

TP 06 de Physique : Représentation fréquentielle de signaux

Capacités exigibles :

- Savoir analyser un spectre de raies : identification du fondamental, de l'harmonique de rang n.
- Savoir qu'un signal périodique peut se décomposer en une somme de sinusoïdes
- Savoir utiliser la décomposition d'un signal périodique en une somme de sinusoïdes

Capacités expérimentales :

- Utiliser le code Python afin de tracer des signaux et de mesurer leurs grandeurs caractéristiques
- Utiliser le code Python afin de tracer des spectres de signaux.
- Utilisation de la fonction réticule de PYZO

Depuis le début de l'année, nous avons étudié et caractériser les signaux grâce à leur représentation temporelle, c'est-à-dire l'étude du signal (en général, une tension) au cours/en fonction du temps.

On peut aussi caractériser un signal grâce à sa représentation fréquentielle, c'est-à-dire l'étude du signal en fonction de la fréquence. Ce graphe est appelé « spectre en amplitude » ou « représentation fréquentielle » du signal.

Représentation temporelle	Représentation fréquentielle
Ordonnée : valeur du signal, en volt ici Abscisse : valeur de l'instant, en seconde ici	Ordonnée : amplitude, notée A, en volt Abscisse : fréquence, en Hertz

I. De la représentation temporelle à la représentation fréquentielle d'un signal :

A. Expression numérique du signal étudié :

Dans l'ensemble du I, on étudie le signal $u(t)$ variable, périodique et sinusoïdal dont l'expression numérique est la suivante :

$$u(t) = 5,0 + 3,0 \cos(20000\pi t)$$

1. A l'aide de l'expression numérique de $u(t)$ et par identification, déterminer les valeurs de la valeur moyenne $\langle u \rangle$, l'amplitude U_m , la fréquence f_1 du signal.
2. Ce signal est-il alternatif ? Justifier votre réponse.

B. Représentation temporelle du signal étudié :

Dans PYZO, sous Python (version 3.8.3), ouvrir le fichier « TP06_representation_temporelle.py ».

On souhaite tracer 4096 points du signal $u(t)$, sur une durée correspondant à deux périodes. Dans le code, la variable t_{max} correspond à la **durée de deux périodes**. Compléter les lignes 10 et 12 du fichier, sachant que l'unité de t_{max} est la seconde.

Sur la ligne 15, rédiger l'expression numérique du signal $u(t)$ sachant que la fonction \cos se rédige `np.cos`. Lancer l'exécution du script.

Vérifier que la représentation temporelle obtenue est identique à celle donnée dans l'annexe 01 du TP pour $u(t)$: si ce n'est pas le cas, appeler l'enseignant.

A partir de la représentation temporelle obtenue via Python, répondre aux questions suivantes :

3. A l'aide d'un calcul que l'on explicitera, déterminer la valeur moyenne $\langle u \rangle$ du signal $u(t)$.
4. A l'aide d'un calcul que l'on explicitera, déterminer l'amplitude U_m du signal $u(t)$.
5. Déterminer la période T du signal, en seconde et en déduire sa fréquence, en hertz, notée f_1 .

Vérifier que les valeurs obtenues aux questions 3,4 et 5 sont identiques à celles obtenues à la question 1 pour $u(t)$: si ce n'est pas le cas, appeler l'enseignant.

C. Représentation fréquentielle (ou spectre en amplitude) du signal étudié :

Python permet d'obtenir la représentation fréquentielle d'un signal, en effectuant un calcul complexe nommé la « transformée de Fourier » du signal. Pour que le calcul s'effectue correctement, il faut analyser le signal sur un grand nombre de motifs : 1000 pour ce signal $u(t)$

Dans PYZO, ouvrir le fichier « TP06_representation_frequentielle.py ».

Compléter les lignes 18 à 20 puis 22 et 30 du fichier.

Lancer l'exécution du script.

APPEL 1 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

Chaque trait tracé sur un spectre, s'appelle une raie.

