MATERIEL :ACOUSTIQUE MUSICALE

- les diapasons et leur maillet
- webcam X 9
- le synthétiseur
- Ordi + accès internet + Audacity X 9
- Animation : transformée de Fourier de quelques signaux (Gastebois)

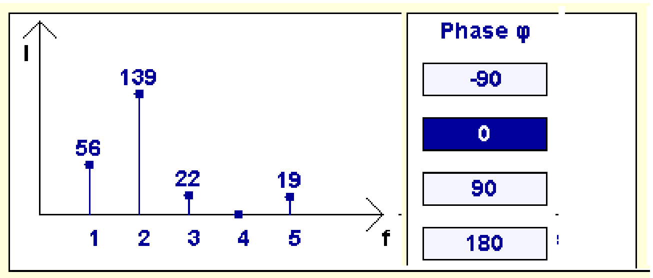
Problématique : comment analyser une note de musique ?

I) décomposition d'un signal périodique en une somme de signaux sinusoïdaux

Cliquer sur l'animation suivante: transformée de Fourier de quelques signaux, puis choisir **somme de fonctions sinusoïdales**. Ce programme permet d'effectuer la somme de fonctions sinusoïdales.

N.B : le spectre d'un signal est la représentation graphique de l'amplitude de ces composantes sinusoïdales en fonction de leur fréquence.

Application: tracer le signal u(t) qui est la somme de signaux sinusoïdaux de fréquence f_n et d'amplitude Um_n (avec n entier) représentées sur le spectre ci-dessous. La fréquence la plus faible sera f_1 = 100 Hz



(abscisse f (Hz) à multiplier par 100)

$$u(t) = u_1(t) + u_2(t) + u_3(t) + u_4(t) + u_5(t)$$

Q1) Compléter le texte ci-dessous :

$u_1(t) = Um_1.\sin(2.\pi.f_1.t)$;Um_1 = 56 ; f_1 = 100 Hz

$u_2(t) = Um_2.\sin(2.\pi.f_2.t)$;Um_2 = ; $f_2 = 2.f_1$ =

$u_3(t)$ = ________________ _______________

$u_4(t)$ = _______________ _______________

$u_5(t)$ = ________________ ________________

En toute rigueur, il faut rajouter la phase φ à l'origine car un signal sinusoïdal a pour équation: $u(t) = Um. \sin(2.\pi.f.t+ \varphi)$; (vous pourrez voir plus tard l'importance de la valeur de la phase dans le cas d'un signal triangulaire).

Q2) Les signaux $u_1(Um_1;f_1)$, $u_2(Um_2;f_2=2.f_1)$.... $u_n(Um_n ;f_n = n.f_1)$ sont appelés **les harmoniques** du signal u(t). $u_1(Um_1;f_1)$ est appelé **l'harmonique de rang 1 ou le fondamental.** Recommencer l'expérience en choisissant au hasard les amplitudes et les fréquences des harmoniques.
Une somme de signaux sinusoïdaux donne-t-elle un signal sinusoïdal ? périodique ?
Comparer la fréquence du fondamental à la fréquence tension u(t).

Réponse: le signal u(t) est un signal périodique. Sa fréquence est égale à celle du fondamental.

En résumé : Compléter le texte suivant :

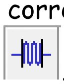
« En 1822 Joseph Fourier montre que tout signal _______________ de fréquence f_1 peut être décomposé en une _______________de signaux sinusoïdaux de fréquence f_n _______________ de f_1 : f_n = _________
Les signaux sinusoïdaux sont appelés les ____________________. L'harmonique de rang 1 appelée également ____________________ possède la même ______________ _____ que le signal périodique.
Le spectre en fréquence d'un signal périodique est la représentation graphique de _________________ en fonction de la _____________________ des différents harmoniques du signal. »

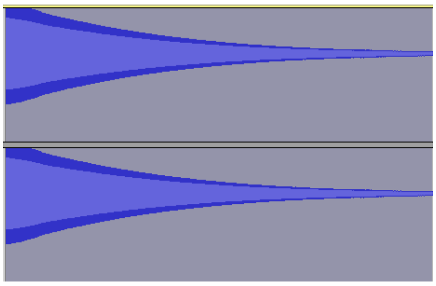
Réponse :

