

Mots-clefs « Gammes » et « Harmonies », suivi de « Traitement du son » et « Enceintes acoustiques ».

## 1 Activité documentaire : Notes & gammes (45 minutes)

### 1.1 Le LA, une note arbitrairement fixée

En musique, seules quelques fréquences sont utilisées. Une note de base a été fixée arbitrairement, le LA, donné par un diapason. Le LA dit LA<sub>3</sub> correspond actuellement à une fréquence de 440 Hz.

$$\text{LA}_3 \leftrightarrow 440 \text{ Hz}$$

### 1.2 L'octave

Les notes suivantes se ressemblent tellement, qu'on leur a donné le même nom LA :

Notes	LA <sub>1</sub>	LA <sub>2</sub>	LA <sub>3</sub>	LA <sub>4</sub>	LA <sub>5</sub>	LA <sub>6</sub>	LA <sub>7</sub>
<i>f</i> (Hz)	110	220	440	880	1 760	3 520	7 040

Le fait qu'elles se ressemblent s'explique par le facteur 2 entre chaque fréquence ; l'oreille étant uniquement sensible aux rapports de fréquence, on a l'impression qu'il y a chaque fois la même différence entre deux notes consécutives. C'est l'octave.

On définit l'intervalle entre deux sons par le rapport de la fréquence du son le plus aigu par celle du son le plus grave ; donc :

$$\text{Octave} \leftrightarrow \text{Intervalle } 2$$

Le mot octave provient du fait que notre gamme comporte sept notes, donc huit avec les deux extrêmes.

Sachez aussi qu'en musique, certaines notes donnent une impression agréable lorsqu'elles sont jouées ensemble, comme les quintes et les tierces ; elles correspondent aussi à des rapports de fréquences fixes, respectivement 1,5 et 1,25.

### 1.3 Lien avec les harmoniques

Imaginons un instrument jouant un LA<sub>3</sub>. On sait qu'il émet une vibration de fréquence fondamentale  $f_0 = 440$  Hz, plus des harmoniques de fréquences multiples du fondamental,  $2f_0, 3f_0, 4f_0, 5f_0$ , etc.

- Les harmoniques  $2f_0, 4f_0, 8f_0...$  seront aussi des LAs, d'octaves supérieures.

- Les harmoniques  $3f_0$  et  $5f_0$ , par exemple, ne seront pas des LAs, mais d'autres notes, dans d'autres octaves. Il est tentant de donner des noms de notes à ces fréquences ;

seulement, cela revient à créer un très grand nombre de notes, car pour chaque note d'une même octave il y a un très grand nombre d'harmoniques. On préfère se limiter à un total de sept notes, agrémentées de dièses et de bémols, sans se soucier si de telles notes correspondent ou pas à une harmonique exactement créée par un instrument : c'est la gamme tempérée.

### 1.4 La gamme tempérée

On sépare une octave (intervalle 2) en douze parties égales. On parle de douze demi-tons. Entre chaque demi-ton, le rapport de fréquence sera de :

$$^{12}\sqrt{2} = (2)^{\frac{1}{12}} \simeq 1,059463$$

Multiplier onze fois ce facteur par lui-même revient bien à obtenir 2.

$$\text{Demi-ton} \leftrightarrow \text{Intervalle } ^{12}\sqrt{2}$$

Tous les deux demi-tons (donc tous les tons), on place une note, en commençant par le DO. Il faudrait quatorze demi-tons au lieu de douze pour placer les sept notes ainsi que le DO de l'octave suivante ; on place alors seulement un demi-ton d'écart entre le MI et le FA, et entre le SI et le DO :



La figure ci-dessus permettrait de constituer une échelle de fréquences, afin d'accorder les touches blanches d'un piano. Pour les touches noires, qui correspondent aux dièses (symbole #) et aux bémols (symbole b) :



Pour trouver les valeurs des fréquences des notes, il suffit de partir de la fréquence fondamentale 440 Hz puis de multiplier ou de diviser à chaque fois par  $^{12}\sqrt{2}$  pour trouver la note suivante, son dièse ou son bémol — selon les cas :

Notes	DO	RE	MI	FA	SOL	LA	SI	DO
<i>f</i> (Hz)	262	294	330	349	392	440	494	523

Un défaut de la gamme tempérée est que l'on ne pourra pas jouer exactement les notes permettant de former une

quinte, si agréable à l'oreille ; cependant, la différence est quasiment inaudible.

