TP4 - Spectre d'un signal - Application à l'analyse et la transformation d'un son

Objectifs du TP :

— Réaliser la décomposition spectrale d'un signal périodique

— Modifier le spectre d'un signal

— Modifier un son

I. Décomposition d'un signal périodique

- Joseph FOURIER (mathématicien et physicien français, 1768-1830) a montré qu'un signal (ou fonction) périodique peut se décomposer en une somme infinie de fonctions sinusoïdales simples (cosinus ou sinus ou exponentielles complexes) dont les fréquences sont des multiples de sa fréquence fondamentale. Cette décomposition est appelée série de Fourier.
  Si $u(t)$ est un signal périodique de fréquence f_0 alors il peut s'écrire comme une somme de composantes sinusoïdales :
  $$u(t) = U_0 + \sum_{n=1}^{+\infty} U_{n,\max} \cos(2\pi n f_0 t + \varphi_n)$$
  où :
  - U_0 est la composante continue (valeur moyenne du signal)
  - f_0 est la fréquence fondamentale du signal
  - nf_0 est la fréquence de l'harmonique de rang n
  - $U_{n,\max}$ et φ_n sont respectivement l'amplitude et la phase de cette harmonique.
- Un signal électrique donc peut être représenté de deux manières complémentaires :
  - **Dans le domaine temporel**, on représente l'évolution du signal $u(t)$ en fonction du temps.
  - **Dans le domaine fréquentiel**, on représente les fréquences des différentes composantes sinusoïdales constituant le signal, ainsi que leurs amplitudes : c'est le **spectre du signal** ou représentation harmonique.
- La **valeur efficace** d'une tension variable (ou RMS, pour *Root Mean Square*) correspond à la valeur d'une tension continue qui produirait le même effet thermique (effet Joule) dans une résistance.
  Pour une composante sinusoïdale d'amplitude $U_{n,\max}$, elle s'exprime par :
  $$U_{n,\text{eff}} = \frac{U_{n,\max}}{\sqrt{2}}$$
- Selon l'appareil ou le logiciel utilisé, les composantes spectrales peuvent être représentées par leur amplitude en volts ou par leur niveau de tension en dBV (par rapport à une tension de référence de 1 V) :
  $$Y = 20 \log_{10}\left(\frac{U_{\text{eff}}}{U_{\text{ref}}}\right) \qquad \text{avec} \qquad U_{\text{ref}} = 1\,\text{V}$$
  Par exemple, une composante sinusoïdale d'amplitude $U_{\max} = \sqrt{2}\,\text{V}$ possède une valeur efficace de 1 V et correspond donc à un niveau de 0 dBV.
- Dans ce TP, les représentations spectrales seront obtenues avec :
  - **Latis-Pro** : amplitudes des harmoniques exprimées en volts ;
  - **L'oscilloscope** : niveaux des harmoniques exprimés en dBV.

QP1 Reprendre le code Latis Pro utilisé lors de la séance 8 de TD. A l'aide du code de la question 4) du TD, visualiser un signal créneau +5V/-5V de fréquence 1 kHz. Réaliser et imprimer son spectre. Reproduire et remplir le tableau ci-dessous :

Composante	DC	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9
Fréquence (Hz)	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000
Amplitude (V)										
Valeur efficace (V)										
Valeur efficace (dBV)										

QM1 - Spectre d'une sinusoïde. Régler le GBF pour avoir un signal sinusoïdal d'amplitude 6,3V et de fréquence 1kHz. Réaliser la décomposition spectrale sur Latis Pro. Imprimer le spectre obtenu et relever la fréquence et l'amplitude des différentes composantes. Ce résultat était-il prévisible ? Réaliser la décomposition spectrale sur l'oscilloscope et relever la fréquence et l'amplitude (dBV) des différentes composantes.

QM2 - Spectre d'un créneau. Régler le signal de la QP1 sur le GBF et l'observer sur l'oscilloscope. Réaliser la décomposition spectrale sur l'oscilloscope et relever dans un tableau la fréquence et l'amplitude (dBV) des différentes composantes jusqu'au rang 9. Comparer les résultats à ceux de la QP 1.