6. Déterminer les coordonnées (avec leurs unités) des sommets de chacune des deux raies présentes. On présentera les coordonnées des sommets comme celles d'un point A en mathématiques :

$$A (x_A ; y_A)$$

7. Indiquer quelle grandeur caractéristique (parmi la liste suivante) du signal $u(t)$ correspond à **chaque coordonnée** :

valeur moyenne, amplitude, fréquence du signal, fréquence de la composante continue

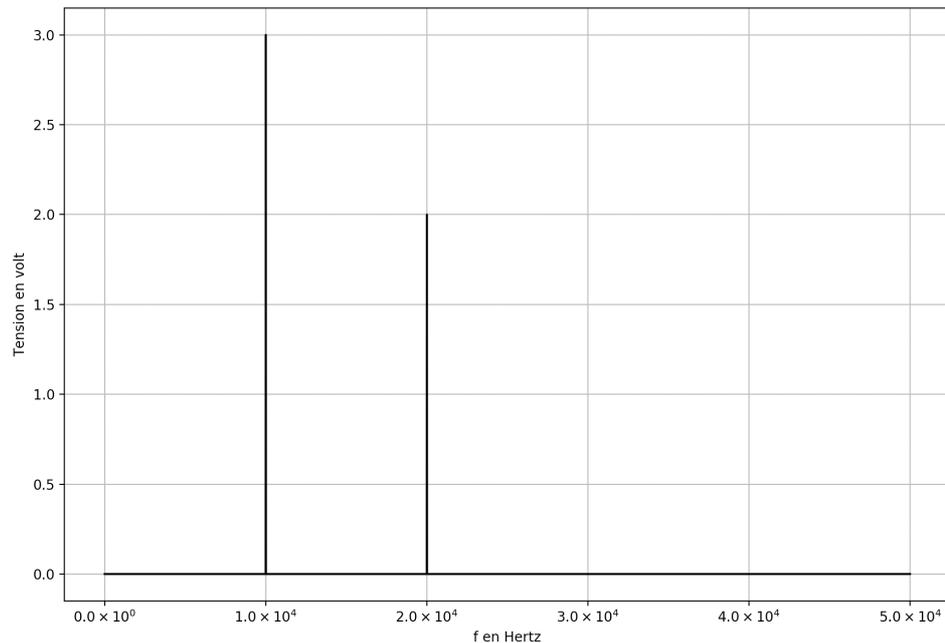
8. Sur l'annexe 01, tracer le spectre dans la case « Représentation fréquentielle » de $u(t)$ en indiquant les coordonnées des points importants et compléter la ligne correspondant à $u(t)$.
9. Indiquer sur l'annexe 01 la raie correspondant à la composante continue du signal et indiquer la raie correspondant à sa composante alternative.

APPEL 2 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

II. De la représentation fréquentielle à la représentation temporelle d'un signal périodique :

A. Étude du signal $v(t)$:

On étudie un nouveau signal $v(t)$, dont la représentation fréquentielle la suivante :



A retenir :

La raie d'abscisse $f = 0 \text{ Hz}$ représente la composante continue d'un signal, de fréquence 0 Hz et de valeur, la valeur moyenne de ce signal.

10. Que vaut la valeur moyenne du signal $v(t)$, notée $\langle v \rangle$? Le signal est-il alternatif ?
11. Déterminer les coordonnées (**avec leurs unités**) des sommets de chacune des deux raies présentes.
12. A l'aide du spectre de $v(t)$ et de votre travail dans le paragraphe I, déterminer une expression numérique de $v(t)$. On prendra les phases à l'origine nulles.

Dans le fichier « TP06_representation_temporelle.py », on souhaite maintenant tracer 65536 points du signal $v(t)$ afin d'obtenir sa représentation temporelle.

Sur la ligne 15, rédiger l'expression numérique du signal $v(t)$. On veillera à changer l'ensemble des u du code, en v (ligne 22).

Lancer l'exécution du script.

Vérifier que la représentation temporelle obtenue est identique à celle donnée dans l'annexe 01 du TP pour $v(t)$: si ce n'est pas le cas, appeler l'enseignant.

13. Qualifier le signal $v(t)$ à l'aide des adjectifs usuels (à l'aide de la fiche méthode 09).

Python permet de calculer rapidement la valeur moyenne d'un signal au motif complexe, grâce à la fonction « `np.mean()` »

Fermer la fenêtre contenant le graphe, puis dans le champ libre à côté des symboles `>>>`, taper :

`np.mean(v)`

Cliquer ensuite sur Entrer. La valeur moyenne du signal $v(t)$ s'affiche en dessous (en volt).