*Pour les sept notes, les musiciens parlent de sept degrés diatoniques, et pour les douze intervalles, de douze degrés chromatiques.*

## 1.5 L'harmonie

En musique, l'harmonie renvoie aux simultanités sonores et plus précisément aux accords.

Lorsqu'on dit qu'un instrument est « harmonique », cela signifie que cet instrument est capable de jouer au moins deux sons simultanés. Par exemple, sont qualifiés « d'instruments harmoniques », la plupart des instruments à clavier (piano, orgue, clavecin, accordéon, harmonium...), ainsi qu'un grand nombre d'instruments à cordes (harpe, guitare, luth...); tandis que des instruments tels que la flûte, la clarinette, etc., sont considérés comme des « instruments mélodiques ».

Pour comprendre la notion d'harmonie, il faut se reporter au phénomène sonore lui-même. Chaque son émis par un corps sonore mis en vibration – corde, peau, métal, etc. – produit une note fondamentale que l'oreille perçoit et dont on peut aussitôt identifier la hauteur. Dans le même temps, sont émis d'autres sons, appelés harmoniques, que l'on peut entendre par exemple en écoutant une note sur un piano au cours de son évolution : les sons harmoniques deviennent progressivement perceptibles à l'oreille lorsque la fondamentale s'atténue.

Une harmonie peut ensuite renvoyer, de manière assez vague, à un ensemble de sons, successifs ou simultanés, agréable à l'oreille, c'est-à-dire, à une « musique harmonieuse ». Par exemple, le « pin-pon » d'une ambulance n'est pas prévue pour être harmonique, et provoque à cause de sa dissonance une mise en alerte !

La notion d'harmonie est liée à une éducation de l'oreille, et soumise à une évolution historique : ainsi les auditeurs du 19<sup>ème</sup> siècle auront du mal à entendre un accord de neuvième comme dissonant (lire plus loin), alors même que ce type d'accord était proscrit à l'ère baroque. Ce n'est d'ailleurs qu'au cours du Moyen Âge que les intervalles de tierce, à la base de l'harmonie « classique », ont été considérés comme consonants. Auparavant, seuls l'unisson, l'octave, la quinte et la quarte l'étaient.

## 1.6 Les accords

Par définition, un accord est un ensemble d'au moins trois degrés différents, c'est-à-dire un ensemble identifiable de notes simultanées. L'harmonie tonale connaît des accords de trois notes (ou accords de quinte), de quatre notes (ou accords de septième) et de cinq notes (ou accords de neuvième). Les accords de plus de cinq notes ne sont pas

pris en considération par l'harmonie classique.

Une combinaison de deux notes émises simultanément est plutôt considérée comme un intervalle harmonique. Un accord est donc une superposition de plusieurs intervalles harmoniques.

Il existe deux modèles aboutissant à la construction des accords, un modèle géométrique et un modèle acoustique.

**Géométrique** Le premier modèle géométrique fut développé par PYTHAGORE. PYTHAGORE note que le rapport géométrique le plus simple après l'octave (2), la quinte (3/2) est parfaitement harmonique et, superposé, donne 12 notes également étagées, retournant presque à la note de départ. Il construit ainsi le cycle des quintes.

ZARLINO note ensuite que les rapports mathématiques simples donnent des intervalles agréables, les rapports plus compliqués des intervalles moins naturels. Ainsi, le rapport 2/1 produit l'octave, le rapport 3/2 la quinte, 4/3 la quarte, 5/4 la tierce majeure, 6/5 la tierce mineure et 9/8 la seconde majeure, et bien d'autres encore. Pour ZARLINO, un accord parfait est donc la superposition de deux intervalles simples (5/4 et 6/5), aboutissant à un intervalle plus simple (3/2), ce qui fonctionne aussi bien pour l'accord majeur que pour l'accord mineur.

**Acoustique** Un son génère dans l'aigu un certain nombre de sons secondaires, appelés sons harmoniques, dont la fréquence est un multiple de celle du son générateur (ou son fondamental).

Par exemple, dans les accords « do, mi, sol », « do, mi, sol, do », « mi, sol, do », « mi, sol, do, sol » ou « sol, do, mi », do est la fondamentale, mi, la tierce, et sol, la quinte.

