

Thème : Instruments de musique

Mots clés : Acoustique musicale ; gammes ; harmonies ; Instruments à cordes, à vent et à percussion

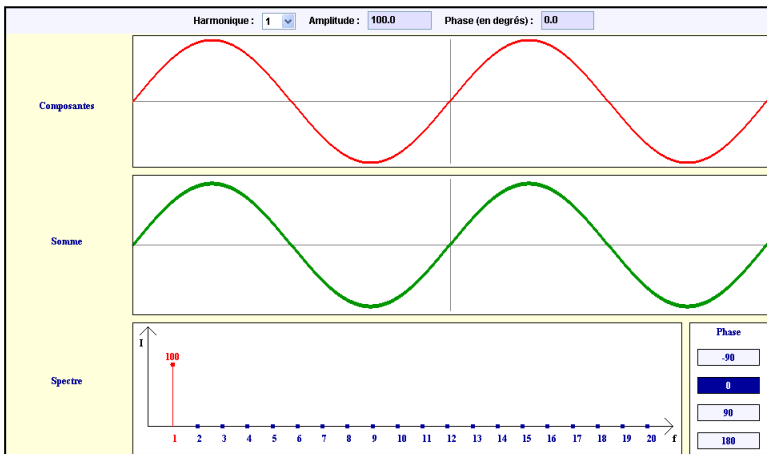
La première partie de cette activité reprend de nombreuses notions déjà étudiées dans l'enseignement spécifique. N'hésitez pas à vous reporter dans vos cours pour vous remettre à jour !

🔗 Réfléchissons un peu avant de commencer...

a. Analyse spectrale

Utiliser la simulation en java sur Internet « *Sommes d'ondes et spectre* » pour réviser cette notion :

<http://gilbert.gastebois.pagesperso-orange.fr/java/fourier/fourier1/fourier1.html>



Il s'agit d'observer l'onde résultant de la **somme** de plusieurs ondes sinusoïdales, appelées **composantes**. Ces composantes sont toutes des ondes de fréquences multiples de l'**harmonique** de rang 1 (celle tracée en rouge à l'ouverture du simulateur). Chaque composante peut être affectée d'une **amplitude** que l'on pourra faire varier de 0 (pas de composante) à 100 (amplitude maximale). On ne modifiera pas les autres paramètres.

Le **spectre** en fréquences est tracé automatiquement.

Simulation n°1 : réaliser la somme des deux premières harmoniques ($A = 100,0$ pour les deux composantes)

→ vérifier que l'harmonique 1 a bien une amplitude de 100,0

→ cliquer sur « harmonique », choisir « 2 », et taper 100,0 pour l'amplitude

👁 observer les deux composantes :

→ vérifier que l'une a bien une fréquence double de l'autre

👁 observer l'onde résultante :

→ est-elle sinusoïdale ?

→ est-elle périodique ? si oui, quelle est sa fréquence ?

→ si cette onde correspondait aux vibrations d'une onde sonore, le son serait-il pur ?

👁 observer le spectre :

→ est-il en accord avec les résultats précédents ?

→ quand peut-on dire qu'un son est pur si l'on a uniquement accès à son spectre ?

Simulation n°2 : réaliser la somme des 5 premières harmoniques paires ($A=100$)

→ utiliser directement les curseurs pour modifier les amplitudes du spectre

👁 observer l'onde résultante :

→ est-elle périodique ? si oui, quelle est sa fréquence ?

→ peut-on déterminer toutes les fréquences des composantes en observant uniquement l'onde résultante ? Expliquer alors l'intérêt de réaliser le spectre en fréquence.

b. Etude du violoncelle

Une corde, appelée « corde de sol », de longueur utile $L = 69,0$ cm est fixée à ses deux extrémités sur le violoncelle.

1^{ère} partie : son produit par la corde frottée

Le violoncelliste frotte la corde avec son archet pour la mettre en vibration. Ainsi excitée, la corde peut vibrer selon plusieurs modes.

