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

Rappel : Joseph FOURIER (mathématicien et physicien français, 1768-1830) a montré que tout signal périodique peut se décomposer en la somme infinie (ou série) d'une composante continue et de composantes sinusoïdales de différentes fréquences. Cette décomposition est unique.

- La composante continue est aussi la valeur moyenne du signal ;
- La composante qui a la fréquence la plus faible est appelée le fondamental du signal car il a la même fréquence que le signal ;
- Les autres composantes sinusoïdales sont les harmoniques.

Tout signal périodique est décomposable en série de Fourier. On peut représenter les différentes composantes de sa décomposition de deux manières :

- Représentation temporelle
- Représentation harmonique ou **spectre** du signal

On peut mesurer ce spectre avec un oscilloscope ou en utilisant Latis Pro.
Dans les deux cas, on mesure la tension efficace du signal définie par la relation $U_{eff} = \dfrac{U_{max}}{\sqrt{2}}$ pour un signal sinusoïdal d'amplitude U_{max}. Cette valeur efficace peut également être exprimée en décibels-volts (dBV) à l'aide de la formule : $Y = 20\log(U_{eff})$, où Y est dBV.
L'oscilloscope donne la valeur efficace pour chaque composante en dBV (décibel-volts) alors que Latis Pro donne directement l'amplitude en V.

QM1 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.

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 :

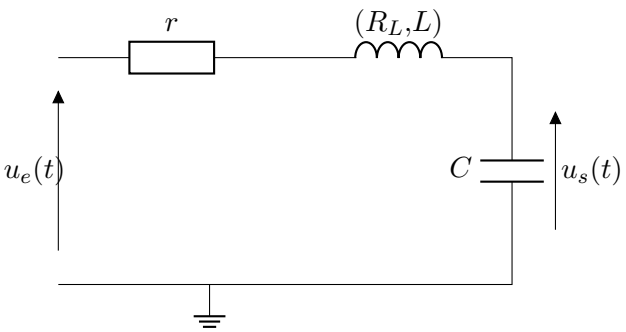
Composante	DC	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9
Fréquence (Hz)	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000
Amplitude (V)										
Valeur efficace (V)										
Valeur efficace (dBV)										

QM2 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.

QM3 Réaliser la décomposition spectrale sur Latis Pro. Imprimer le spectre obtenu et relever dans un tableau la fréquence et l'amplitude des différentes composantes jusqu'au rang 9. Comparer les résultats à ceux de la QP 1.

II. Modification du spectre d'un signal

Nous allons maintenant chercher à modifier le spectre du signal 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 $\underline{H} = \dfrac{\underline{u_s}}{\underline{u_e}}$.



QP2 En utilisant un pont diviseur de tension, montrer que la fonction de transfert du circuit s'écrit :

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

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

On choisit ici comme **fréquence de coupure** $f_c = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$. 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.

QP3 Calculer la valeur de C pour obtenir une fréquence de coupure $f_c = 1,4$ kHz.

QP4 Donner l' expression du module $|\underline{H}|$ de la fonction de transfert.

On a la relation suivante entre l'amplitude du signal de sortie $U_{s_{max}}$ et l'amplitude du signal d'entrée $U_{e_{max}}$:

$$U_{s_{max}} = |\underline{H}| U_{e_{max}}$$

Pour chaque composante du signal $u_e(t)$, on définit l'atténuation du signal $u_e(t)$ par le filtre (représenté par sa fonction de transfert $\underline{H}$) de la façon suivante :

$$\begin{aligned}
\text{Atténuation (dBV)} &= U_e\,(dBV) – U_s\,(dBV) \\
&= 20\log(U_{e_{eff}}) - 20\log(U_{s_{eff}}) \\
&= -20\log\left(\frac{U_{s_{max}}}{U_{e_{max}}}\right) \\
&= -20\log(|\underline{H}|)
\end{aligned}$$

QP5 Pour chaque composante du signal d'entrée, calculer les atténuations, en dBV, réalisées par le filtre. On pourra utiliser un tableur et on représentera les résultats dans un tableau.

Quelle est la composante du signal $u_e(t)$ la moins atténuée ? Peut-on prévoir quelle va être la forme (approchée) du signal $u_s(t)$?

QM4 Réaliser le montage (en prévoyant une observation de $u_e(t)$ et $u_s(t)$ à l'oscilloscope) et le **faire vérifier**. Observer les formes de $u_e(t)$ et $u_s(t)$. Ces observations sont-elles conformes aux prévisions de la QP5 ?

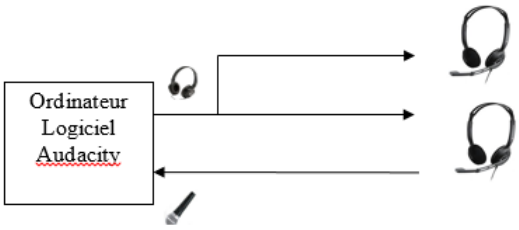
QM5 Réaliser la décomposition spectrale de $u_e(t)$ et de $u_s(t)$ sur l'oscilloscope et relever dans un tableau la fréquence, l'amplitude (dBV) des différentes composantes jusqu'au rang 9 et l'atténuation du filtre pour chacune des composantes (ne pas utiliser les mesures de la QM2 pour les valeurs des composantes de $u_e(t)$). Comparer les résultats à ceux de la QP5. 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 ?