On peut dresser la liste des accords principaux, pour une simple information :

- |                     |                        |
|---------------------|------------------------|
| 1. Fondamentale     | 10. Sixième            |
| 2. Seconde mineure  | 11. Septième mineure   |
| 3. Seconde majeure  | 12. Septième majeure   |
| 4. Tierce mineure   | 13. Neuvième diminuée  |
| 5. Tierce majeure   | 14. Neuvième           |
| 6. Quarte           | 15. Neuvième augmentée |
| 7. Quinte diminuée  | 16. Octave             |
| 8. Quinte           |                        |
| 9. Quinte augmentée |                        |

**a.** Quel est le rapport de fréquences entre deux notes séparées par une octave, une quinte ou une tierce ?

b. Quelle position occupe une note à la quinte d'une première note dans l'enchaînement DO, RÉ, MI, FA, SOL, LA, SI ?

c. Combien de demi-tons contient une octave de la gamme tempérée ? Quel est le rapport de fréquences entre deux demi-tons consécutifs ?

d. Donner la définition historique d'un son harmonieux.

e. Proposer plusieurs accords harmonieux avec trois notes de la gamme tempérée.

f. Conclusion : à l'aide de ces documents, expliquer en quelques lignes pourquoi la musique peut être considérée comme une discipline scientifique.

## 2 Activité expérimentale : le traitement du son (1 h 15)

Un son peut être modifié par traitement électronique ou numérique. Quels traitements peut-on appliquer à un son ?

Filtre	Filtre 1	Filtre 2	Filtre 3
Montage			
Effet			
Fréquence caractéristique	$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$	$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$	$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$

Quelques exemples de filtres d'ordre 1 ou 2.

### Document 1 – Quelques exemples de traitement d'un son

**Amplification** Augmentation ou atténuation du niveau d'intensité sonore de la totalité du son. Lors de l'amplification, il faut veiller à ne pas saturer le signal, car il serait déformé. Si l'enregistrement comporte des bruits parasites, ils seront aussi amplifiés. La montée ou la descente progressive du niveau d'intensité est appelée « fading ».

**Égalisation** Amplification ou atténuation de certaines fréquences du son.

**Changement du tempo** Modification de la vitesse d'exécution du son sans modification de sa hauteur.

**Changement de la hauteur** Modification de la hauteur du son sans modification de sa vitesse d'exécution.

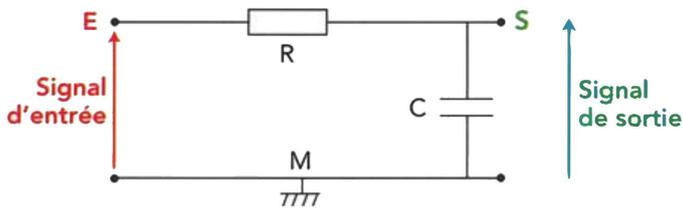
**Changement de la vitesse** Modification de la hauteur et du tempo du son.

**Écho** Superposition du son d'origine avec le même son, décalé et atténué dans le temps.

**Suppression du bruit** Élimination du son correspondant au bruit de fond.

## Document 2 – Traitement analogique d'un son

Le montage proposé ci-dessous est celui d'un « filtre passe-bas ». Il comporte plusieurs dipôles, dont un conducteur ohmique de résistance  $R$  (exprimée en ohm, de symbole  $\Omega$ ) et un condensateur de capacité  $C$  (exprimée en farad, de symbole F).



Le signal d'entrée est la tension électrique correspondant à l'enregistrement d'un son musical.

Le signal de sortie est la tension électrique obtenue après application du traitement électronique. Ce signal peut alimenter un haut-parleur.

Ce montage possède une fréquence particulière, appelée fréquence de coupure  $f_c$ , et qui s'exprime par :

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

g. Calculer la fréquence de coupure associée au filtre réalisé avec les composants à votre disposition.

### 2.1 Expérience – Bande passante du filtre

- À l'aide d'un multimètre et d'un capacimètre (appareil de mesure de la capacité d'un condensateur), vérifier les valeurs nominales des composants à votre disposition.
- Brancher un GBF délivrant une tension sinusoïdale  $u_E$  à l'entrée du filtre.
- Brancher un voltmètre à l'entrée du filtre pour mesurer la valeur efficace  $U_E$  de la tension d'entrée  $u_E$  et un second à la sortie du filtre pour mesurer la valeur efficace  $U_S$  de la tension de sortie  $u_S$ .

Vérification par le professeur avant mise sous tension !

- Faire varier la fréquence  $f$  du GBF et pour chaque valeur de la fréquence, mesurer  $U_E$  et  $U_S$ . Dresser un tableau des mesures.
- Calculer le gain  $G$  en décibels (dB) d'expression :

$$G = 20 \cdot \log \frac{U_S}{U_E}$$

h. Dresser un schéma électrique du montage ainsi réalisé.

i. Sur du papier semi-log, tracer le diagramme représentant  $G$  en fonction de  $f$ .