Le son produit par la corde est étudié à l'aide d'un microphone branché à un oscilloscope numérique (*base de temps : 2,5 ms/div*). L'oscillogramme correspondant est donné sur la figure 1.



fig.1

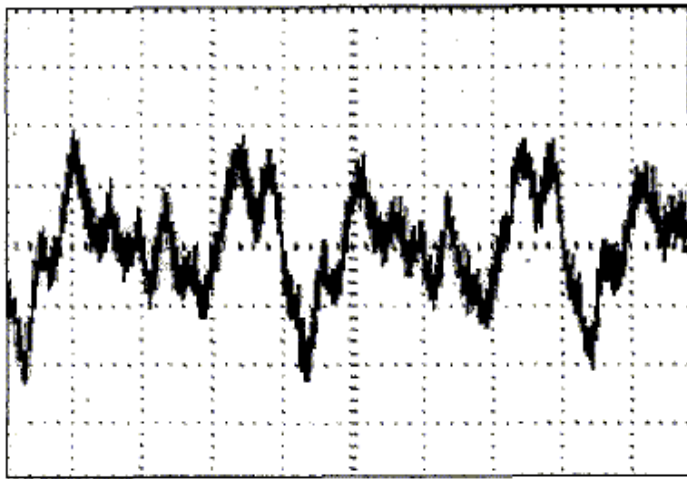
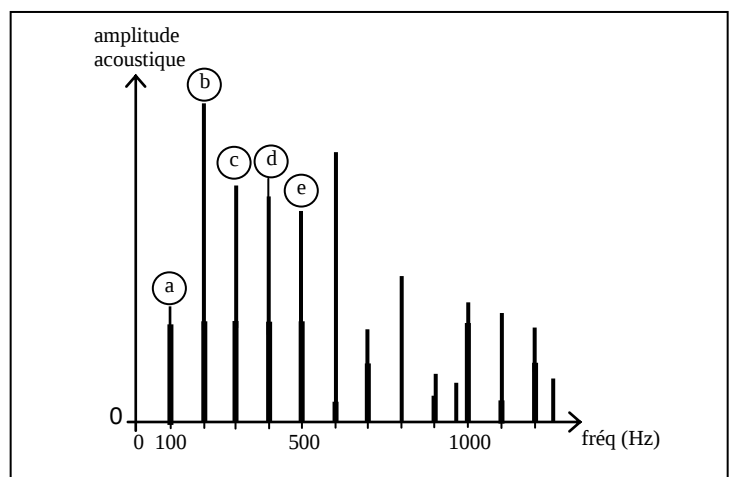


fig.2

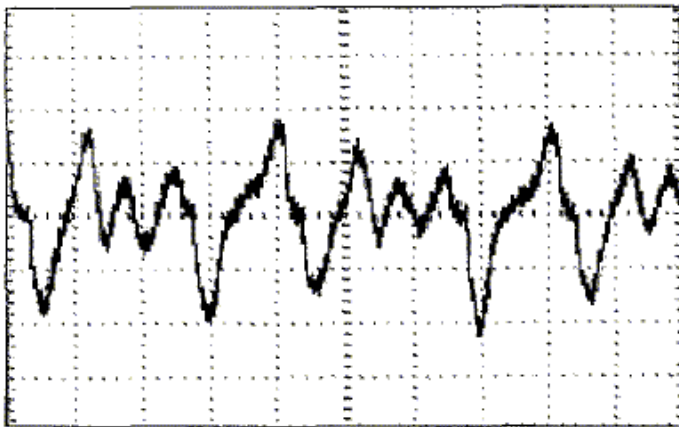


1. Exploiter cet oscillogramme pour déterminer la fréquence f_1 du mode fondamental.
2. Que peut-on dire du son associé à cette fréquence ?

On réalise une **analyse spectrale** du son produit par cette corde vibrant sur toute sa longueur. Le spectre de fréquences est représenté sur la *figure 2*. Sur ce spectre sont repérés cinq pics notés (a), (b), (c), (d) et (e). On notera f_2 et f_3 les fréquences des deux harmoniques immédiatement supérieures à la fréquence f_1 .

3. Écrire la relation existant entre f_2 et f_1 d'une part, entre f_3 et f_1 d'autre part.
4. Retrouver parmi ces cinq pics, celui qui correspond au mode fondamental de fréquence f_1 et préciser ceux qui correspondent à f_2 et f_3 .

fig.3



2^{ème} partie : son produit par la corde pincée

Par une technique appelée « pizzicato », le violoncelliste pince maintenant la corde pour la mettre en vibration.

