



CHAQUE MOIS



CHAQUE TRIMESTRE

Retrouvez vos magazines en kiosque ou directement chez vous

POUR LA SCIENCE

La référence de l'actualité scientifique internationale



LES VERSIONS NUMÉRIQUES
feuilletables en PDF sur le site



L'APPLICATION
téléchargeable sur Appstore
et Google Play pour consulter
vos magazines



Suivez Pour la Science
également sur :



DES CONTENUS INÉDITS
sur le site



WWW.POURLASCIENCE.FR

IDÉES DE PHYSIQUE

L'escalier chantant de Maoshan

Un bruit émis face à des marches d'escalier ou une autre structure périodique peut devenir un son d'une hauteur bien déterminée.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Un visiteur est debout devant l'escalier du monument à la victoire du mont Maoshan, dans la province du Jiangsu, en Chine. Un feu d'artifice est tiré au-dessus de lui. En écho de chaque explosion, le visiteur entend distinctement le son cuivré d'un clairon jouer une brève mélodie de six notes (voir la figure ci-dessous).

On retrouve ce phénomène sous diverses formes au théâtre grec d'Épidaure ou à la pyramide de Kukulcán sur le site maya de Chichén Itzá, au Mexique. Ces architectures ont toutes en commun de présenter des structures périodiques, escaliers ou rangées de

sièges, dont les multiples échos s'additionnent pour produire des notes musicales. Comment peut-on l'expliquer ?

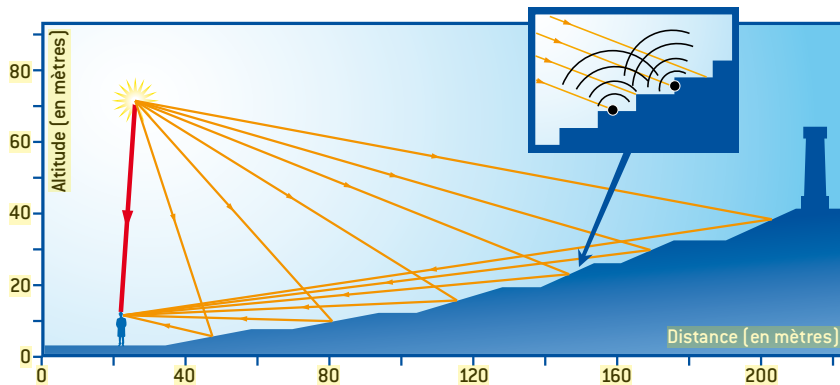
Quand l'écho donne une hauteur à un bruit

Avant de nous attaquer à la mélodie du mont Maoshan, commençons par un phénomène plus simple, constaté dès 1693 par le physicien néerlandais Christiaan Huygens devant l'escalier de pierre du château de Chantilly, en France. Quand la fontaine face à l'escalier fonctionnait, Huygens entendait un son de même hauteur que celui produit en soufflant dans un

tuyau de même longueur que la profondeur des marches, soit presque 46 centimètres.

L'effet est toujours présent aujourd'hui, comme un claquement de mains face à l'escalier du château vous le révélera. Chacune des marches renvoie un faible écho de ce claquement, mais notre cerveau interprète la succession rapide de ces échos comme un signal périodique. La période de ce son correspond au temps de trajet supplémentaire pour passer d'une marche à la suivante, c'est-à-dire à la durée que met le son pour parcourir deux fois la largeur d'une marche, ici 2,7 millisecondes. À partir d'un bruit, claquement de mains ou clapotis d'une fontaine, nous





Dessins de Bruno Vacaro

LES MARCHES DU MONUMENT

du mont Maoshan réfléchissent différemment selon leurs caractéristiques (hauteur, profondeur et position) et la longueur d'onde acoustique, les ondes sonores qui forment le bang initial – et cela en chacun de leurs points (*cartouche*). L'écho est la somme de toutes les ondes réfléchies. Le calcul confirme que cette somme est perçue comme une succession rapide de six notes, liées aux six volées dont est constitué l'escalier.

récoltons un son périodique, c'est-à-dire une note de musique, dont la fréquence, l'inverse de la période, est ici de 370 hertz.