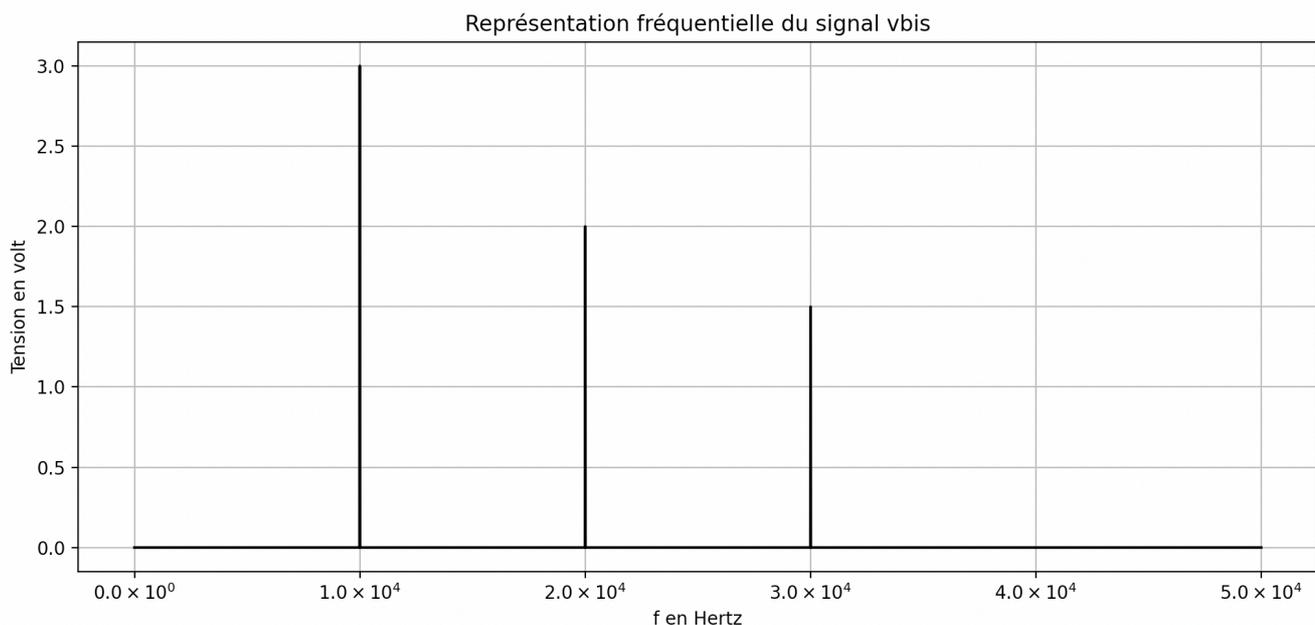
14. Noter la valeur obtenue pour $\langle v \rangle$ et vérifier qu'elle est cohérente avec celle de la question 10. Donner un argument permettant d'expliquer une éventuelle différence entre les deux valeurs.

APPEL 3 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

Lancer l'exécution du script à nouveau afin de réobtenir la représentation temporelle du signal $v(t)$.

15. A l'aide de la représentation temporelle, déterminer la période T du signal, en seconde et en déduire sa fréquence, en hertz, notée f .

On ajoute une troisième raie dans la représentation fréquentielle du signal $v(t)$: ce nouveau signal est appelé $v_{bis}(t)$



16. A l'aide du spectre de $v_{bis}(t)$, déterminer une expression numérique de $v_{bis}(t)$. On prendra les phases à l'origine nulles.

Dans le fichier « TP06_representation_temporelle.py », on souhaite maintenant tracer 65536 points du signal $v_{bis}(t)$ afin d'obtenir sa représentation temporelle.

Sur la ligne 15, rédiger l'expression numérique du signal $v_{bis}(t)$. On veillera à changer l'ensemble des v du code, en v_{bis} (ligne 22).

Lancer l'exécution du script.

17. Cette troisième raie modifie-t-elle la période T du signal, sa fréquence f ou la forme du motif ?
18. A l'aide de la représentation temporelle, déterminer la période T du signal, en seconde et en déduire sa fréquence, en hertz, notée f .
19. La valeur de la fréquence f des signaux $v(t)$ et $v_{bis}(t)$ correspond-elle à celle d'une des raies des spectres de ces signaux ? Justifier alors que la raie possédant un sommet dont l'abscisse est f , soit appelée le « fondamental » du signal.