L'oscillogramme correspondant au son émis par la corde en appliquant cette technique est donné sur la *figure 3*.

4. Indiquer si la hauteur du son est modifiée par rapport à celle du son étudié à la question 1.
5. En comparant les *figures 1* et *3*, indiquer la caractéristique physiologique du son qui a ainsi été modifiée. Justifier la réponse.

c. Conclusion

- ✂ Expliquer la phrase suivante en définissant chacun des termes en italique :
« Notre oreille est sensible à trois caractéristiques d'un **son** : son *intensité*, sa *hauteur* et son *timbre*. »

🔊 Hauteur et timbre d'un son

1. Spectres de sons émis par différents instruments

On étudie les spectres de différents sons à l'aide des logiciels *Regavi* et *Regressi*. Les sons émis par différents instruments ont été préalablement enregistrés au format .wav et se trouvent tous dans le même dossier.

- Lancer le logiciel *Regavi*
- Cliquer sur « Lecture d'un fichier wav »

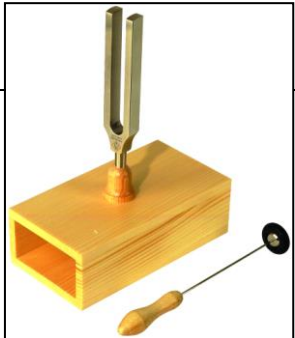
Puis, pour chaque son étudié :

- Ouvrir le fichier correspondant en cliquant sur
- Lire le son en cliquant sur
- Sélectionner une petite durée de son à analyser en délimitant à l'aide des 2 barres latérales une partie du signal sonore.
- Transférer dans *Regressi* en cliquant sur
- Analyser le signal en faisant une analyse spectrale (spectre de Fourier, du nom du mathématicien) en cliquant sur



✎ Pour chaque son étudié, représenter grossièrement le spectre en précisant la fréquence de chaque harmonique. Commenter le résultat obtenu.

a. Etude du la du diapason

		
Spectre du « diapason_la440 »		Commentaires

b. Etude de la même note jouée par un piano

		
Spectre du « piano_la3 »		Commentaires

c. Etude d'un la joué par une flûte

		
Spectre du « flûte_la4 »		Commentaires

✎ Le La émis par le diapason et par le piano provoquent-ils la même sensation sonore ?

✎ Pour une même note jouée par deux instruments différents, le **timbre** dépend-il de la **hauteur** du son ? De quoi dépend- t- il alors ?

2. Etude expérimentale de la flûte de pan

Une des flûtes de Pan traditionnelle est constituée de 10 tubes en roseau de longueur croissante. Chaque tube possède une extrémité bouchée et une autre ouverte (celle par laquelle on souffle).

✗ Dans le cas du mode fondamental, la relation entre la fréquence f_1 et la longueur L du tube s'écrit : $f_1 = \frac{c}{4L}$.

C'est cette relation que l'on souhaite vérifier dans l'expérience suivante :

On a enregistré le son émis par chacun des 10 tubes de la flûte de Pan, de longueur L connu.

- Ouvrir et écouter chacun des fichiers sons avec *Regavi*.
- Sélectionner une durée totale d'enregistrement d'environ 100 ms à chaque fois (où l'amplitude est la plus régulière possible) et transférer dans *Regressi*.
- A chaque transfert, ouvrir une nouvelle page et indiquer la valeur du paramètre L = longueur du tube. On a alors un fichier *Regressi* de 10 pages.
- Réaliser le spectre de Fourier de chacun des 10 sons.
- Sur chacun des spectres, mesurer la fréquence f_1 du fondamental.
- ✗ Vérifier que, pour chaque tube, les seuls sons possibles d'une flûte de pan sont les harmoniques impaires.
- Créer, dans un nouveau fichier, la grandeur $\text{inv}_L = 1/L$ et tracer f_1 en fonction de $1/L$.
- ✗ Conclure en vérifiant la valeur de la vitesse du son dans l'air.



📌 Notes et harmonies, gammes

Document 1 : harmonie des sons périodiques

Deux sons nous apparaissent harmonieux lorsque le rapport entre leurs fréquences fondamentales est un nombre simple. Ainsi on attribue un nom à un certain nombre de ces rapports. Par exemple, lorsqu'il existe un rapport de deux entre deux fréquences, on dit que l'intervalle entre elles est une **octave**.

