

Matériel Elèves:

- un microphone, un diapason
- carte d'acquisition Sysam sp5
- flute
- accès internet pour l'animation [transformée de Fourier de quelques signaux](#)
- un haut parleur, une webcam

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

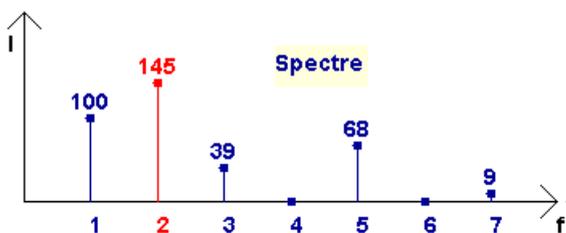
### 1) somme de signaux sinusoïdaux

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.

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

**Exemple:** 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 suivant:



$$u(t) = u_1(t) + u_2(t) + u_3(t) + u_5(t) + u_7(t)$$

avec:

$$u_1(t) = Um_1 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t) ; Um_1 = 100$$

$$u_2(t) = Um_2 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_2 \cdot t) ; Um_2 = 145; f_2 = 2 \cdot f_1$$

$$u_3(t) = \underline{\hspace{2cm}} \quad \underline{\hspace{2cm}}$$

$$u_5(t) = \underline{\hspace{2cm}} \quad \underline{\hspace{2cm}}$$

$$u_7(t) = \underline{\hspace{2cm}} \quad \underline{\hspace{2cm}}$$

En toute rigueur, il faut rajouter la phase à l'origine

$\varphi$  car un signal sinusoïdal a pour équation:

$$y(t) = Ym \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_2 \cdot t + \varphi) ; \text{ on verra l'importance de}$$

la valeur de la phase dans le cas d'un signal

triangulaire.

**Q1)** Les signaux  $u_1(Um_1;f_1)$ ,  $u_2(Um_2;f_2=2 \cdot f_1)$ ,...  $u_n(Um_n;f_n = n \cdot f_1)$  sont appelés les harmoniques du signal  $u(t)$ .

$u_1(Um_1;f_1)$  est appelé l'harmonique de rang 1 ou le fondamental. Quelle relation existe-il entre la fréquence du fondamental et celle de la tension  $u(t)$ ?

**Q2)** Recommencer l'expérience en choisissant au hasard les amplitudes et les fréquences des harmoniques. Quelle caractéristique importante possède le signal  $u(t)$  (somme de signaux sinusoïdaux)?

**Professeur:** on obtient un signal  $u(t)$  périodique.

### 2) spectre d'un fonction périodique carré et triangulaire

**Q3)** Cliquer sur l' [Animation de Mr Gastebois: transformée de Fourier de quelques signaux](#) puis choisir **spectre de Fourier de quelques signaux**.

Déterminer l'amplitude, la fréquence des 4 premiers harmoniques d'un signal carré de fréquence  $f = 100$  Hz. Quelle est la valeur de la phase  $\varphi$  de ces harmoniques? On notera les caractéristiques des harmoniques de la façon suivante:

$$u_1(f_1 = \quad ; A_1 = \quad )$$

Une fois que vous avez déterminé les caractéristiques des harmoniques, effectuer leur somme en choisissant **somme de fonctions sinusoïdales** de l'animation.

**Professeur:** attention la formule suivante n'est valable que pour  $n$  impair!

$$Y = \sum_{n=1}^{\text{infini}} (100/n) \cdot \sin(n\omega t)$$

L'harmonique de rang 2 et 4 ne sont pas présent car leur amplitude est nulle. (**astuce utiliser la fonction pas à pas pour construire le signal**)

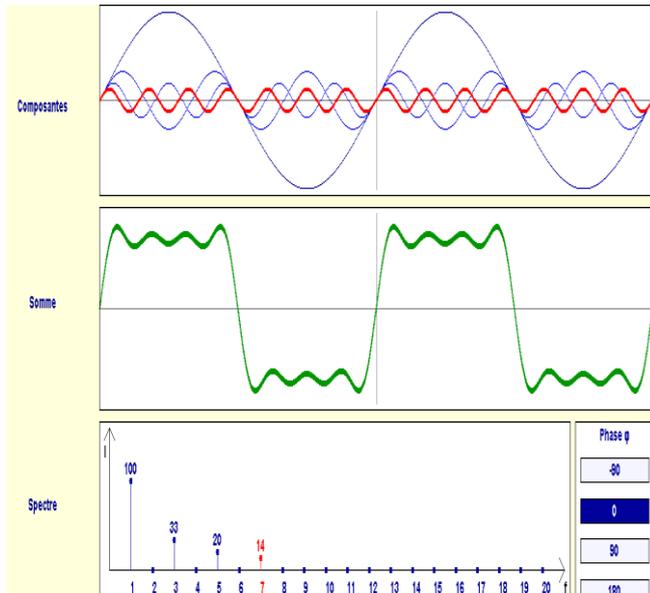
Signal carré (la phase  $\varphi = 0$ ):