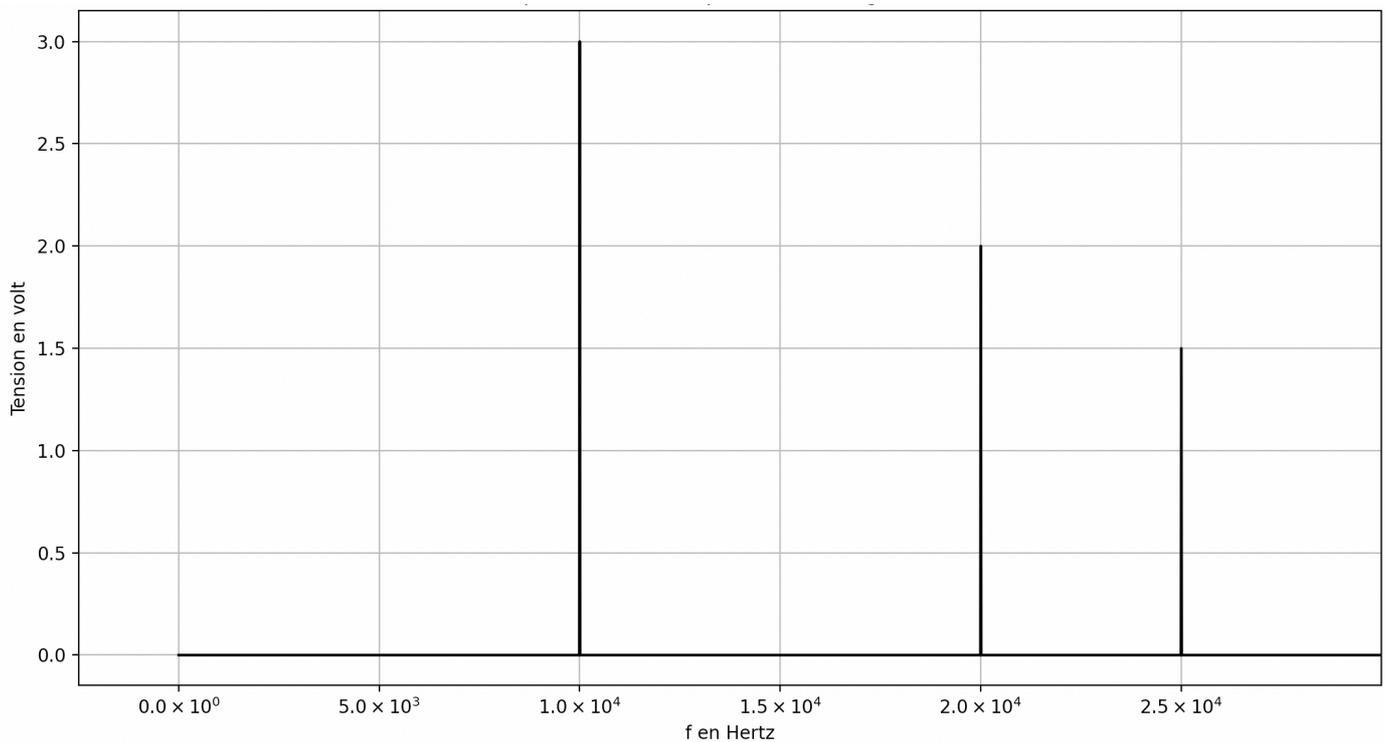
Dans la suite, on note f_1 la fréquence du fondamental (appelée aussi « harmonique de rang 1 ») et f_2 , celle de l'« harmonique de rang 2 » du signal, etc.

20. Quelle formule mathématique simple existe-il entre la fréquence f_1 et la fréquence f_2 ? entre la fréquence f_1 et la fréquence f_3 ? entre la fréquence f_1 et la fréquence f_n (fréquence de l'harmonique de rang n ?

APPEL 4 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

B. Étude du signal $w(t)$:

On étudie un nouveau signal $w(t)$, dont la représentation fréquentielle la suivante :



21. A l'aide du spectre de $w(t)$, déterminer une expression numérique de $w(t)$. On prendra les phases à l'origine nulles.

Dans le fichier « TP06_representation_temporelle.py », on souhaite maintenant tracer 65536 points du signal $w(t)$ afin d'obtenir sa représentation temporelle.

Sur la ligne 15, rédiger l'expression numérique du signal $w(t)$. On veillera à changer l'ensemble des v_{bis} du code, en w (ligne 22).

Lancer l'exécution du script.

22. A l'aide de la représentation temporelle, déterminer la période T du signal, en seconde et en déduire sa fréquence, en hertz, notée f .
23. Cette fréquence f correspond à la fréquence de la première raie visible sur la représentation fréquentielle du signal ?

A retenir :

L'harmonique de rang 1 est appelé le « fondamental » du signal car c'est le signal sinusoïdal alternatif qui **impose** sa fréquence f_1 au signal $u(t)$.

L'harmonique de rang n a pour fréquence $f_n = n f_1$, $n \in \mathbb{N}^*$

La fréquence du fondamental a pour valeur le **plus grand commun diviseur** des fréquences des harmoniques. Le fondamental n'est donc pas toujours la première raie visible (de fréquence non nulle) sur un spectre.