Le cas d'une octave, permet de comprendre facilement la sensation d'harmonie. Lorsque le premier son est perçu par l'oreille, elle est bien sûr essentiellement sensible à son harmonique fondamentale de fréquence f_1 , mais également aux autres harmoniques, à commencer par celle d'ordre 2, dont la fréquence vaut $2f_1$. Ainsi si le deuxième son reçu par l'oreille a une fréquence fondamentale deux fois plus grande que celle du premier son ($2f_1$), elle sera identique à celle de la deuxième harmonique du premier son, qui a déjà stimulé l'oreille. Cela induit alors un enchaînement entre les deux sons, sans véritable "saut". Remarquons que l'on utilise d'autres intervalles de fréquences :

- la quinte correspond à un intervalle présentant un rapport de $3/2$ entre les deux fondamentales ;
- le quarte correspond à un rapport de $4/3$ entre les deux fondamentales ;
- la tierce correspond à un rapport de $5/4$ entre les deux fondamentales.

Document 2 : gammes et notes de musique

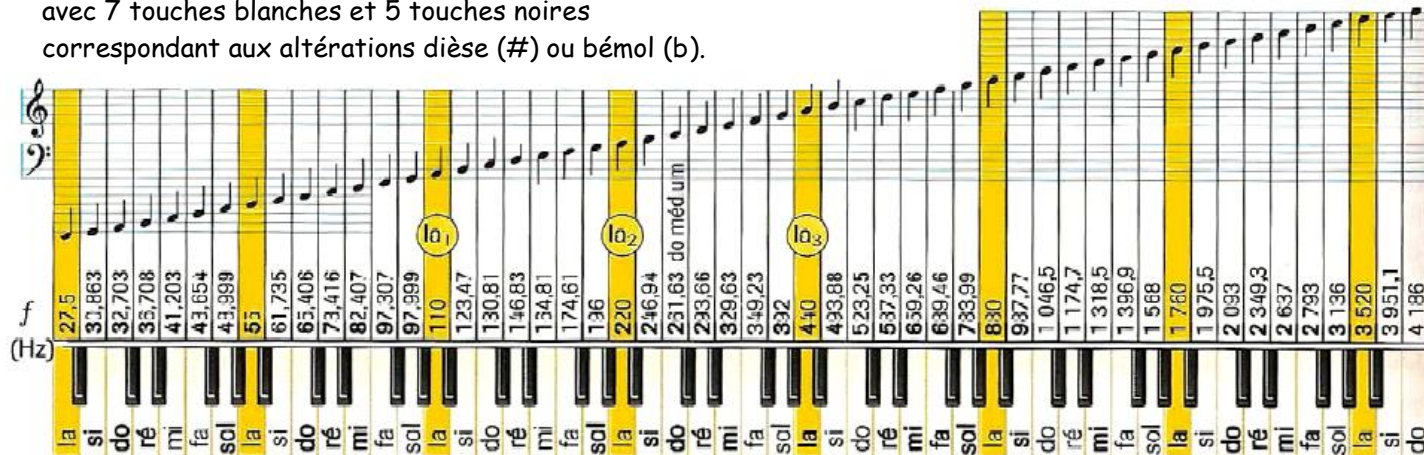
Une note de musique est un son périodique dont la fréquence fondamentale a une valeur bien précise. Ces fréquences sont choisies au sein d'une harmonie suivant un ensemble de critères. Plusieurs fois dans l'histoire, les Hommes ont changé ces critères. Elaborée au XVII^e siècle par A. Werckmeister (1645-1706) pour faciliter la transposition des partitions des instruments à corde aux instruments à clavier, la gamme actuelle est la gamme tempérée, reprise par J.S. Bach (1685-1750) et J.P. Rameau (1683-1764). Cette gamme n'est plus le résultat d'une construction harmonique mais simplement le résultat du découpage d'une octave en douze intervalles égaux.

12 notes sont placées sur une octave et définissent ainsi 12 intervalles appelés demi-tons : Do, Do[#], Ré, Ré[#], Mi, Fa, Fa[#], Sol, Sol[#], La, La[#], Si (« [#] » se lit « dièse » et « ^b » se lit « bémol »). Bien sûr, une telle définition nécessite une fréquence de référence ; il s'agit de la fréquence fondamentale du son émis par un diapason (440 Hz), à laquelle on attribue la définition du La₃ (le La de la 3^{ème} octave).

