

TP14 Analyse de spectres dans les domaines électrique, optique et acoustique

Un signal temporel périodique $s(t)$ peut toujours s'écrire comme une somme de signaux sinusoïdaux :

$$s(t) = \sum_p A_p \cos(\omega_p t + \phi_p)$$

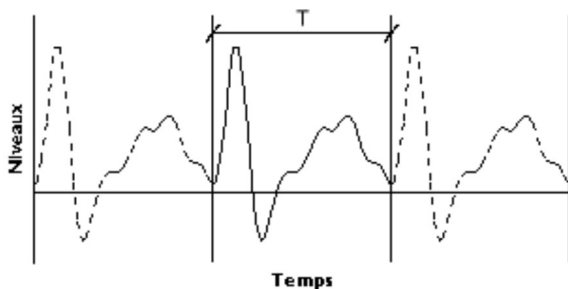
À chaque p (p est un entier) correspond une **harmonique**. Chaque harmonique est caractérisée par son amplitude A_p , sa pulsation ω_p (ou fréquence f_p) et sa phase à l'origine ϕ_p .

La 1^{ère} harmonique s'appelle le **fondamental**.

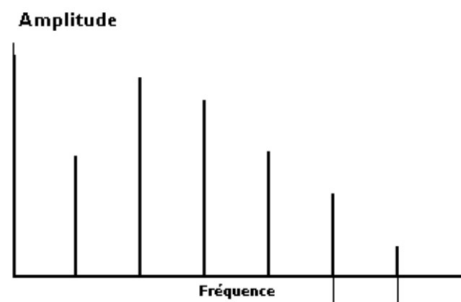
L'**analyse spectrale** consiste à déterminer les fréquences et amplitudes de chaque harmonique composant le signal $s(t)$.

On peut alors représenter graphiquement le spectre du signal $s(t)$ sur un **axe horizontal gradué en fréquence** (ou en pulsation, ou en longueur d'onde) : à chaque harmonique correspond un pic d'abscisse f_p . L'ordonnée est souvent l'amplitude A_p de l'harmonique.

Exemple :

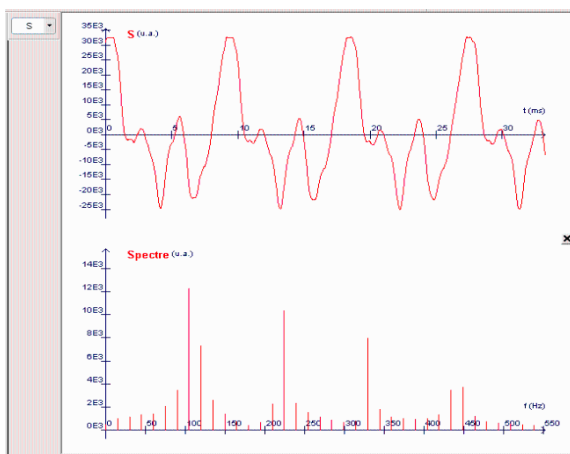


Signal temporel périodique $s(t)$
En abscisse : le temps



Spectre de $s(t)$
En abscisse : la fréquence

En pratique, la décomposition spectrale numérique (FFT : Fast Fourier Transform) effectuée par un oscilloscope ou un logiciel induit des « erreurs ».



Par exemple :

Des pics de faible amplitude apparaissent à côté des pics principaux. Ils sont dus à l'algorithme FFT utilisé et peuvent donc être négligés.