« En 1822 Joseph Fourier montre que tout signal périodique de fréquence f_1 peut être décomposé en une somme de signaux sinusoïdaux de fréquence f_n multiples de f_1: $f_n = n.f_1$.
Les signaux sinusoïdaux sont appelés les harmoniques. . L'harmonique de rang 1 appelée également fondamental possède la même fréquence f_1 que le son. Le spectre en fréquence d'un signal périodique est la représentation graphique de l'amplitude en fonction de la fréquence des différents harmoniques du signal. »

II) analyse du son d'un diapason

1) dispositif expérimental

Brancher la webcam, ouvrir le logiciel ***audacity.***
Cliquer sur le bouton enregistrement, faire vibrer le diapason. Une fois le son inaudible, stopper l'enregistrement.
Découper la partie correspondant à l'enregistrement du son avec l'icône . Décaler l'enregistrement sur l'origine en cliquant sur **piste, aligner les pistes, aligner avec l'origine.** Enregistrer le projet en cliquant sur **fichier, enregistrer le projet** dans vos documents. Choisir le nom de fichier suivant : **diapason.** Passer le diapason à un autre groupe d'élève.



2) intensité sonore I et niveau d'intensité sonore L

Q1) zoomer le signal avec la loupe. Comment évolue son amplitude Um ?

Q2) Utiliser le sonomètre. Réglage du sonomètre :

- Range : Lo   - Response : F   - Funct : A

Faire vibrer le diapason et mesurer le niveau d'intensité sonore maximale L_{max} en décibel émis par le diapason. Comment évolue ce niveau sonore au cours du temps ? Pourquoi ?

Q3) Le niveau d'intensité sonore L d'un son d'intensité sonore I est donné par la formule :

L = 10.log (I/Io)
Avec Io=10^{-12}W.m^{-2} , intensité de référence
Unité: le décibel (dB)

Exemple : Le seuil d'audibilité correspond à I = Io. Le niveau sonore correspondant est :

$$L_o = 10.\log\frac{I_o}{I_o} = 0\,\text{dB}$$

Le seuil de douleur correspond à une intensité sonore **I = 25 W.m^{-2}**.

Le niveau sonore L correspondant est :

$$L = 10.\log\frac{I}{I_o} = 140\ \text{dB environ.}$$

A partir de la valeur du niveau d'intensité sonore L_{max}, calculer l'intensité sonore I émise par le diapason.

Réponses :

Q1 L'amplitude diminue au cours du temps jusqu'à l'extinction sonore.

Q2 Le niveau d'intensité sonore est de l'ordre de L (max) = 90 dB. Il diminue car l'amplitude des oscillations mécaniques diminuent également.

Q3 Résolution effectuée avec L_{max} = 90 dB :

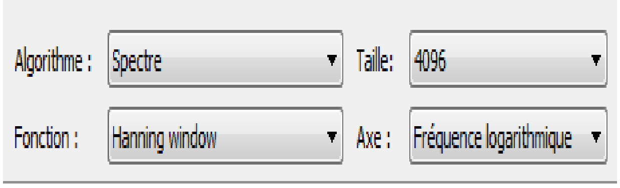
$$L_{\max} = 10.\log\frac{I}{I_o} = 90\ \text{dB}$$

$$\frac{I}{I_o} = 10^{L(\max)/10}$$

$$I = I_0.10^{L(\max)/10} = 1x10^{-12}x10^{9} = 1x10^{-3}\,w/m^2$$

3) analyse spectrale du son

Q4) Isoler une dizaine de période du signal en utilisant la loupe. Quelle est l'allure de la courbe représentative du son émis par le diapason? Sélectionner à nouveau toute la sélection puis cliquer sur **analyse** et **tracer le spectre**. Régler les paramètres suivants :



Déplacer le curseur et déterminer les fréquences et les amplitudes des ou de l'harmonique du signal.

N.B :Les harmoniques dont l'amplitude en décibel est inférieure à -50 dB seront négligées car trop faibles.

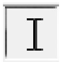
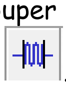
Q5) Quelle est la fréquence du son émis par le diapason ? Pourquoi dit-on que ce son est pur ?