II. Modification du spectre d'un signal créneau

Nous allons maintenant chercher à modifier le spectre du signal créneau précédent à l'aide d'un filtre.
Nous allons utiliser un filtre passe-bas qui transmet les tensions de basse fréquence et atténue les tensions de haute fréquence.
$u_e(t)$ est le signal créneau défini en QP1.
On prend L=40 mH, C=330 nF, $R = r + R_L$=250 Ω.
On mesurera la résistance de la bobine pour ajuster r.
On définit la **fonction de transfert** du système par :

$$\underline{H} = \frac{\underline{u_s}}{\underline{u_e}}.$$

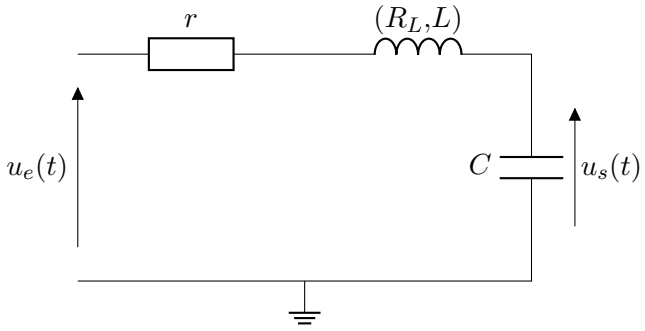


Figure 1

QP2 – Etude du filtre RLC

a. En utilisant un pont diviseur de tension, montrer que la fonction de transfert du circuit s'écrit :

$$\underline{H} = \frac{1}{1 - LC\omega^2 + jRC\omega}$$

b. Par une étude aux limites, montrer que le filtre est bien passe-bas.

On choisit ici arbitrairement comme **fréquence de coupure** f_c la fréquence propre du filtre $f_0 = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.
Cette fréquence définit arbitrairement la limite entre les fréquences pour lesquelles les composantes sont « passantes » et celles pour lesquelles les composantes sont « atténuées » voire « coupées ». Nous allons chercher à fixer la fréquence de coupure entre 1kHz (fréquence du fondamental du signal) et 3kHz (fréquence de la première harmonique non nulle) de façon à conserver le fondamental et filtrer les harmoniques.

c. Calculer la valeur de C pour obtenir une fréquence de coupure $f_c = 1,4$ kHz.

Le **gain en amplitude** est défini par :

$$G(\omega) = |\underline{H}(j\omega)| = \frac{U_{s,\text{eff}}}{U_{e,\text{eff}}} = \frac{U_{s_{max}}}{U_{e_{max}}}.$$

QP3 – Gain et prévision du signal filtré

a. Donner l' expression du module $|\underline{H}|$ de la fonction de transfert.

b. Calculer le gain théorique G^{theo} aux fréquences 1 kHz, 3 kHz, 5 kHz, 7 kHz et 9 kHz. Comparer les valeurs. On pourra utiliser un tableur et on représentera les résultats dans un tableau.

c. Prévoir quelles composantes seront principalement conservées et proposer l'allure approximative du signal de sortie.

QM4 Réaliser le montage de la figure 1 et le **faire vérifier**. Observer à l'oscilloscope les formes de $u_e(t)$ et $u_s(t)$. Ces observations sont-elles conformes aux prévisions de la QP3 ?

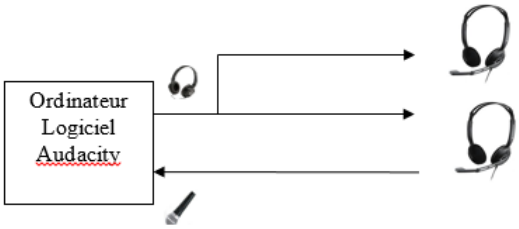
QM5 Réaliser la décomposition spectrale de $u_e(t)$ et de $u_s(t)$ sur l'oscilloscope et relever dans un tableau la fréquence et l'amplitude (dBV) des différentes composantes jusqu'au rang 9 (attention de ne pas utiliser les mesures de la QM2 pour les valeurs des composantes de $u_e(t)$ mais de les mesurer !). Calculer le gain expérimental et comparer les résultats à ceux de la QP3. Conclure quant aux possibilités et aux limites de transformer la forme d'un signal à l'aide d'un filtre.

III. Application : comment peut-on modifier un son ?

Nous allons étudier l'une des applications de la modification du spectre d'un signal : la modification d'un son. Nous n'allons pas réaliser une table de mixage en salle de TP ... mais nous allons essayer de nous en approcher !

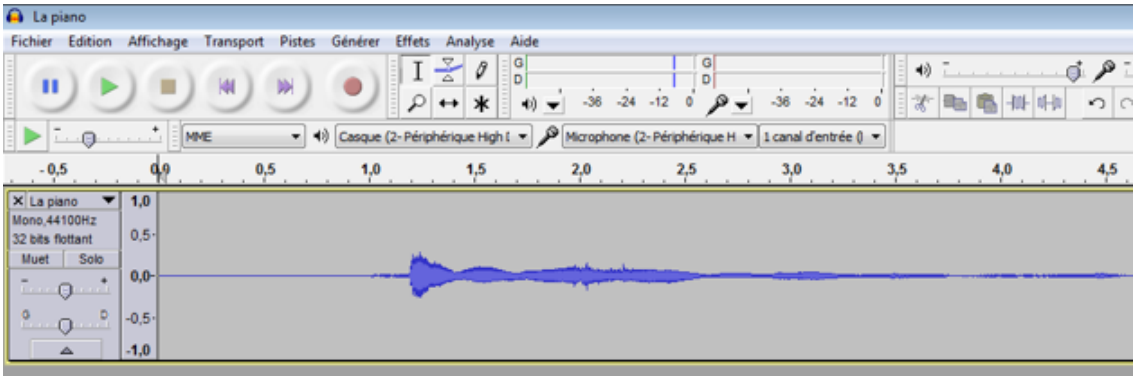
QP4 En quelques lignes, décrire ce qu'est le « timbre » d'un son et les méthodes pour l'analyser. Qu'est-ce que l' « attaque » d'un son ?
Comment doit-on modifier la fréquence d'un son pour le monter d'une octave ? le descendre d'une octave ?

