

TP20 : Analyse spectrale des sons musicaux

Compétences exigibles du BO

Contenu disciplinaire	Contenu disciplinaire à caractère expérimental du bloc S6 : Mettre en œuvre un dispositif expérimental permettant d'analyser le spectre du signal acoustique produit par une corde vibrante.
Formation expérimentale	Choisir de façon cohérente la fréquence d'échantillonnage et la durée totale d'acquisition. Effectuer l'analyse spectrale d'un signal périodique à l'aide d'un oscilloscope numérique ou d'une carte d'acquisition.
Matériel à disposition	GBF, interface d'acquisition orphy et logiciel dédié GTI, Regressi, fils et connectiques, diapason, microphone, flute, haut-parleur, ukulélé, accordeur.

A. les méthodes pour observer le spectre fréquentiel d'un signal

1^{ère} méthode (RAPPEL) : observer le spectre fréquentiel du signal à l'aide de l'oscilloscope

L'oscilloscope numérique possède une fonction FFT qui permet d'obtenir le spectre fréquentiel du signal.

Les étapes :

- Visualiser le signal à analyser sur un oscilloscope, ajuster la base temporelle pour voir un grand nombre de périodes (au moins 20 périodes).
- Appuyer sur le bouton **math**, en choisissant ensuite l'opérateur **FFT** dans la liste déroulante des opérations.
- Sélectionnez alors en bas de l'écran :
 - la **source** (voie du signal dont vous désirez voir le spectre fréquentiel)
 - la **plage** de fréquences sur laquelle vous voulez visualiser votre spectre fréquentiel et le **centre** des fréquences.
Par exemple, si vous voulez visualiser le fondamental et les harmoniques jusqu'au rang 5 d'un signal périodique de fréquence 1kHz, vous pourrez choisir une plage de 6 kHz centré sur 3kHz.
 - le mode de calcul de la FFT (pour cela, sélectionnez **Autre FFT** puis **unités verticales** afin de choisir le mode **VRMS**).
- A l'aide d'un curseur vertical (dans **cursors**, choisir la voie **maths** et le curseur vertical **X1**), vous pouvez déterminer la fréquence des pics observés .

Nous avons déjà utilisé un oscilloscope pour visualiser le spectre fréquentiel associée à un signal, nous n'utiliserons pas cette technique dans ce TP.

2^{ème} méthode : réaliser l'acquisition du signal électrique via Orphy et étudier son spectre fréquentiel

Nous disposons d'une centrale d'acquisition Orphy, pilotée par le logiciel GTI associé à Regressi pour observer un spectre fréquentiel.

Les étapes :

- Reliez le GBF à l'interface orphy (entrée rouge EA0 et entrée noire 0V) et reliez l'interface orphy à l'ordinateur (via 2 câbles).
- Mettre l'interface Orphy sous tension (bouton 0/I).
- Ouvrir le logiciel orphy GTI : dans le dossier logiciels situé sur le bureau, sélectionner GTI.
- Cliquer dans le cadre **mode d'acquisition** : dans **mode de fonctionnement**, sélectionner **temporel** ; dans **abscisse**, sélectionner **temps**.
- régler les paramètres d'acquisition qui sont apparus sur la droite de l'écran :
 - La durée totale Δt notée « **durée** » : on veut visualiser environ 20 périodes, ce qui est suffisant dans la plupart des cas, calculer la durée totale correspondante..
 - le nombre de points d'acquisition N noté « **nombre** » qui seront relevés durant la durée totale de l'acquisition $\Delta t = 20T$. Il faut au minimum 10 points par période du signal pour que l'acquisition soit correcte, mais 100 c'est encore mieux. En déduire le nombre total N de points nécessaires pour visualiser correctement les 20 périodes avec 100 points par période.
 - La période d'échantillonnage δt c'est à dire l'intervalle de temps entre chaque mesure s'affiche automatiquement (à titre de vérification, il faut s'assurer que $\delta t < T/10$).
 - La fréquence d'échantillonnage F_{ech} s'affiche automatiquement : $F_{ech} = 1/\delta t$, il s'agit du nombre de points mesurés par seconde.

- Vérifier que la voie V1 est activée dans le cadre en bas à droite ; désactiver V2 en cliquant sur le rectangle violet puis sur **désactiver**.
- Réaliser un enregistrement (appuyer sur la barre espace du clavier) et l'exporter sur Regressi à l'aide du bouton Regressi dans la barre de menu en haut de l'écran.
- Dans Regressi, on peut éventuellement utiliser le réticule (cliquer sur la flèche blanche, puis sélectionner **réticule**) pour mesurer l'amplitude et la période du signal temporel enregistré. Attention, on rappelle que l'on réalise une mesure plus précise de l'amplitude en réalisant une mesure crête à crête que l'on divise ensuite par deux, et une mesure plus précise de la période en mesurant plusieurs périodes T.
- Réaliser la transformée de Fourier sur Regressi (cliquer sur l'icône correspondante), en réalisant un clic droit sur le spectre sélectionner option Fourier et choisir superposition de l'enveloppe et harming.