$$u_1 (f_1 = 100 \text{ Hz}, A_1 = 100)$$

$$u_3 (f_3 = 3 \cdot f_1 = 300 \text{ Hz}, A_3 = 33,3)$$

$$u_5 (f_5 = 5 \cdot f_1 = 500 \text{ Hz}, A_5 = 20)$$

$$u_7(f_7 = 7.f_1 ; A_7 = 14,3)$$



**Q4)** Déterminer l'amplitude, la fréquence et la phase  $\varphi$  des 3 premiers harmoniques d'un signal triangulaire de fréquence  $f = 100$  Hz. On notera les caractéristiques des harmoniques de la façon suivante:

$$u_1(f_1 = \quad ; A_1 = \quad ; \varphi_1 = \quad )$$

Une fois que vous avez déterminé les caractéristiques des harmoniques, effectuer leur somme, en choisissant **somme de fonctions sinusoïdales** de l'animation, et reconstruire le signal triangulaire.

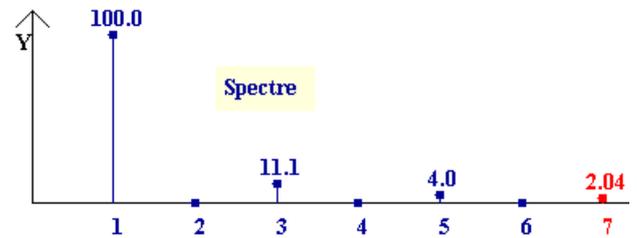
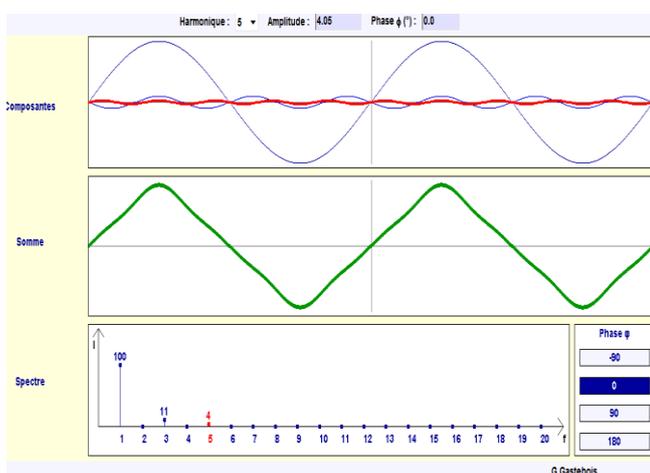
**Professeur:** attention la formule suivante n'est valable que pour n impair! L'harmonique de rang 2 et 4 ne sont pas présent car leur amplitude est nulle.

$$Y = \sum_{n=1}^{\text{infini}} (100/n^2) \cdot \sin(n\omega t + (n-1)\pi/2)$$

$$u_1(f_1 = 100 \text{ Hz} ; A_1 = 100 ; \varphi_1 = (n-1) \cdot \pi/2 = 0^\circ )$$

$$u_3(f_3 = 300 \text{ Hz} ; A_3 = 300 \text{ Hz} ; \varphi_3 = (n-1) \cdot \pi/2 = 2 \cdot \pi/2 = \pi = 180^\circ)$$

etc...



### 3) décomposition d'un signal périodique: spectre de Fourier

Complète 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  $f_1$ .  
 Le:  $f_n =$  \_\_\_\_\_  
 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.

Professeur:

**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  $f_1$ :  $f_n = n \cdot f_1$ .  
 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.

### III) Analyse spectrale du son d'une flute

On se propose d'enregistrer puis d'analyser le son émis par une flûte. L'analyse du son sera effectué par le logiciel audacity puis éventuellement par le logiciel Latis Pro.

