

Capacités exigibles :

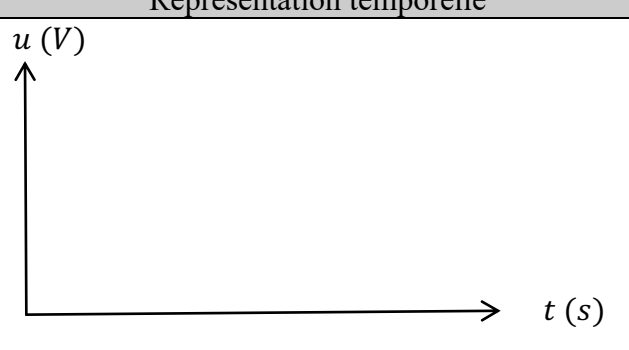
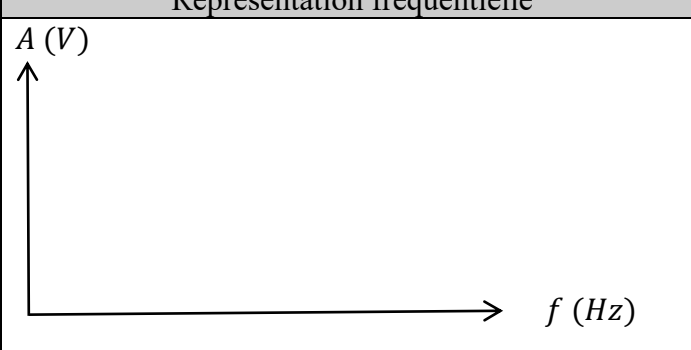
- Énoncer qu'un signal périodique de fréquence  $f$  peut-être décomposé en une somme de signaux sinusoïdaux de fréquence multiple entier de  $f$ .
- Représenter et exploiter un spectre d'amplitude pour identifier le fondamental et les harmoniques.
- Mesurer un taux de distorsion harmonique.

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  $u(t)$  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  $u(t)$ , qualifier à l'aide des adjectifs usuels, le signal étudié.
2. 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.

B. Représentation temporelle du signal étudié :

Dans PYZO, sous Python (version 3.6.7), ouvrir le fichier « TP04\_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 2 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 « TP04\_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*

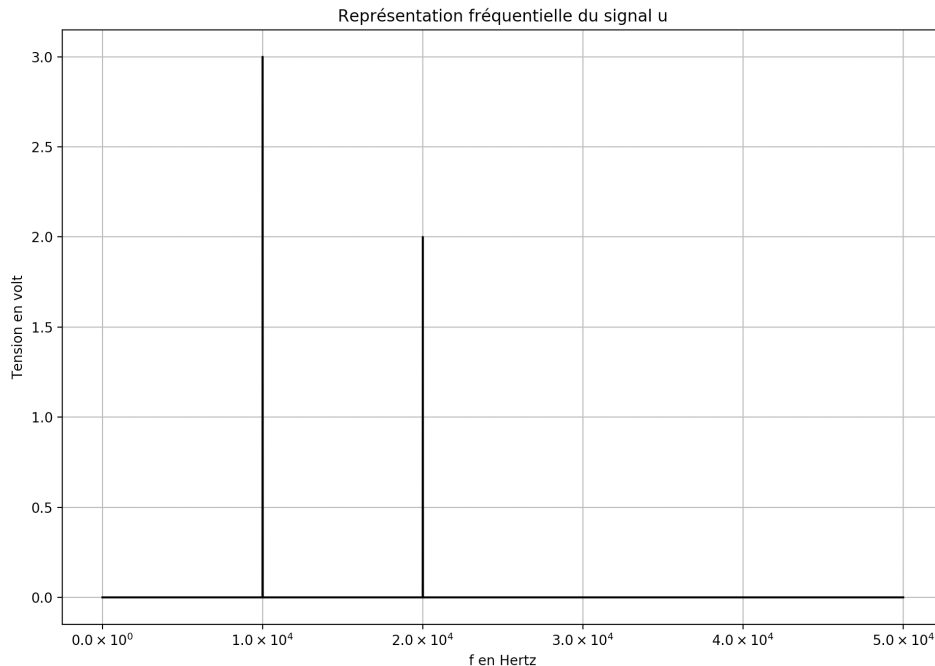
8. Sur l'annexe 01, tracer le spectre dans la case « Représentation fréquentielle » de  $u(t)$  en indiquant les coordonnées des points importants et compléter la ligne correspondant à  $u(t)$ .
9. Entourer en rouge la raie correspondant à la composante continue du signal et en bleu, la raie correspondant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



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  $v(t)$ .

Dans le fichier « TP04\_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 02).

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 (sans calculer d'écart relatif). Donner un argument permettant d'expliquer une éventuelle différence entre les deux valeurs.

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

15. Déterminer la période  $T$  du signal, en seconde et en déduire sa fréquence, en hertz, notée  $f$ .

16. La valeur de la fréquence  $f$  du signal  $v(t)$  correspond-elle à celle d'une des raies du spectre de ce même signal ?

Justifier alors que la raie possédant un sommet dont l'abscisse est  $f$ , soit appelée la raie « fondamentale » du signal.

Dans la suite, on note  $f_1$  la fréquence de la fondamentale (appelée aussi « harmonique de rang 1 ») et  $f_2$ , celle de la deuxième raie (appelée aussi « harmonique de rang 2 ») du signal.

17. Quelle formule mathématique simple existe-il entre la fréquence  $f_1$  et la fréquence  $f_2$  ?

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

#### B. Étude du signal $x(t)$ :

On étudie le signal  $x(t)$  suivante :

$$x(t) = 5,0 \times \cos(2\pi \times \sqrt{20000} \times t) + 2,0 \cos(2\pi \times 200 \times t)$$

18. A partir de son expression numérique, en déduire la représentation fréquentielle théorique du signal  $x(t)$  et la tracer (sans souci d'échelle) sur l'annexe 01.