Cet effet est plus spectaculaire avec l'escalier de la pyramide de Kukulcán où l'écho du claquement de mains imite, dit-on, le gazouillis du quetzal. Il y a une dizaine d'années, le physicien néerlandais Frans Bilsen a intégré dans ses calculs les grandes dimensions de la pyramide pour tenir compte du fait que, à mesure que la position des marches augmente, l'inclinaison des ondes réfléchies par rapport au sol augmente aussi et, avec elle, le délai entre deux ondes successives. Ainsi, les premières ondes réfléchies reçues par l'auditeur proviennent du bas de la pyramide et sont séparées par les durées les plus courtes ; elles sonnent plus aiguës que les ondes plus tardives réfléchies par le haut de l'escalier. On a ainsi un effet de *glissando* marqué.

En fait, de façon surprenante, il suffit d'une seule réflexion pour que notre cerveau attribue une hauteur à un son, même si ce dernier en est dépourvu. Il suffit que notre oreille reçoive successivement et sans recouvrement, dans un laps de temps très court, le signal acoustique et ce même signal renvoyé par une surface acoustiquement réfléchissante. Contrairement à une situation d'écho où l'oreille arrive à discriminer le signal original et le signal réfléchi, l'écart entre les deux est suffisamment bref (en deçà de quelques centièmes de seconde) pour que l'oreille entende un seul signal, mais ce dernier est comme « coloré » par un son dont la fréquence caractéristique est l'inverse du délai de réception entre les signaux.

Ce phénomène serait à l'origine des sons curieux que l'on entend parfois dans les parkings ou du léger *glissando* que l'on perçoit

lorsqu'un avion nous survole et que le bruit original est bien réfléchi sur une chaussée ou un mur en béton.

Ces considérations permettent-elles de comprendre l'origine de la mélodie du mont Maoshan ? Qualitativement, oui : la grande longueur de l'escalier (200 mètres, pour 36 de hauteur) explique que les réflexions par les différentes marches s'étendent sur une durée de près d'une seconde, tandis que l'échelonnement de l'escalier en six volées de dimensions différentes explique la succession de six notes de musique bien identifiées.

Quantitativement, toutefois, on est loin du compte, car la durée du bang d'un feu d'artifice (40 millisecondes) est bien plus longue que l'intervalle des réflexions entre deux marches successives : les échos d'au moins une dizaine de marches successives se recouvrent alors et peuvent interférer. Il faut aussi tenir compte d'autres conséquences de la nature ondulatoire du son, notamment la diffraction. Elle est notable lorsque les objets qui réfléchissent ou diffusent les ondes ont des tailles de l'ordre des longueurs d'onde présentes dans les signaux, comme c'est le cas ici (les marches d'escalier ont des tailles correspondant à des sons de quelques centaines de hertz).

Un escalier formant un réseau acoustique

On s'attend ainsi à ce que les ondes acoustiques ne soient pas simplement réfléchies comme une balle sur un mur lisse, mais largement diffractées dans toutes les directions. Xu Chen et ses collègues, à l'université de Nankin, se sont récemment intéressés au phénomène. Ils sont revenus aux sources de la physique ondulatoire et ont appliqué le principe dit de Huygens-Fresnel.

Il s'agit d'abord de décomposer le bang de l'explosion en sons purs de fréquences bien définies. Le résultat est une superposition d'une multitude d'ondes de fréquences différentes sans qu'aucune ne soit caractéristique : notre oreille a donc du mal à lui associer une hauteur, comme face à un vrombissement de moteur, le froissement d'une feuille ou un claquement. Pour chacun de ces sons purs incidents, chaque élément de la surface de l'escalier réémet dans toutes les directions une

LES AUTEURS



Jean-Michel COURTUY et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'université Pierre-et-Marie-Curie, à Paris. Leur blog : <http://blog.idphys.fr>



Retrouvez la rubrique
Idées de physique sur
www.pourlascience.fr