Objectifs de la séance :

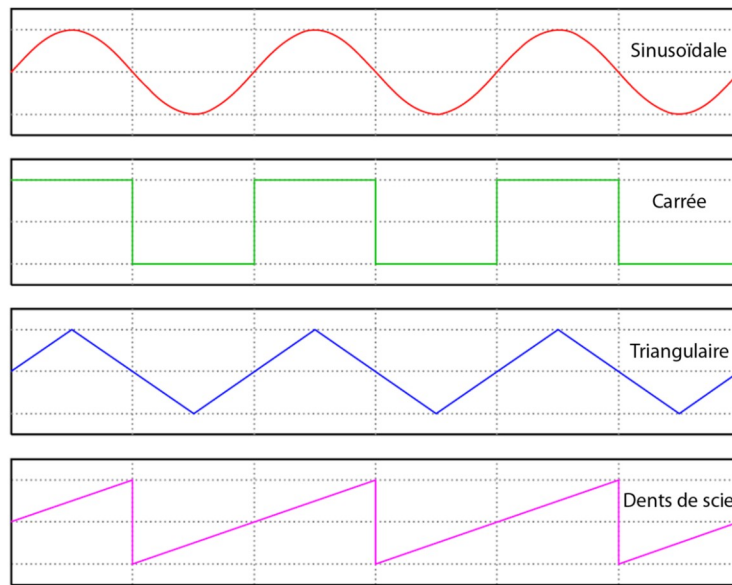
- prise en main de quelques instruments de base
- acquérir quelques techniques expérimentales d'obtention de spectre
- faire le lien entre les caractéristiques d'un signal temporel et les caractéristiques de son

spectre

Consignes pour la prise de notes sur votre compte-rendu :

- le compte-rendu devra comporter des schémas, des reproductions d'oscillogramme et de spectres, des commentaires utiles pour chaque étape du TP
- au fil de la séance, vous prendrez des notes (à réorganiser plus tard) concernant des méthodes d'ordre pratique sur l'oscilloscope
- même chose pour le GBF
- même chose pour Latis Pro et la carte d'acquisition

Rappel : allure d'un signal de forme...



I. Production et analyse d'un signal électrique

I.1. Produire un signal électrique sinusoïdal avec le GBF

Un **générateur basse fréquence (GBF)** est un générateur de tension variable, permettant de produire des signaux de quelques Hz à quelques MHz.



Illustration 1: façade d'un GBF

Sur la façade du GBF, identifier les boutons permettant :

- de régler l'**amplitude** du signal
- de régler la **fréquence** du signal
- de choisir la **forme** du signal (sinus, triangle, dent de scie)

Identifier également la **sortie** du GBF qui porte la mention **50 Ω** . C'est celle que nous utiliserons toujours, sauf indication contraire.

Afin de visualiser le signal, on utilise un **oscilloscope**.