Dans le fichier « TP04\_representation\_temporelle.py », on souhaite maintenant tracer 65536 points du signal  $x(t)$ . Mettre sur la ligne 12,  $tmax$  à 0.4

Sur la ligne 15, rédiger l'expression numérique du signal  $x(t)$  à l'aide la fonction racine carrée se rédigeant  $np.sqrt()$ .

On veillera à changer l'ensemble des  $v$  du code, en  $x$  (ligne 22).

Éliminer la ligne 31 du code (placer un symbole # devant la ligne, la désactive) puis mettre  $base=10$  à la ligne 33 et  $base=50$  à la ligne 34

Lancer l'exécution du script.

Vérifier que le graphe obtenu est identique à celui donné dans l'annexe 01 du TP pour  $x(t)$  : si ce n'est pas le cas, appeler l'enseignant.

19. A l'aide la représentation temporelle de  $x(t)$  obtenue par Python, déterminer si le signal est périodique. Justifier votre réponse.

20. Existe-il une formule mathématique simple entre les deux fréquences des deux signaux sinusoïdaux alternatifs, identique à celle de question 17 ?

21. Pour conclure cette partie du TP, compléter l'annexe 02 du TP.

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

#### III. Un spectre sans raie fondamentale :

On étudie le signal  $y(t)$  dont l'expression numérique est la suivante :

$$y(t) = 3,0 \cos(200\pi t) + 2,0 \cos(300\pi t)$$

22. Déterminer les valeurs des deux fréquences des signaux sinusoïdaux alternatifs composant le signal  $y(t)$ .

23. La fréquence 150 Hz est-elle un multiple entier de 100 Hz ?

Dans le fichier « TP04\_representation\_temporelle.py », mettre sur la ligne 12,  $tmax$  à 0.04 . Modifier le reste du code afin de tracer la représentation temporelle du signal  $y(t)$ .

On veillera à changer l'ensemble des  $x$  du code, en  $y$  (ligne 22).

Mettre  $base=1$  à la ligne 33 et  $base=5$  à la ligne 34

Lancer l'exécution du script.

24. Qualifier le signal à l'aide des adjectifs usuels (à l'aide de la fiche méthode 02).

25. Mesurer la période  $T$ , en seconde et en déduire la fréquence  $f_1$  du signal.

26. Quelle est la valeur de la fréquence du fondamental ? Quelle est la valeur de l'amplitude  $A_1$  du fondamental ?

27. Quelle est la valeur de la fréquence de l'harmonique de rang 2 ? Quelle est la valeur de l'amplitude  $A_2$  de l'harmonique de rang 2 ?
28. Quelle est la valeur de la fréquence de l'harmonique de rang 3 ? Quelle est la valeur de l'amplitude  $A_3$  de l'harmonique de rang 3 ?

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

IV. Taux de distorsion des signaux périodiques :

Document 01 : qu'est-ce que le taux de distorsion d'un signal périodique ?

On cherche à chiffrer la différence entre un signal périodique de fréquence  $f_1$ , et un signal de référence : un signal variable, périodique et sinusoïdal de même fréquence  $f_1$ .

❖ **Pureté d'un signal :**

Un signal est dit pur s'il est variable, périodique et sinusoïdal (alternatif ou non). Il n'est donc constitué que de sa valeur moyenne (qui peut être nulle) et de sa raie fondamentale.

Un signal est distordu s'il est variable, périodique, de motif autre que sinusoïdal. Il est donc constitué de sa valeur moyenne (qui peut être nulle) et de plusieurs harmoniques.

❖ **Taux de distorsion harmonique :**

Afin de caractériser la pureté d'un signal périodique, on définit le taux de distorsion harmonique, noté  $D$  :

$$D = \frac{\sqrt{A_2^2 + A_3^2 + A_4^2 + \dots}}{A_1}$$

$D$  est sans unité et exprimé en général en pourcentage (car souvent inférieur à 1).

29. A l'aide du document 01, calculer le taux de distorsion harmonique pour les signaux suivants du TP :  $u(t)$ ,  $v(t)$  et  $y(t)$ .
30. Quel signal est « pur » ? Justifier.
31. Quel signal est distordu au maximum ? Justifier.

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

V. 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 « TP04\_Instant\_Crush.wav ».

Dans REGRESSI, aller dans OUVRIR, sélectionner le type « audio » et ouvrir le fichier sonore TP04\_Instant\_Crush.wav.

32. 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 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.

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

**APPEL 7 : 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 *La3*.

Document 02 : le diapason *La3*

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 :

34. 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.

35. A l'aide de l'outil réticule, et du fichier *TP04\_frequencies\_notes.pdf* (disponible sur le site internet), compléter le tableau correspondant au La3 Diapason, sur l'annexe 03.
36. A l'aide du fichier sonore La3Piano.wav et de Regressi et du fichier *TP04\_frequencies\_notes.pdf* compléter le tableau correspondant au La3 Piano, sur l'annexe 03.
37. 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.
38. A l'aide du fichier sonore Do3Clarinette.wav et de Regressi et du fichier *TP04\_frequencies\_notes.pdf* compléter le tableau correspondant au Do 3 Clarinette, sur l'annexe 03.
39. En déduire la grandeur distinguant deux notes.
40. Déterminer, par la méthode de votre choix, la note enregistrée sur le fichier Note1Piano.wav. Rédiger votre démarche expérimentale.

**APPEL 8 : Appeler le professeur afin qu'il valide votre travail.**