

Chapitre 11

Le son, phénomène vibratoire

Document d page 241

À l'origine de l'analyse spectrale

Les contributions de Joseph Fourier concernent de nombreux domaines :

télécommunications, compression de son (MP3) ou d'image, imagerie médicale...

Dans le cas précis d'un son musical, la théorie de Fourier permet de mieux saisir la structure des sons complexes, en les interprétant comme la superposition de sons simples ou purs. Mathématiquement, un son pur est une onde sinusoïdale. Un son tenu, comme une voyelle que l'on chante à une hauteur fixée, correspond en première approximation à un phénomène périodique de fréquence f . D'après la théorie de Fourier, un tel son est interprété comme la superposition d'un son pur de fréquence f (appelé fondamental) et de sons purs de périodes $2f$, $3f$, $4f$, $5f$, etc., qui sont les harmoniques. L'analyse de Fourier consiste donc à extraire les contributions relatives de chacun des harmoniques.

D'après Emmanuel Ferrand, « L'œuvre de Fourier et les mathématiques contemporaines », www.imj-prg.fr.

Document a page 242

L'analyse des signaux de Fourier

L'analyse de Fourier consiste en l'étude des vibrations élémentaires des signaux. Au lieu de s'intéresser directement aux vibrations complexes de ce signal, Joseph Fourier eut l'idée de le décomposer en une combinaison de signaux élémentaires : les sinusoïdes. Chaque sinusoïde est caractérisée par l'amplitude et la fréquence de ses variations ; dans la décomposition de Fourier, les amplitudes nous renseignent sur l'importance relative des fréquences correspondantes dans le signal étudié.

D'après Cédric Villani, *Théorème vivant*, Grasset, Paris, 2012.

Document e page 243

Analyse et synthèse d'un signal

Un signal est décrit par une fonction du temps. Lorsqu'on observe son évolution au cours du temps, on repère bien son commencement, sa fin et la durée de ses éléments caractéristiques, ainsi que des discontinuités, des changements de rythme. En revanche, cette représentation temporelle du signal renseigne peu sur ses périodicités, donc sur ses fréquences.

Pour effectuer l'analyse du signal, on le décompose à l'aide de fonctions qui vibrent comme des sinusoïdes. Une première forme de représentation temps-fréquence est obtenue en découpant arbitrairement le signal en plages de longueur limitée.

L'inconvénient majeur de ce procédé est que la longueur de la plage est fixée une

fois pour toute et que l'on ne peut pas analyser des phénomènes dont les échelles de temps sont différentes.

Les ondelettes sont les vibrations les plus courtes et les plus élémentaires que l'on puisse envisager. La transformée en ondelettes réalise une analyse à toutes les échelles de même qu'une très bonne représentation temps-fréquence.

Pour la synthèse, on reconstruit le signal à partir des coefficients d'ondelettes. Chaque ondelette apporte une retouche infinitésimale supplémentaire du signal. C'est l'un des avantages de la méthode, de s'affiner au fur et à mesure de l'analyse, contrairement à l'analyse de Fourier dans laquelle il faut faire intervenir toutes les composantes à la fois. La synthèse ainsi réalisée est très robuste : il suffit de connaître la valeur des coefficients d'ondelettes avec une précision moyenne pour reconstruire le signal avec une bonne précision.

D'après Yves Meyer, Stéphane Jaffard et Olivier Rioul, « L'analyse par ondelettes »,
Pour la Science (Paris), 1987.

Document a page 244

Les festivals doivent baisser le son des concerts

Les festivals mais aussi les discothèques et les salles de concerts ont dû diminuer les décibels de leurs événements après une nouvelle réglementation dont le but est de protéger l'audition du public.

En effet, un nouveau décret est appliqué depuis 2018 dans tous les lieux qui diffusent de la musique amplifiée. Faisant suite à un article de la loi Santé de 2016,

visant à protéger l'audition du public, ces lieux doivent mettre entre autres à disposition des bouchons d'oreille gratuits, des zones de repos auditif et évidemment baisser le son.