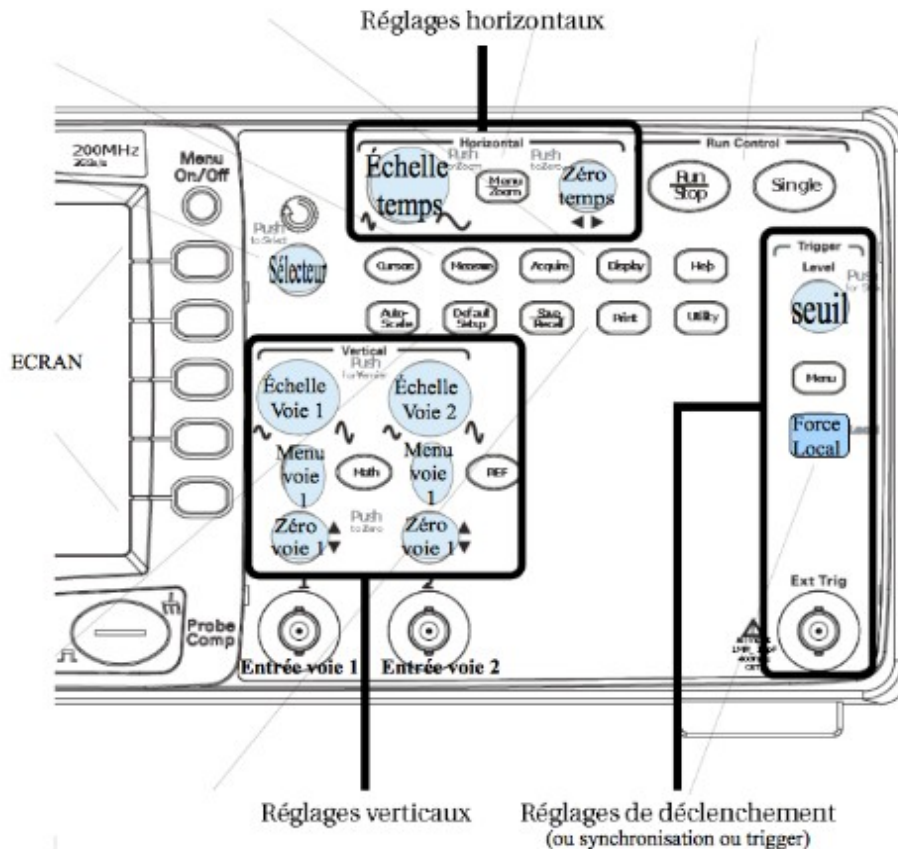


Illustration 2: façade d'un oscilloscope

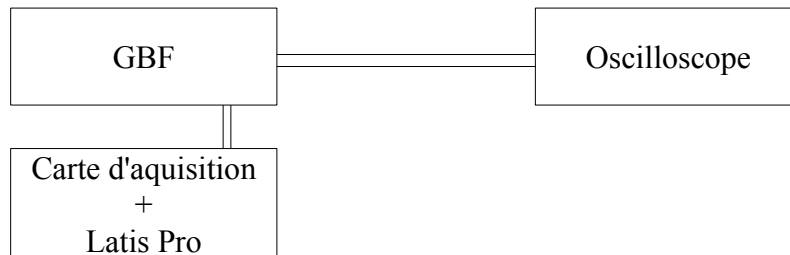
- ✓ Relier le GBF à une entrée de l'oscilloscope (voie 1 ou voie 2) à l'aide d'un câble coaxial.



- ✓ Régler le GBF de manière à produire un signal **créneau** de fréquence **440 Hz** et d'amplitude **1 V**. Rq : il faut une amplitude crête à crête (V_{pp} pour le GBF) de **2V** pour avoir une amplitude de **1V**.
- ✓ Visualiser le signal produit par le GBF en explorant deux méthodes :
 - soit les réglages manuels verticaux et horizontaux
 - soit la touche « Autoscale ».
- ✓ Avec les fonctions de mesure automatiques (bouton « meas ») de l'oscilloscope, vérifier que la fréquence du signal correspond à l'indication donnée par le GBF et affiner les réglages si nécessaire (rq : l'oscilloscope est un instrument de mesure bien plus précis que l'affichage du GBF)

I.2. Visualiser le spectre d'un signal

- ✓ Utiliser le té en sortie du GBF et un câble coaxial BNC-banane pour le relier également à la carte d'acquisition (fiche noire sur la masse et fiche rouge sur l'entrée EA0 par exemple)



- ✓ Paramétrer une acquisition de manière à observer 2 périodes du signal créneau
- ✓ Effectuer l'analyse spectrale de ce signal (menu « traitement » de Latis Pro, puis « calculs spécifiques », puis « analyse de Fourier », ou alors raccourci F6)

Faire varier indépendamment la durée totale d'acquisition et le nombre de points (ou le temps d'échantillonnage T_e). Constatez les effets sur le spectre.

- ✓ Afficher alors un « beau » spectre (bonne résolution, bonne échelle de fréquence) et mesurer, en utilisant le réticule, les fréquences des harmoniques.

Que constatez-vous ?

- ✓ Faire varier la forme du signal : triangulaire, puis sinusoïdal.

Quels sont les effets sur le spectre ?

Bien noter les allures des spectres obtenus pour chaque signal (carré, triangulaire et sinusoïdal)

II. Analyse spectrale d'un signal acoustique

On travaille sur le montage suivant :



Le microphone réalise la conversion du signal acoustique produit par le haut-parleur en un signal électrique. C'est donc en fait un signal électrique que l'on analyse, et on pourra procéder de la même manière qu'au paragraphe précédent.