B. application aux sons musicaux

A la différence des bruits, un son musical est une onde acoustique qui présente une périodicité, on lui associe une fréquence f. On distingue les **sons purs** dont le signal temporel est **sinusoïdal** des **sons complexes** est dont le signal temporel est **périodique sans être sinusoïdal**.

On associe à un son musical trois grandeurs physiologiques :

- son **niveau sonore** L (en dB) : plus ce niveau est élevé, plus le son paraît « fort ».
- sa **hauteur** : la note jouée est-elle grave ou aigu ?
- son **timbre** : un violon et un piano jouent successivement la même note : on peut aisément identifier l'instrument en train de jouer car, ces deux sons, de même hauteur, n'ont pas le même timbre, ils « sonnent » de manière différente : **voir**

ANNEXE 1 .

Tableau des fréquences des notes pour la 3^{ème} octave (en Hertz)

Do ₃	262
Do# ₃ (ou réb ₃)	277
Ré ₃	294
Ré# ₃ (ou mi b ₃)	311
Mi ₃	330
Fa ₃	349
Fa# ₃ (ou sol b ₃)	370
Sol ₃	392
Sol# ₃ (ou Lab ₃)	415
La ₃	440
La# ₃ (ou Sib ₃)	466
Si ₃	494

Principe d'équivalence : l'oreille humaine a tendance à percevoir une note de fréquence f et une autre de fréquence double (2f) comme « similaires ». Ces deux notes sont séparées d'une octave, elles ont le même nom et, pour les différencier, on indique en indice le numéro de l'octave.

Lorsque l'on compare les sons émis par 2 instruments de musique, si l'un semble plus aigu que l'autre, on dit que ces deux sons n'ont pas la même hauteur : les instruments ne jouent pas la même note.

1. D'après le tableau, à quelle grandeur physique est reliée la hauteur d'un son ? Faire le lien entre la hauteur d'un son et son caractère grave ou aigu.
2. A l'aide du principe d'équivalence, déterminer la fréquence associée à un Sol₁, un Sol₂ et un Sol₄.
3. Rappelez comment déterminer le caractère pur ou complexe d'un son musical :
 - à partir de son signal temporel.
 - à partir de son spectre fréquentiel.

Expérience 1 : enregistrement d'un son musical émis par un GBF (que l'on peut relier à un haut-parleur)

A l'aide du GBF en mode « signal sinusoïdal », créez un signal de même hauteur que le La₃ et observez son signal temporel et son spectre fréquentiel à l'aide de l'interface orphy.

4. Commenter. Faites des photos de courbe temporelle et du spectre fréquentiel.

Expérience 2 : enregistrement d'un son musical émis par un des diapasons à disposition.

- Relier le microphone à l'interface ORPHY et réaliser l'enregistrement du son émis par le diapason (on frappe sur l'une des branches et on pose le diapason sur sa caisse de résonance). Observer le signal temporel et le spectre fréquentiel. Attention, le microphone sature si l'intensité sonore est trop élevée (votre signal est écrêté et ressemble à un signal carré), dans ce cas, il faut éloigner le microphone de la source et baisser la sensibilité (bouton rotatif sur le microphone).
- 5. Préciser : le caractère pur ou complexe du son, la hauteur du signal (fréquence du fondamental) et donc le nom de la note jouée en précisant bien l'octave.

Expérience 3 : enregistrement d'un son musical émis par la flûte

- Vous allez essayer de jouer avec une flûte un « la », rappelez-vous vos cours de musique de collège ou aidez-vous de l'annexe 2. Observer le signal temporel et le spectre associé, utiliser le réticule pour faire les mesures.
- 6. Commenter avec soin (caractère pur ou complexe, note jouée, octave, etc...).

Expérience 4 : enregistrement d'un son musical émis par le ukulélé

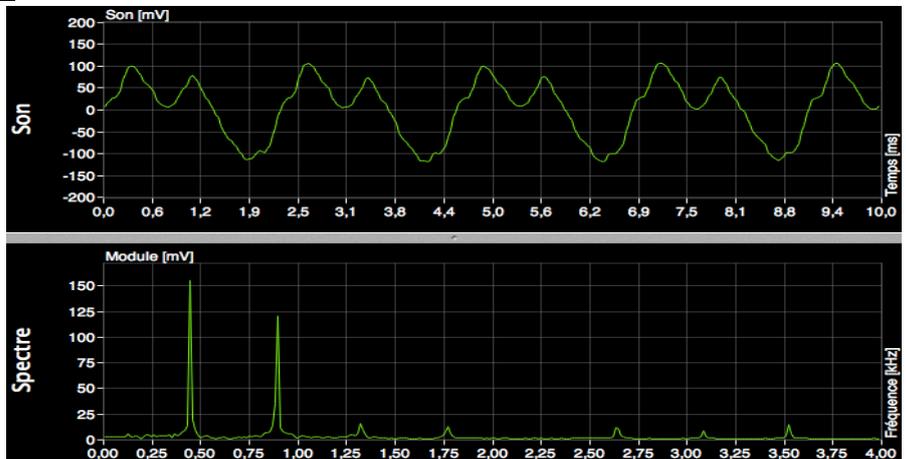
- Accordez si besoin l'instrument à l'aide de l'accordeur numérique. Vous trouverez dans l'annexe 3 des informations concernant la manière de jouer des notes à l'aide d'un ukulélé. Rechercher le moyen de jouer la même note qu'avec la flûte (mais pas forcément à la même octave). Observer le signal temporel et le spectre associé, utiliser le réticule pour faire les mesures.
- 7. Commenter avec soin.

