

Lettre n° 22

*Il existe en acoustique
une illusion comparable
à celle procurée par le
célèbre escalier d'Escher*

*Les notes de certaines
mélodies peuvent être
perçues avec une tonali-
té qui augmente sans
cesse*

*On crée cette illusion en
augmentant la fréquence
des harmoniques et en
modifiant leurs ampli-
tudes relatives lorsqu'on
passe d'une note à la sui-
vante*

Lundi 3 mai 1993 à 17 h

Écouter Escher

ou comment créer une illusion auditive

Bernard Vuilleumier

Chacun connaît la célèbre lithographie «Montée et descente» dans laquelle Escher met en scène un escalier situé au sommet d'un immeuble (voir annexe). Grâce à une légère déformation répartie sur tous les angles et sur toutes les surfaces, cet escalier se présente comme un escalier perpétuel.

Il existe en acoustique une illusion moins connue et comparable à l'escalier d'Escher: c'est la gamme de Shepard¹. En l'écoutant, on perçoit une suite de notes dont la tonalité s'élève ou s'abaisse indéfiniment !

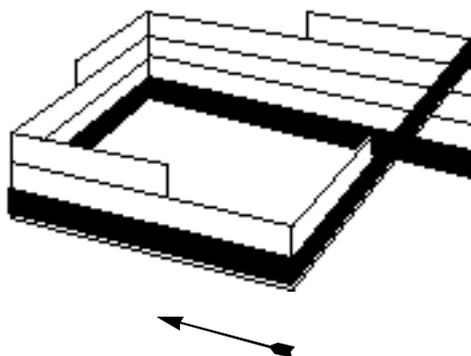


Fig. 1: En suivant l'arête supérieure de la figure dans le sens de la flèche, on a l'impression de parcourir un escalier qui monte continuellement. Si on tourne dans l'autre sens, l'escalier semble descendre indéfiniment. La bande noire spiralée fait apparaître les déformations qui donnent lieu à cette illusion.

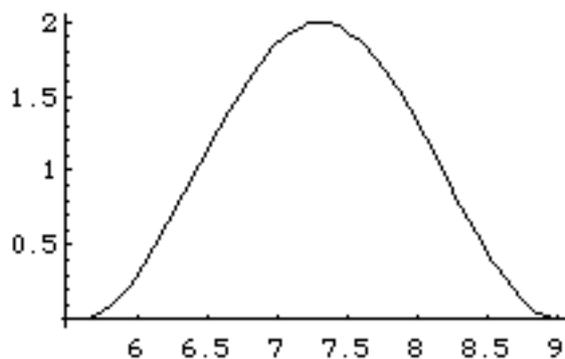
Une note musicale est habituellement composée de plusieurs fréquences -la fondamentale et les harmoniques- caractérisant chacune un son pur. La hauteur d'une note ne dépend pas seulement de la fréquence des différents sons qui la composent, mais également de leurs amplitudes relatives.

Dans une gamme de Shepard, chaque note comporte six harmoniques. L'amplitude des sons ayant des fréquences basses ou des fréquences élevées est faible alors que celle des sons de fréquences moyennes est plus importante. Dans une telle gamme, lorsqu'on passe d'une note à la suivante, la fréquence de toutes les harmoniques qui composent la note est augmentée. Dans le même temps, l'amplitude des harmoniques élevées diminue et celle des harmoniques basses augmente. Les sons les plus aigus finissent par disparaître alors que des sons graves prennent naissance. Mais, malgré cela, la tonalité des notes semble s'élever ou s'abaisser toujours.

C'est l'augmentation de la fréquence des harmoniques combinée à une variation appropriée de leurs amplitudes relatives qui crée cette illusion. La gamme de Shepard est l'analogue auditif de l'escalier d'Escher.

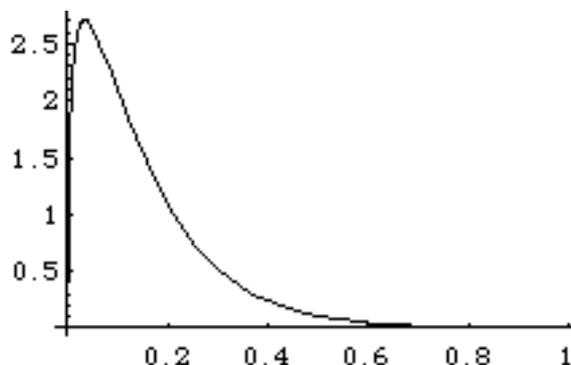
Travaux pratiques

1. Jouez les sons purs correspondant à une fréquence fondamentale ν_0 et aux quatre harmoniques $\nu_1=2\nu_0$, $\nu_2=4\nu_0$, $\nu_3=8\nu_0$ et $\nu_4=16\nu_0$.
2. Jouez une note comportant une fréquence fondamentale ν_0 et les quatre harmoniques $\nu_1=2\nu_0$, $\nu_2=4\nu_0$, $\nu_3=8\nu_0$ et $\nu_4=16\nu_0$.
3. Construisez une fonction qui fixe l'amplitude des harmoniques en fonction de la fréquence. La fonction obtenue devrait s'annuler lorsque la fréquence vaut ν_0 ou $32\nu_0$ (aux basses et hautes fréquences), présenter un maximum entre 5 et $6\nu_0$ et avoir approximativement la forme suivante:



N. B. Les unités de l'abscisse correspondent au logarithme naturel de la fréquence. Ce graphique a été établi pour une fréquence fondamentale $\nu_0 = 262$ Hz.

4. Construisez une enveloppe qui présente le comportement suivant: croissance rapide suivie d'un déclin plus lent et extinction après une seconde environ:



5. Construisez une gamme de douze notes en partant d'une fréquence fondamentale ν_0 et en allant jusqu'à l'octave. Adoptez pour chaque note l'enveloppe ci-dessus et les quatre harmoniques $\nu_1=2\nu_0$, $\nu_2=4\nu_0$, $\nu_3=8\nu_0$ et $\nu_4=16\nu_0$ dont les amplitudes seront données par la fonction de l'exercice 3.

Lorsque vous jouerez cette gamme, vous éprouverez une illusion auditive!

¹ Shepard, R. N., Circularity in Judgments of Relative Pitch, *Journal of the Acoustical Society of America*, 1964, **36**, pp. 2345-2353.

Prochaine réunion: lundi 6 septembre 1993 à 17h.