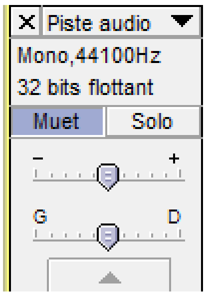
Réponse : l'allure est une sinusoïde (presque parfaite, car en réalité son amplitude diminue au cours du temps). Sa fréquence mesurée f est voisine de 440 Hz ; son amplitude est -15 dB environ. Le son est pur car il n'est constitué que d'un seul harmonique : le fondamental.

III) analyse de 2 notes de même hauteur (fréquence) joué par 2 instruments de musique différents

1) enregistrement des notes

Brancher la webcam, ouvrir le logiciel **audacity**, cliquer sur le bouton enregistrement, sélectionner l'instrument piano du synthétiseur. Appuyer sur la touche correspondant au Do de la seconde octave.

Sélectionner avec l'outil sélection  la partie correspondant à la note.(se limiter à la partie de plus grande amplitude) puis découper la partie correspondante avec l'icône .

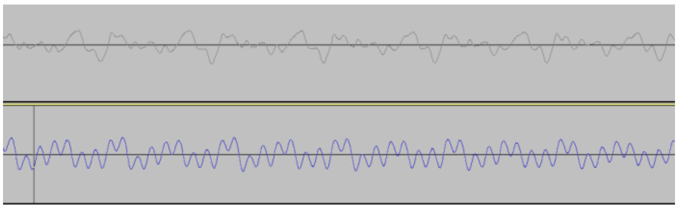


Cliquer sur **piste**, puis ajouter **nouvelle piste mono**. Rendre muet la première piste en cliquant sur **muet**. Changer d'instrument en choisissant **orgue**. Enregistrer la même note en reprenant les étapes précédentes.

Décaler les deux enregistrements sur l'origine en cliquant sur **piste, aligner les pistes, aligner avec l'origine)**.

Enregistrer le projet dans vos documents en cliquant sur **fichier, enregistrer le projet**. Choisir le nom de fichier suivant : **orgue_piano_do_seconde_octave**.

Passer le diapason à un autre groupe d'élève.



2) traitement du signal

Attention : le signal n'étant pas rigoureusement périodique (puisque son amplitude varie), il peut exister, dans le spectre, des signaux sinusoïdaux dont la fréquence n'est pas multiple de la fréquence du fondamental. Se plaçant dans le cas idéal ou le signal à analyser aurait une amplitude constante, on ne relèvera que l'amplitude et la fréquence du fondamental ainsi que les harmoniques de **fréquences multiples du fondamental**.

Q1) Tracer le spectre de chacune des notes en reprenant les consignes fournies au II) Q4. Remplir un tableau donnant l'amplitude A(dB) et la fréquence des 3 premiers harmoniques de la note pour chaque instrument.

harmonique de rang 'n'	**piano**	**orgue**
rang 1(fondamental)	f_1 = A_1 =	f_1 = A_1 =
rang 2	f_2 = A_2 =	f_2 = A_2 =
rang 3	f_3 = A_3 =	f_3 = A_3 = -33 dB

Q2) Les 2 notes ont-elles la même hauteur ? Ont-elles le même timbre ? Justifier vos réponses.

Réponses :

Q1

harmonique de rang 'n' ; amplitude A_n(dB)	piano	orgue
rang 1(fondamental)	f_1 = 133 Hz A_1 = -16,6 dB	f_1 = 133 Hz A_1 = -25,8 dB
rang 2	$f_2 = 2.f_1$ = 266 Hz A_2 = -27,4 dB	$f_2 = 2.f_1$ = 266 Hz A_2 = -36,4 dB
rang 3	$f_3 = 3.f_1$ = 400 Hz A_3 = -44,4 dB	$f_3 = 3.f_1$ = 400 Hz A_3 = -33 dB

Q2 Les deux notes ont la même hauteur : leur fréquence est égale à celle du fondamental **f_1= 133 Hz.** Les deux timbres sont différents donc la sensation auditive l'est également. En effet les amplitudes des harmoniques ne sont pas égales (de même que l'allure du signal)