#### 1) Analyse spectrale à l'aide du logiciel audacity

Relier la webcam à l'ordinateur, ouvrir le logiciel audacity souffler dans la flute et enregistrer le son pendant environ 10 secondes. Cliquer sur **analyse**, puis **tracer le spectre**. Régler les paramètres suivants :

Algorithme : Spectre Taille: 4096  
 Fonction : Rectangulaire window Axe : Fréquence logarithmique

**Q1)** A l'aide du réticule, déterminer l'amplitude et la fréquence des 5 premiers harmoniques.

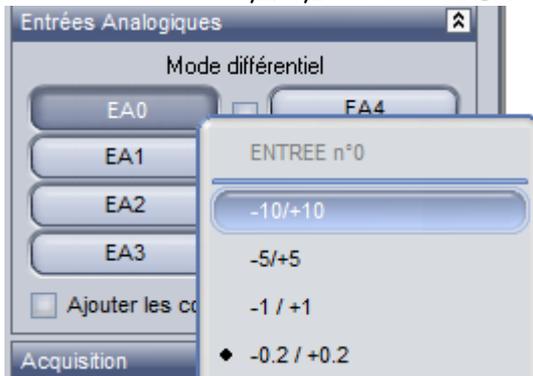
**Q2)** A quoi correspond la fréquence de l'harmonique de rang 1 ? En déduire la fréquence de la note émise.

**Q3)** Analyser le son d'un diapason : déterminer la fréquence du son, son amplitude et éventuellement les fréquences et amplitudes de 3 premiers harmoniques. Pourquoi le son d'un diapason est-il qualifié de son pur ?

## 2) Analyse du son avec Latis pro

**Montage:** relier le microphone à la voie EAO de la carte d'acquisition.

La tension de sortie du microphone étant faible, choisir le calibre -0,2/0,2 de l'entrée EAO



**Style d'affichage de la courbe EAO :** cliquer avec le bouton droit de la souris sur EAO, choisir propriétés puis style et choisir trait.

**Paramétrage de l'acquisition:** la fréquence de la note jouée étant de l'ordre de  $f = 200$  Hz, on veut afficher environ 5 périodes sur l'écran. Calculer la période  $T$  correspondant à  $f$  et en déduire la durée totale de l'acquisition. On rappelle que la durée totale d'une acquisition est égale au produit de la durée  $T_e$  d'une acquisition multipliée par le nombre de points acquis. Il faut également **au moins 20 points d'acquisition par période** sinon le signal est mal numérisé. On prendra 200 points d'acquisition. Régler la durée totale d'acquisition et 200 points d'acquisition. Choisir permanent dans la boîte d'acquisition, cela permettra de savoir si le son est correctement enregistré.

### enregistrement et numérisation du son

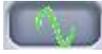
Souffler dans la flûte au voisinage du microphone et appuyer sur la touche F10 pour acquérir la tension.

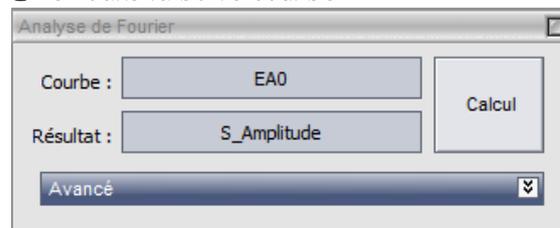
Appuyer sur la touche **échap** du clavier une fois que l'acquisition vous paraît correcte.

Pour pouvoir visualiser correctement la tension, cliquer sur l'axe des abscisses et agrandir l'échelle puis déplacer la courbe en cliquant à l'intérieur de la fenêtre de manière à visualiser uniquement 10 périodes.

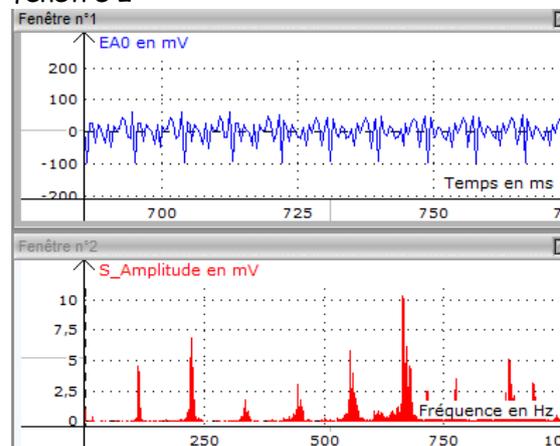


### affichage du spectre de la note (la transformée de Fourier du signal) :

Cliquez sur **Traitement, calcul spécifique, transformée de Fourier**. Cliquez sur l'icône courbe  puis faites glisser/déplacer la courbe EAO dans la boîte courbe :



Cliquez sur **calcul**. Le spectre s'affiche dans la fenêtre 2



**Q4) Même question qu'au 1)**

**Q5)** Branchez un HP sur la voie SA1 (une fiche sur la masse et une fiche sur la sortie SA1). Cliquez sur le bouton paramétrage de l'émission  cliquez sur sortie active puis choisissez la voie EAO. La qualité du son est-elle bonne ?

## IV) harmonies et gammes

activités 1 page 88-89 (hachette éducation)