}$  que l'on écrira 20e-3

— nb Points : 2048

► Créer la variable  $u_1$  sans unité.

Sélectionner sa colonne et la remplir en utilisant la formule  $u_1 = \sin(2 * \text{pi} * 440 * \text{t})$ . Il suffit de taper ce qui est encadré dans la partie après « fx » (avec le = comme dans excel).

► Faire de même avec les 4 harmoniques suivants ( $u_2, u_3, u_4$  et  $u_5$ ) en utilisant la relation suivante :

$u_n = \sin(2\pi f_n t)$  et  $f_n = n f$  avec  $n \in \mathbb{N}^*$  ( $n = 2; 3; 4; 5$ ) et  $f = 440$  Hz.

Étape 1 :

► Créer la variable  $u$  et la remplir avec le signal  $u = u_1 + u_2 + u_3 + u_4 + u_5$  associé au son étudié, en considérant que ce son n'est constitué que des 5 premiers harmoniques cités.

► Fermer le tableur.

► Afficher la courbe  $u_1$  :

— cliquer sur  $u_1$  et déposer  $u_1$  à côté de l'axe des ordonnées.

— Cliquer sur t et déposer t en bas en dessous de l'axe des abscisses (voir aussi fiche d'aide).

► Faire de même pour  $u_2$  et  $u$  dans deux autres fenêtres.

1. Pourquoi qualifier le son étudié de son complexe ?
2. La fréquence de  $u$  (donc du son étudié) est égale à celle de l'un des signaux ( $u_1, u_2, \dots$ ) qui le constituent. Quel est ce signal ? Mesurer la valeur de cette fréquence.
3. Comment, d'après le document 1, appelle-t-on le son pur correspondant à ce signal ?

Étape 2 :

► Utiliser la fonction qui permet de réaliser l'analyse de Fourier des différents signaux précédents : onglet Traitements → Calculs spécifiques → Analyse de Fourier (ou plus rapide, touche F6).

Cliquer sur  $u_1 = \text{fct}(t)$  en bas en gauche (attention pas  $u_1$  en haut à gauche, cela ne marchera pas) et le déposer dans le champ Courbe puis Calcul. Une fenêtre s'ouvre avec la transformée de Fourier.

Observer, pour chacun d'eux, les figures obtenues, appelées spectres. Le spectre d'un signal prend la forme d'un diagramme en bâtons.

4. Que représentent l'abscisse et l'ordonnée de chaque bâton ?
5. Mesurer, à l'aide du réticule, la valeur de chaque fréquence pour chaque signal et conclure.

### III. Acquisition d'un son et analyse spectrale avec le logiciel Audacity

Matériel : Micro, flute, logiciel Audacity, fiche d'utilisation d'Audacity.

- ▶ Faire un enregistrement d'une note jouée avec une flute.
- ▶ Faire une sélection de la zone à analyser. (Zoomer si nécessaire).
- ▶ Dans Analyse, choisir Tracé d'un spectre.
- ▶ Sélectionner Fréquence linéaire ou logarithmique, taille 4096, hanning window
- ▶ Noter les fréquences des pics.

6. En s'aidant du document 2, retrouver le nom de la note jouée.
7. La justesse d'un instrument à vent dépend de la manière de souffler. Effectuer plusieurs enregistrement pour un même doigté mais en soufflant plus ou moins fort. Expliquer les effets sur la fréquence mesurée.

### IV. Analyse spectrale avec LatisPro

▶ Ouvrir les fichiers contenant des enregistrements d'une même note sur différents instruments (sur le réseau, physique, TS, chap 3).

8. Déterminer à l'aide de l'outil réticule, la période de chaque enregistrement. En déduire la fréquence.
9. Faire l'analyse de Fourier de chaque enregistrement. Noter les valeurs des différents pics. Comparer aux résultats trouvés à la question précédente. Conclure.

Et pour les plus rapides :

Effectuer une acquisition avec LatisPro d'une note jouée par une flûte.

Choisir la durée d'enregistrement et le nombre de points d'acquisition, sachant qu'il est souhaitable d'avoir une dizaine de période du signal et environ 200 points par période.

Noter les paramètres d'acquisition retenus.

Compétences	APP 1	REA 1	COM	AUTO
Auto-évaluation				