ANNEXES

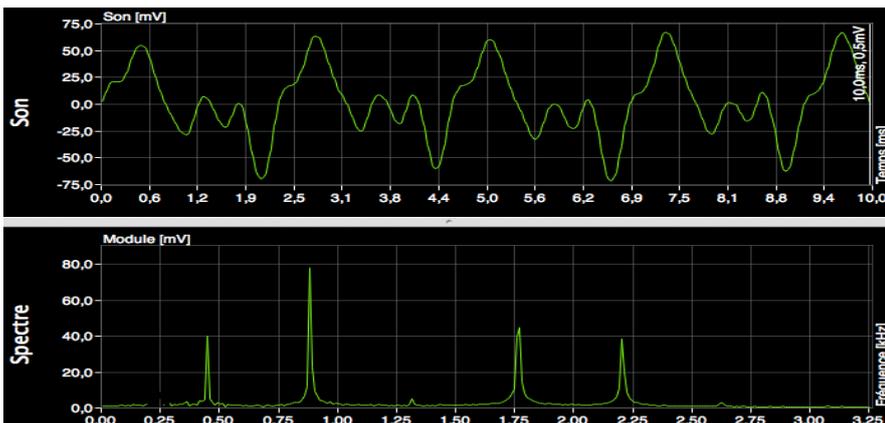
ANNEXE 1 : deux guitares jouant la même note

Vous avez souvent constaté que si vous écoutez des sons de même hauteur joués par des instruments différents, l'oreille humaine ne les perçoit pas de la même façon : un instrument à corde et un instrument à vent jouant la même note « sonnent » différemment, on les différencie aisément. On dit qu'ils possèdent un **timbre** différent.

On réalise deux enregistrements d'une guitare classique (cordes nylon) et d'une guitare folk (cordes métalliques). Vous pouvez visualiser ci-dessous les points communs et les différences des signaux temporels et fréquentiels associés à chacune de ces deux guitares.

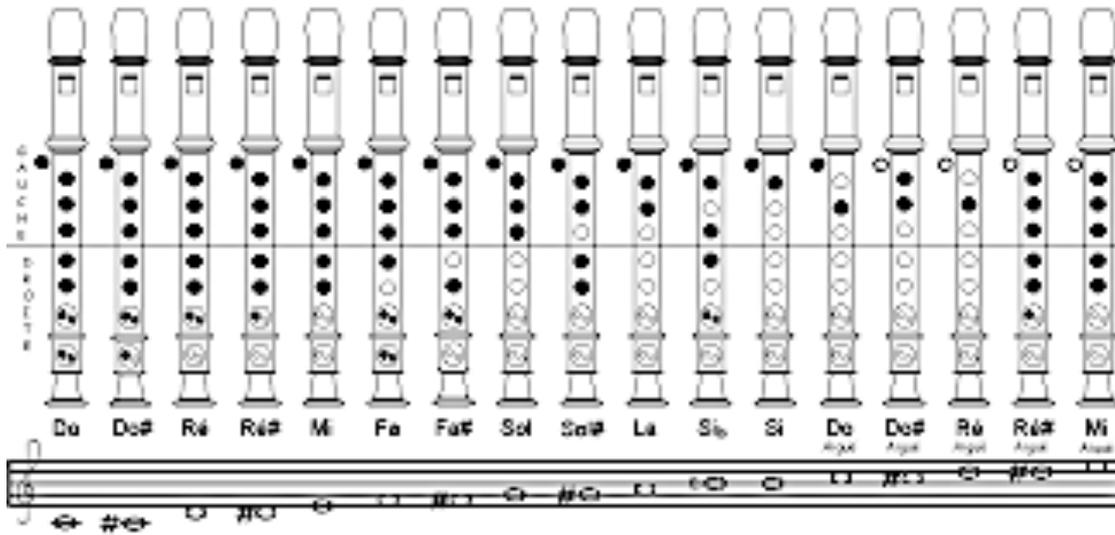


Guitare Folk



Guitare classique

ANNEXE 2 : position des doigts sur une flute à bec



ANNEXE 3 : Les cordes du ukulélé