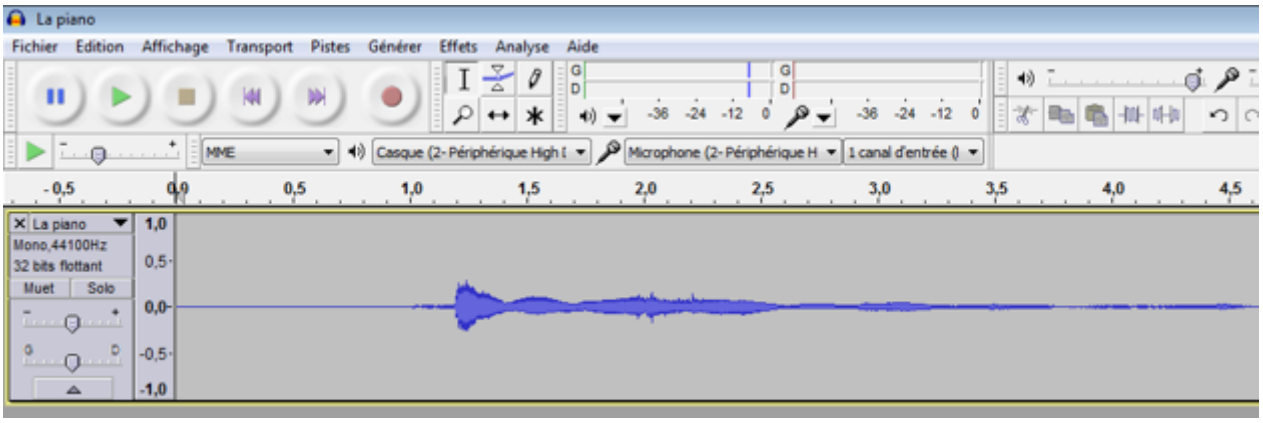
Nous allons étudier l'une des applications de la modification du spectre d'un signal : la modification d'un son. Nous n'allons pas réaliser une table de mixage en salle de TP ... mais nous allons essayer de nous en approcher !

QP6 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 Réaliser le montage. Sur le logiciel Audacity, importer le fichier audio de votre choix. Lire et écouter le fichier. Obtenir un oscillogramme sur Audacity (voir ci-dessous).



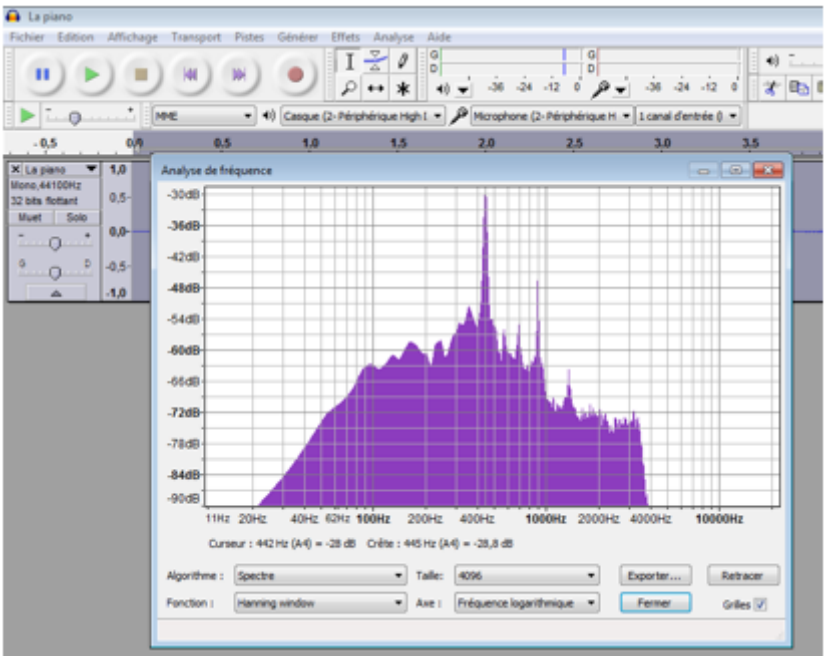
Obtenir le spectre de ce son sous Audacity : *Analyse / Tracer le spectre* (voir ci-dessous).

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 On souhaite monter la note enregistrée d'une octave (sans la réenregistrer !). Quelle(s) composante(s) proposez-vous d'atténuer / de filtrer ? Quelle(s) composante(s) doit-on conserver ? Quel(s) filtre(s) proposez-vous d'utiliser ?

Rechercher un filtre adapté puis tester-le en écoutant la transformation acoustique : *Effets / Low Pass Filter* (Filtre Passe Bas) ou/et *Effets / High Pass Filter* (Filtre Passe Haut) avec une atténuation en dB/oct relativement forte.
A tout moment, vous pouvez annuler le filtre précédent par Edition / Annuler.

Quand le résultat vous convient, préciser le filtre retenu et faire une capture d'écran du spectre obtenu. Imprimer le spectre de la note chantée avant et après modification. Commenter.