Afin d'analyser et modifier des sons, nous allons utiliser le logiciel Audacity, qui permet de lire, analyser, transformer voire mixer des sons. Nous produirons, écouterons et analyserons les sons à l'aide du montage ci-contre. Dans le dossier P3, vous trouverez les sons (un La) de plusieurs instruments : La-Piano, La-Guitare, La-Accordeon, La-Trompette, la-Violon.



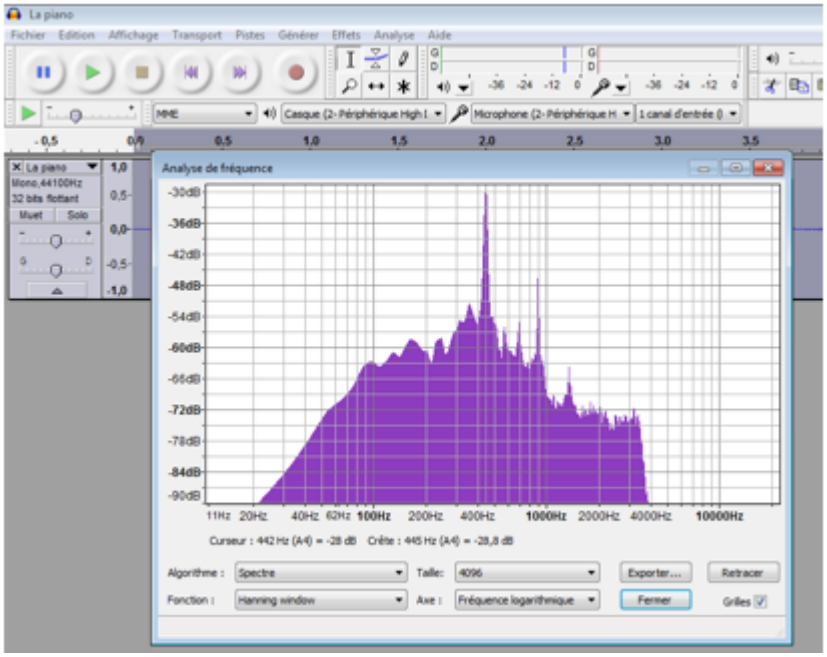
QM6 Sur le logiciel Audacity, importer le fichier audio de votre choix. Lire et écouter le fichier.

- Obtenir un oscillogramme sur Audacity (voir ci-dessous).



- Obtenir le spectre de ce son sous Audacity : *Analyse / Tracer le spectre* (voir ci-dessous).

- Faire la même chose un autre fichier au choix et avec le fichier « LaVoix.mp3 ».
- Pour chaque son, on fera une capture d'écran des spectre obtenus. **Imprimer les trois spectres sur la même page**.
- Sur chaque spectre, repérer clairement le fondamental et les différentes harmoniques pour chaque son. Comparer et Commenter.
- Conclure sur le lien entre timbre et harmoniques d'un son.



Nous allons maintenant chercher à enregistrer notre voix puis à la transformer. Dans un premier temps, il faudra chanter (doucement ...) une note située dans le timbre naturel de votre voix, note maintenue pendant quelques secondes avec un volume constant. Cette note sera enregistrée à l'aide d'Audacity et on essaiera de s'affranchir du problème d' « attaque » en démarrant l'enregistrement lorsque la note est déjà chantée et en arrêtant l'enregistrement lorsque la note est encore chantée.

QM7 Réaliser sous Audacity l'acquisition de cette note chantée. Il faut avoir un niveau d'enregistrement raisonnable et non saturé.

- Obtenir le spectre de ce son sous Audacity : *Analyse / Tracer le spectre*.
- Faire une capture d'écran du spectre.

QM8

- Appliquer à l'un des sons précédent un filtre passe-bas ou un filtre passe-haut dans Audacity.

  A tout moment, vous pouvez annuler le filtre précédent par Edition / Annuler.
- Choisir une fréquence de coupure permettant une modification audible sans supprimer complètement le son. Ecouter le résultat et comparer le spectre avant/après filtrage. Pour chaque filtre, préciser les réglages retenus, les composantes principalement modifiées et les effets perçus a l'écoute.