- ✓ Visualiser le spectre du signal acoustique reçu par le micro.
- ✓ Faire varier la fréquence du signal.

Comment évolue le spectre ? Comment évolue la hauteur (aigu/grave) du son ?

- ✓ Faire varier l'amplitude du signal.

Comment évolue le spectre ? Comment évolue l'intensité sonore ?

- ✓ Faire varier la forme du signal.

Comment évolue le spectre ? Comment évolue le timbre du son ?

Résumer les caractéristiques observées dans un tableau comme celui-ci :

	Si la fréquence augmente...	Si l' amplitude augmente...	Si la forme du signal change...
Effet sur le spectre			
Effet sur la perception auditive			

III. Analyse spectrale de la lumière (signal optique)

Une source lumineuse est caractérisée par son spectre. Autrement dit, le spectre est « la carte d'identité » d'une source. Par habitude, un spectre optique est souvent représenté sur un axe gradué en longueur d'onde.

On peut obtenir le spectre d'un signal optique à l'aide d'un spectromètre. Nous utiliserons un **spectromètre à fibre optique** pour analyser quelques sources : lampe quartz-iode, lumière du jour, tube néon, laser rouge, lampes spectrales...

1) Parmi les différents spectres observés, distinguez :

- les spectres d'émission continus
- les spectres de raies (spectres d'émission discontinus)

Vous noterez sur votre compte rendu l'allure des spectres associés aux différentes sources utilisées. Pour les spectres de raies, bien noter les longueurs d'onde des différents pics obtenus.

2) Identifier la lampe inconnue.

Un spectre donne « la carte d'identité » d'une source. En relevant le spectre de la lampe spectrale inconnue, déterminer de quel gaz elle est constituée par comparaison avec les valeurs tabulées.

Hydrogène	656,3 nm et 486,1 nm
Oxygène ionisé	500,7 nm
Magnésium neutre	518,4 nm, 517,3 nm et 516,7 nm (triplet)
Mercure	404,7 nm ; 435,8 nm ; 546,1 nm ; 577 nm et 579,1 nm
Sodium	589 nm et 589,6 nm (doublet)

Tableau 1: Raies d'émission de quelques gaz

IV. Synthèse de Fourier

1) On donne la décomposition en série de Fourier des signaux :

- **carré** de valeur moyenne nulle, de période T et d'amplitude E :

$$s_{\text{carré}}(t) = \frac{4E}{\pi} \sum_{p=0}^{\infty} \frac{\sin((2p+1)\omega t)}{2p+1} \quad \text{avec} \quad \omega = \frac{2\pi}{T}$$

- **triangle** de valeur moyenne nulle, de période T et d'amplitude E :

$$s_{\text{triangle}}(t) = \frac{8E}{\pi^2} \sum_{p=0}^{\infty} (-1)^p \frac{\sin((2p+1)\omega t)}{(2p+1)^2} \quad \text{avec} \quad \omega = \frac{2\pi}{T}$$

Ces formules sont-elles en accord avec les spectres relevés expérimentalement ? On pourra notamment commenter (en s'aidant de la simulation à l'adresse <https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/Ondes/general/synthese.php>)

- la présence du facteur $(2p+1)$ dans le sinus

- la décroissance en $1/(2p+1)$ de l'amplitude des harmoniques pour le carré vis à vis de la décroissance en $1/(2p+1)^2$ pour le triangle

2) La décomposition en série de Fourier d'un signal dents de scie de valeur moyenne nulle, de période T et d'amplitude E s'écrit :

$$s_{\text{dents descie}}(t) = \frac{2E}{\pi} \sum_{p=1}^{\infty} (-1)^p \frac{\sin(p\omega t)}{p} \quad \text{avec} \quad \omega = \frac{2\pi}{T}$$

En utilisant la simulation, essayer de synthétiser un signal dent de scie.