

ÉLÉMENTS D'ACOUSTIQUE MUSICALE

Jean-Philippe Rameau, dans son *Traité de l'harmonie réduite à ses principes naturels* (1722), ouvrage fondamental dans le développement de la musique occidentale, explique en ces termes l'apport des Mathématiques dans sa compréhension de la musique. Cet ouvrage valut à Rameau d'être considéré comme le plus savant musicien de son époque :

« La Musique est une science qui doit avoir des règles certaines ; ces règles doivent être tirées d'un principe évident, et ce principe ne peut guère nous être connu sans le secours des Mathématiques : aussi dois-je avouer que, nonobstant toute l'expérience que je pouvais m'être acquise dans la Musique, pour l'avoir pratiquée pendant une assez longue suite de temps, ce n'est cependant que par le secours des Mathématiques que mes idées se sont débrouillées, et que la lumière y a succédé à une certaine obscurité, dont je ne m'apercevais pas auparavant. »

Dans toute cette séance de travaux pratiques, le capteur sonore utilisé sera un microphone relié à un amplificateur dont le gain sera réglé sur une valeur moyenne et dont l'alimentation en tension continue sera assurée par les bornes +12V, -12V, et la masse (borne noire). L'acquisition des signaux sera réalisée par l'interface SYSAM, en utilisant l'entrée analogique EA0 sur laquelle on branchera la sortie de l'amplificateur auquel est relié le microphone.

1. Modélisation d'une onde sinusoïdale



L'intensité d'un son est la sensation physiologique qui permet de dire si un son est plus fort ou plus faible qu'un autre son.

- ➡ Produire un son avec un diapason puis en réaliser l'acquisition informatisée pendant une durée de 10ms.
- ➡ Dans le logiciel Latis Pro, afficher à la fois la représentation temporelle du signal enregistré ainsi que le spectre en fréquence correspondant à ce signal et obtenu par analyse de Fourier (touche F6).
- 1.1. Quelle est l'allure du signal observé sur la représentation temporelle ?
- 1.2. À l'aide du réticule, mesurer l'amplitude (valeur maximale) $U_{\max}$ du signal et noter sa valeur.
- 1.3. À l'aide du réticule, mesurer, avec le maximum de précision, la période temporelle T du signal et en déduire la fréquence f du son émis par le diapason.
- 1.4. Quelle est l'allure de la représentation graphique du spectre en fréquences ? Quelles grandeurs caractéristiques du son y retrouve-t-on en abscisse et en ordonnée ?
- ➡ À l'aide du logiciel Latis Pro, modéliser (touche F4) le signal enregistré par une fonction « cosinus », c'est-à-dire une fonction de la forme $u(t) = A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot \text{Temps} + \Phi)$.
- 1.5 Noter les valeurs des différents paramètres (A , f et Φ) déterminées par Latis Pro et les comparer aux valeurs déterminées précédemment grâce au réticule.
- ➡ Réaliser une nouvelle acquisition du son émis par le même diapason mais en produisant un son moins fort que précédemment. On veillera à cocher la case « superposer les courbes » afin d'éviter l'effacement de la courbe précédente.
- ➡ Modéliser ce nouveau signal par la même fonction que précédemment.
- 1.6 Noter et comparer les valeurs des paramètres fournis par la modélisation aux valeurs des paramètres obtenus avec le son précédent.
- 1.7 Conclure quant à la relation qui existe entre la grandeur physique « amplitude » et la qualité physiologique « intensité » du son.

2. Hauteur d'un son



La hauteur d'un son est la sensation physiologique qui permet de dire si un son est plus grave ou plus aigu qu'un autre son.

- ➡ Choisir un instrument de musique et réaliser successivement, en superposant les courbes, l'acquisition de deux notes différentes jouées par ce même instrument.
- ➡ Afficher les représentation temporelles de ces deux signaux dans Latis Pro.

- 2.1. Quelle est l'allure des signaux observés ? Préciser les points communs et les différences.
- 2.2. À l'aide du réticule, déterminer la période de chaque son et en déduire la fréquence correspondante.
- 2.3. Quel est le plus aigu des deux sons ?
- 2.4. Afficher le spectre en fréquence de ces deux sons et comparer soigneusement ces deux spectres, notamment par rapport à la fréquence des sons déterminée précédemment.
- 2.5. Conclure quant à la relation qui existe entre la grandeur physique « fréquence » et la qualité physiologique « hauteur » du son.

3. Timbre d'un son et harmoniques



Le timbre d'un son est la sensation physiologique qui permet de distinguer deux sons de même hauteur (même note) joués par deux instruments différents.

En 1822, le mathématicien français Foseph FOURIER a montré que tout signal périodique de fréquence f_1 peut être décomposé en une somme de signaux sinusoïdaux. Ces signaux sinusoïdaux sont appelés **harmoniques** et l'harmonique de plus basse fréquence est appelé le **fondamental**.

- ➡ Choisir deux instruments de musique différents et réaliser successivement, en superposant les courbes, l'acquisition de la même note jouée par chacun des deux instruments choisis.
 - ➡ Afficher les représentation temporelles de ces deux signaux dans Latis Pro.
- 3.1. Quelle est l'allure des signaux observés ? Préciser les points communs et les différences.
 - 3.2. À l'aide du réticule, déterminer la période de chaque son et en déduire la fréquence correspondante.
 - 3.3. Afficher les spectres en fréquence des deux signaux et comparer soigneusement ces spectres.
 - 3.4. Relever les fréquences des différents pics présents sur ces spectres et en déduire une relation mathématique entre les valeurs de ces fréquences.
 - 3.5. Conclure en indiquant ce qui caractérise physiquement la qualité physiologique appelée « timbre d'un son ».
- ➡ Choisir un instrument de musique et réaliser successivement, en superposant les courbes, l'acquisition de la même note jouée de deux façons différentes : en attaquant et en arrêtant sèchement la note dans un premier temps, en attaquant et en arrêtant doucement la note dans un deuxième temps.
 - ➡ Pour réaliser ces acquisition, il est nécessaire de choisir une durée d'acquisition de l'ordre de 5 secondes (la durée pendant laquelle la note est jouée) et d'introduire un seuil de déclenchement de l'ordre de 100 mV sur la voie EA0 de sorte que l'acquisition ne débute que lorsqu'un son est produit par l'instrument.
 - ➡ Afficher les représentations temporelles des deux signaux ainsi que les spectre en fréquence des deux sons.
- 3.6. Comparer les graphiques obtenus et conclure en indiquant quelle est l'influence de la façon de jouer la note sur le fondamental et les harmoniques. Cela fait également partie du timbre du son.

4. Conclusion

- ♪ Dresser un tableau récapitulatif des différentes qualités physiologiques d'un son et les grandeurs physiques mesurables qui leur sont associées.
- ♪ Rappeler en une phrase la relation entre la fréquence d'un son et la fréquence de son fondamental.
- ♪ Rappeler la relation entre la fréquence du fondamental et la fréquence des harmoniques composant un signal périodique.