- ✗ Que vaut le rapport de fréquences entre deux notes séparées par un demi-ton ?
- ✗ En s'aidant du tableau suivant, dire quel intervalle sépare le do du ré ? le mi du fa ?
- ✗ A quoi correspond un dièse # ? Quel est le rapport de fréquences entre un fa et un fa # par exemple ?
- ✗ Si le la est un la₃ de fréquence $f = 440$ Hz, quelle est la fréquence du si du même octave ?

do	do #	ré	ré #	mi	fa	fa #	sol	sol #	la	la #	si	do'
	ré b		mi b			sol b		la b		si b		

Remarque : C'est sur le principe de la gamme tempérée que sont construits les claviers de pianos, orgues, ... où, avec 7 touches blanches et 5 touches noires correspondant aux altérations dièse (#) ou bémol (b).



Application : accorder une guitare et retrouver les notes d'une flûte à bec

Problématique n°1

Lorsqu'on joue d'une guitare, ses cordes se détendent progressivement. Il faut alors accorder la guitare, c'est-à-dire régler la tension de chaque corde, de sorte à ce qu'elle produise la note de fréquence fondamentale attendue. Voici la note jouée par chacune des 6 cordes, lorsqu'on ne pose pas de doigt pour en immobiliser une partie (la corde 1 est la plus haute) :

Corde	1	2	3	4	5	6
Note	mi ₁	la ₁	ré ₂	sol ₂	si ₂	mi ₃
Fréq. (Hz)	82,40	110,00	146,83	196,00	246,94	329,63

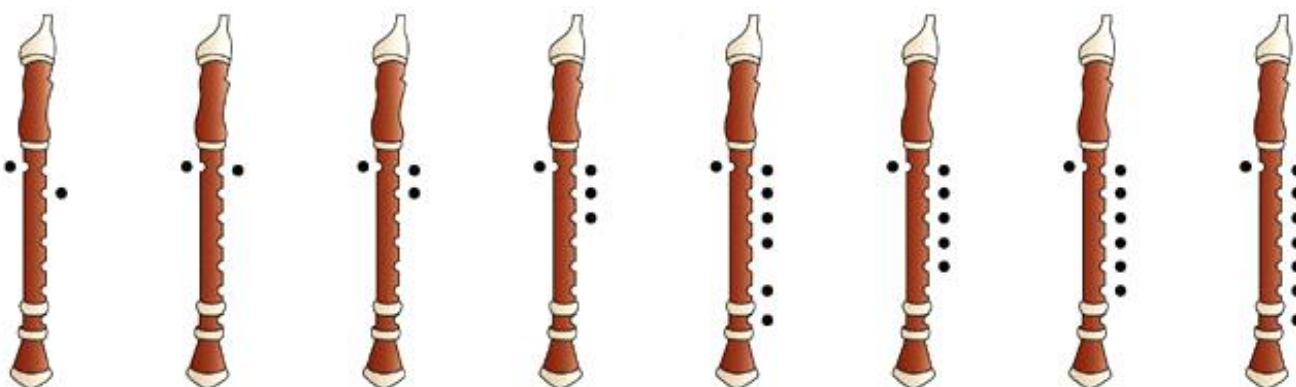
☞ Accorder chaque corde de la guitare à disposition, en utilisant une méthode physique (musiciens s'abstenir !)

✂ Présenter un compte-rendu de la manipulation, contenant un protocole, une observation présentant le spectre d'une des notes désaccordées puis accordées, et une interprétation explicitant pourquoi l'accordage réalisé est satisfaisant.



Problématique n°2

On souhaite déterminer quelles sont les 8 notes jouées par une flûte à bec correspondant à la figure ci-dessous.



--	--	--	--	--	--	--	--

☞ Déterminer chaque note en utilisant une méthode physique (musiciens s'abstenir !)

✂ Présenter un compte-rendu de la manipulation, contenant un protocole, une observation présentant au moins le spectre d'une des notes ainsi qu'une réponse à la problématique.

Conclusions

☞ Rédiger avec le professeur une conclusion.