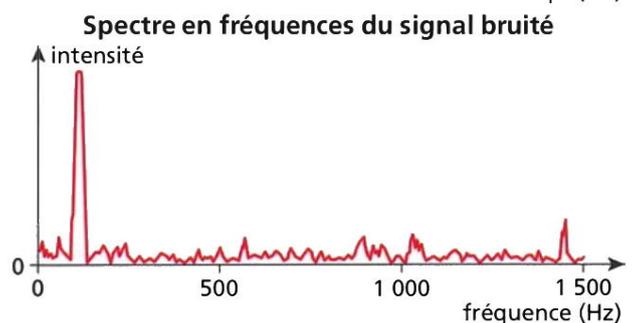
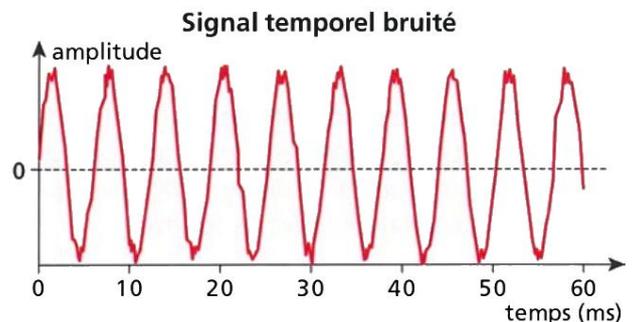
j. Justifier le nom du filtre.

k. La fréquence de coupure  $f_c$  est la fréquence à laquelle le rapport  $U_S/U_E$  est égal à  $1/\sqrt{2}$ , c'est-à-dire la fréquence pour laquelle le gain vaut  $G = -3$  dB. Déterminer graphiquement cette fréquence et comparer avec le calcul théorique précédent (écart relatif).

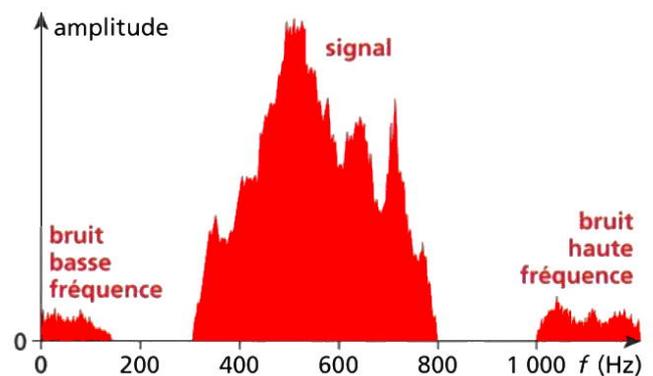
## Document 3 – Filtrage des bruits

Un son perçu comporte souvent des « bruits » de fréquences variées pouvant provenir de diverses sources parasites. Ils rendent le message moins audible ; pour les éliminer, il faut utiliser des filtres.

l. Attribuer à chaque filtre page suivante un qualificatif parmi : passe-bas ; passe-haut ; passe-bande.



m. À l'aide des figures ci-dessus, caractériser un bruit en termes de fréquence et d'amplitude.



n. Sur la figure ci-dessus représentant le spectre d'un signal très bruité, indiquer quels filtres il faut utiliser pour éliminer les bruits.

### 3 Exercices pour la séance n° 8

#### 7.1 Rangs des harmoniques

- a. L'analyse spectrale d'un son indique que la fréquence de son fondamental est 261 Hz. Quelle est la fréquence de l'harmonique de rang 3 ?
- b. L'un des harmoniques a une fréquence de 1 305 Hz. Quel est le numéro de cet harmonique ?

#### 7.2 Sons consonants

Les sons qui sont harmonieux entre eux ont des fréquences dans les rapports :  $3/2$  quinte ;  $4/3$  quarte ;  $5/4$  tierce majeure ;  $6/5$  tierce mineure ;  $5/3$  sixte majeure ;  $8/5$  sixte mineure.

- a. Calculer les fréquences des sons consonants du  $do_3$ , de fréquence 261,6 Hz.
- b. Déterminer leur hauteur.

7.3 N° 4 p. 84 – Reconnaissance vocale

7.4 N° 5 p. 85 – Directivité d'un haut-parleur

7.5 N° 6 p. 85 – Forum de discussion

7.6 N° 2 p. 102 – L'harmonie selon le père Blaise