24. A l'aide de l'encadré ci-dessus, déterminer la valeur de f_1 , la fréquence du fondamental, pour ce signal.

La valeur de f et de f_1 doivent être identiques : si ce n'est pas le cas, appeler l'enseignant.

25. Compléter le tableau présent sur l'annexe 01, pour le signal $w(t)$.

APPEL 5 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

III. Analyse spectrale de sons :

A. Signal issu du morceau « Instant Crush » :

Depuis le site internet, télécharger l'ensemble des sons dont vous aurez besoin dans ce paragraphe.

A l'aide d'un casque par étudiant et d'un doubleur, jouer le son nommé « TP06_Instant_Crush.wav ».

Dans REGRESSI, aller dans OUVRIR, sélectionner le type « audio » et ouvrir le fichier sonore TP06_Instant_Crush.wav.

26. S'agit-il d'un son périodique ? Justifier votre réponse à l'aide de la représentation temporelle du signal.

Cliquer sur l'icône « Traiter ». Aller dans FOURIER, choisir FENETRE NATURELLE et cliquer sur « Temps ». Sur la représentation temporelle du signal, sélectionner alors une partie du signal. Il faut que cette zone ait une durée courte devant la durée du signal sonore, mais grande devant la période du signal.

On obtient alors le spectre du signal sonore.

27. Le spectre obtenu pour ce signal est-il constitué d'un ensemble de raies discrètes ou d'une continuité de raies ?

APPEL 6 : Appeler le professeur afin qu'il valide votre travail.

B. Signaux sonores « périodiques » :

On souhaite maintenant réaliser et analyser le spectre de différents sons. On étudie en premier lieu le son émis par un diapason La_3 .

Document 02 : le diapason La_3

En musique, le diapason est un outil de musicien donnant la hauteur ou fréquence d'une note-repère conventionnelle, en général le La, afin que celui-ci accorde ou étalonne son instrument. Par extension, le diapason désigne la fréquence absolue de la note de référence mondialement acceptée.

La Conférence internationale de Londres en 1953 a fixé la fréquence du La3 à 440 Hz.

Document 03 : signal périodique sinusoïdal

Un signal périodique parfaitement sinusoïdal a une extension infinie dans le temps, et dans l'espace.

Dans le temps : ce type de signal n'a donc ni « mort », ni « naissance ».

Dans l'espace : ce type de signal ne voit jamais son amplitude diminuer (pas d'amortissement des oscillations).

Ce type de signal a donc une énergie infinie.

Dans Regressi, aller dans OUVRIR, sélectionner le type « audio » et ouvrir le fichier sonore « La3Diapason.wav ».

A l'aide d'un casque par étudiant et d'un doubleur, jouer le son.

Lire les documents 02 et 03 puis répondre aux questions suivantes :

28. S'agit-il d'un son parfaitement sinusoïdal ? Justifier votre réponse à l'aide de la représentation temporelle du signal et des documents 02 et 03.

Cliquer sur l'icône « Traiter ». Aller dans FOURIER, choisir FENETRE NATURELLE et cliquer sur « Temps ». Sur la représentation temporelle du signal, sélectionner alors une partie du signal où l'amplitude est constante. Il faut que cette zone ait une durée courte devant la durée du signal sonore, mais grande devant la période du signal.

On obtient alors le spectre du signal sonore.

29. A l'aide de l'outil réticule, et du fichier *TP06_frequencies_notes.pdf* (disponible sur le site internet), compléter le tableau correspondant au La3 Diapason, sur l'annexe 03.
30. A l'aide du fichier sonore La3Piano.wav et de Regressi et du fichier *TP06_frequencies_notes.pdf* compléter le tableau correspondant au La3 Piano, sur l'annexe 03.
31. Comparer les spectres de ces deux La3 en indiquant leur(s) point(s) commun(s) et leur(s) différence(s). On ne commentera pas les valeurs des amplitudes.
32. A l'aide du fichier sonore Do3Clarinette.wav et de Regressi et du fichier *TP06_frequencies_notes.pdf* compléter le tableau correspondant au Do 3 Clarinette, sur l'annexe 03.
33. En déduire la grandeur distinguant deux notes.
34. Déterminer, par la méthode de votre choix, la note enregistrée sur le fichier Note1Piano.wav. Rédiger votre démarche expérimentale.

APPEL 7 : Appeler le professeur afin qu'il valide votre travail.