

Lundi 8 janvier 1996 à 17 h

Audition et illusions

Bernard Vuilleumier

Centre informatique
pédagogique (CIP)
Rue Théodore-de-Bèze 2
Case Postale 3144
1211 GENÈVE 3
Tél: (022) 318.05.30
Fax: (022) 318.05.35
Directeur:
Raymond Morel

Lettre n° 45

L'audition est une relation de caractère subjectif entre l'excitation acoustique et la sensation physiologique

Une des illusions auditives les plus connues est la perception d'une gamme indéfiniment montante

L'oreille perçoit parfois des fréquences qui ne sont pas présentes dans le signal physique

Certains enregistrements fournissent toujours le même son, quelle que soit la vitesse de défilement de la bande

Certaines fonctions possédant une «caractéristique fractale» permettent de créer des illusions auditives

L'audition est une relation de caractère subjectif entre l'excitation acoustique et la sensation physiologique. La bande des *fréquences sonores audibles* s'étend de 20 Hz à 20 kHz. Le seuil d'audibilité et celui de la sensation douloureuse sont fonction de la fréquence. Le rapport entre l'énergie d'excitation du seuil de sensation douloureuse et l'énergie d'excitation du seuil d'audibilité vaut environ 10^{14} . Le *pouvoir séparateur* en intensité I/I_0 dépend du niveau sonore et de la fréquence. Dans la zone d'audition normale il vaut 0.25. Le pouvoir séparateur en fréquence f/f_0 dépend de la fréquence. Entre 1000 et 6000 Hz, il vaut environ 0.35%. L'audition biauriculaire permet de localiser dans une certaine mesure les sources sonores et crée une impression de relief acoustique. L'oreille est sensible aux effets de masque: les diverses fréquences perçues simultanément se masquent plus ou moins les unes les autres et peuvent même créer, dans certaines conditions, des fréquences nouvelles (non linéarité de l'oreille).

Les sons synthétisés peuvent donner lieu à des sensations surprenantes et certains d'entre eux peuvent même produire des *illusions auditives*. Une des illusions auditives les plus connues a été découverte dans les années 60 par Roger Shepard. Elle se perçoit comme une gamme indéfiniment montante ou indéfiniment descendante. Elle peut facilement être construite à l'aide de sons générés par ordinateur (voir lettre CM n° 22). La plupart des sons complexes que nous percevons peuvent être classés sur une échelle allant du grave à l'aigu. Quand ces sons complexes sont périodiques, cet attribut perceptif de hauteur correspond à la fréquence fondamentale. Toutefois, la hauteur d'un son complexe est perçue même si cette fréquence fondamentale n'est pas présente physiquement dans le signal: c'est le phénomène du *fondamental absent*. Tout se passe comme si la fréquence fondamentale était reconstituée à partir de la mesure de l'écart de fréquence entre les harmoniques présentes. D'autres illusions auditives sont basées sur le concept d'*autosimilitude* (voir lettre CM n° 36). Comme un son peut être défini à l'aide d'une fonction, il faut s'attendre, si la fonction utilisée est autosimilaire, à des propriétés sonores particulières. Le «bruit blanc», qui peut être caractérisé par une fonction autosimilaire, est le plus commun de ces sons. Si vous réglez votre récepteur radio entre deux postes, vous entendez un bruit blanc. Si vous enregistrez ce son et que vous jouez l'enregistrement à différentes vitesses, vous obtiendrez toujours approximativement le même son! Par analogie à ce qui se passe en géométrie fractale (reproduction d'un motif par agrandissement d'une de ses parties) on parle alors de *son fractal*. Les fonctions de Weierstrass sont aussi autosimilaires. Elles permettent de créer une illusion auditive plus intéressante: si on enregistre le son obtenu à l'aide d'une certaine approximation d'une fonction de Weierstrass et qu'on le joue à la vitesse double, on ne perçoit pas un son de fréquence double, mais un son situé un demi-ton au-dessous du son de départ!



Fig. 1: La courbe de gauche correspond à une approximation d'une fonction de Weierstrass. La courbe de droite est obtenue en agrandissant une partie de la courbe de gauche. Malgré l'approximation utilisée, on constate que la fonction obtenue possède déjà une certaine autosimilitude: lorsqu'on agrandit une de ces parties, on retrouve une courbe qui présente la même allure.

Travaux pratiques

Mots clefs

audition, fréquence audible, pouvoir séparateur, illusion auditive, autosimilarité, son fractal.

Pour se familiariser avec la synthèse de sons et tester le pouvoir séparateur en fréquence de votre oreille

Pour créer une illusion auditive à l'aide d'un son fractal défini par une fonction autosimilaire

Exercice 1

- Définissez une fonction permettant de jouer un son de fréquence f .
- Sachant que la gamme de Pythagore est caractérisée par les fréquences $\{f, 9f/8, 81f/64, 4f/3, 3f/2, 27f/16, 243f/128, 2f\}$ et la gamme de Zarlino par les fréquences $\{f, 9f/8, 5f/4, 4f/3, 3f/2, 5f/3, 15f/8, 2f\}$, calculez, en prenant pour fréquence fondamentale $f = 261.62558$ (*do*), les fréquences des notes de chacune de ces gammes et jouez-les.
- Jouez successivement les quintes *ré-la* des gammes de Pythagore et de Zarlino.
- Que doit valoir le pouvoir séparateur en fréquence f/f de l'oreille pour qu'elle puisse distinguer la quinte *ré-la* de la gamme de Pythagore de la quinte *ré-la* de la gamme de Zarlino?

Exercice 2

Soit un son défini par la fonction: $w_k(t) = \sum_{k=1}^{10} \cos(2^{(13/12)k} 20 t)$

Si on enregistre ce son et qu'on le joue ensuite à une vitesse double, toutes les fréquences de ses composantes seront doublées. La fonction définissant ce nouveau son sera:

$$w_k(2t) = \sum_{k=1}^{10} \cos(2^{(13/12)k+1} 20 t)$$

- Donnez explicitement les fonctions $w_k(t)$ et $w_k(2t)$.
- Jouez les sons définis par ces deux fonctions.

Prochaine réunion: lundi 5 février 1996 à 17h.