Pour être plus précis, la limite de décibels fixée à 105 depuis 1998 est passée à 102 décibels (le seuil de la douleur correspond à 100 décibels), en moyenne mesurée sur 15 minutes. On passe même à 94 décibels pour un public d'enfants de moins de six ans. Cela s'applique aux discothèques, salles de concerts et aux événements en plein air qui n'étaient jusqu'ici pas concernés. Et qui dit événements en plein air dit festivals. On ne va pas pleurer pour seulement 3 décibels, si ? Pourtant si. Il faut savoir que l'échelle de mesure du niveau d'intensité sonore n'est pas linéaire : 3 décibels en moins c'est diviser l'intensité sonore par deux. C'est tout de suite plus frappant.

D'après www.touslesfestivals.com.

Document d page 245

Intensité sonore et niveau d'intensité sonore

L'intensité sonore I correspond à la puissance sonore par unité de surface.

L'intensité sonore la plus faible perceptible par l'oreille humaine est de l'ordre de $10^{-12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (watt par mètre carré). Le seuil de douleur est lui fixé à $1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

Le rapport entre ces deux valeurs est donc de un à mille milliards. Cette échelle n'étant pas la plus pratique à utiliser, c'est le bel qui a été choisi comme unité de

référence. Et afin de mieux détailler l'échelle sonore, c'est le décibel (dB) (soit un dixième de bel) qui a été finalement été utilisé.

D'après www.techniquesduson.com.

Document c page 249

Échange entre Daniel Bernoulli et Leonhard Euler

Nous avons démontré que toute courbe exprimée par cette équation :

$$y = \alpha \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) + \beta \sin\left(\frac{2\pi x}{a}\right) + \gamma \sin\left(\frac{3\pi x}{a}\right) + \text{etc.}$$
 satisfait à la condition dont il

est question. Mais ne peut-on pas dire que cette équation comprend toutes les courbes possibles ; ne peut-on pas, moyennant les quantités arbitraires, α , β , γ , etc., faire passer la courbe par autant de points qu'on voudra, donnés de position ?

Extrait d'une lettre de Daniel Bernoulli à Leonhard Euler, vers 1760.

Document f page 249

Lagrange intervient dans la controverse

Cette construction de Monsieur Euler est beaucoup plus générale que celle que Monsieur d'Alembert a imaginée, celui-ci ayant toujours supposé que la courbe puisse être renfermée dans une équation continue.

Monsieur Euler soutient au contraire que pour l'exactitude de la construction donnée, il n'est nullement nécessaire d'avoir égard à la loi de continuité dans la fonction physique, qui dépend de la courbe initiale de la corde.

Mais les principes de résolution du problème dépendent de la loi de continuité ; c'est pourquoi il semble indubitable que les conséquences qui s'en déduisent seront toujours illégitimes lorsque cette loi n'est pas supposée avoir lieu.

Monsieur Daniel Bernoulli prétend avoir démontré que la solution de Monsieur Taylor est seule capable de satisfaire à tous les cas possibles d'un tel problème ; il appuie son sentiment sur l'expérience.

D'après Joseph-Louis Lagrange, *Recherches sur la nature et la propagation du son*,

1759.

Document a page 257

Les technologies vocales dans les entreprises

85 % des entreprises veulent utiliser les technologies vocales pour communiquer avec leurs clients. Cela marque l'avènement de « l'économie conversationnelle », c'est-à-dire un écosystème où la voix devient la principale interface pour les clients. Cependant, bien que les chefs d'entreprise estiment que la technologie vocale stimulera les ventes, ils sont aussi très inquiets (80 %) à propos de la capacité des entreprises à conserver en sécurité les données acquises grâce à la technologie vocale. Vijay Balasubramaniyan, cofondateur de Pindrop, spécialisé dans la sécurité et l'authentification vocale, explique en effet : « L'économie conversationnelle au

sens large, incluant la sécurité et l'identité des personnes, devient un enjeu central à mesure que son utilisation augmente. Si les entreprises ont l'intention d'utiliser la technologie vocale pour la majorité des interactions avec leurs clients dans un avenir proche, elles doivent également s'assurer que cette méthode d'interaction est aussi sûre que n'importe quelle autre. Actuellement, les contrôles biométriques peuvent être facilement trompés par une voix synthétisée, tandis que les numéros de téléphone qui seront utilisés pour intercepter les assistants virtuels peuvent être usurpés. Au fur et à mesure que l'utilisation des assistants à commande vocale augmente, des attaques suivront. Il apparaît ainsi crucial de lever les craintes des consommateurs relatives aux questions de sécurisation des données afin de donner un véritable essor à ces technologies ».

D'après relationclientmag.fr.