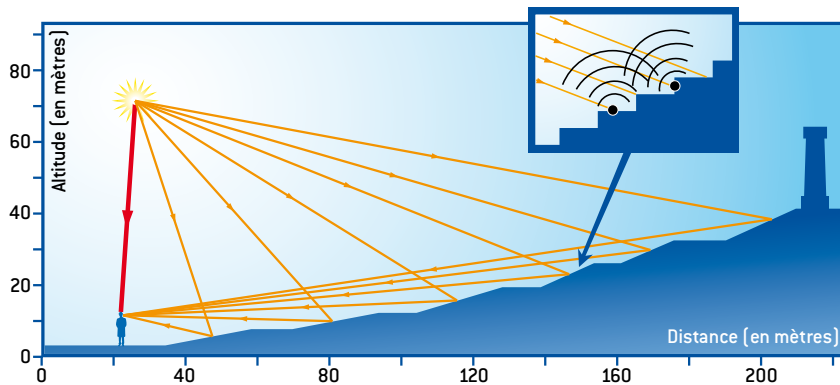




Dessins de Bruno Vacaro

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 identifiables.

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 COURTY 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

onde sonore sphérique de même fréquence et de même amplitude (en négligeant ce qui est transmis dans la pierre). On examine alors la somme des ondes élémentaires, sur toutes les fréquences présentes dans le bang et sur le monument tout entier, que l'auditeur récolte.

Le calcul est fastidieux, mais ne pose pas de problèmes particuliers. Que montre-t-il ? D'abord, que les volées d'escalier contribuent chacune à un son particulier. Comme elles sont bien échelonnées, les sons résultants sont reçus successivement par l'auditeur, avec des écarts de 0,2 seconde environ ; l'oreille les distingue donc bien, d'où la perception d'une brève mélodie.

Ensuite, la hauteur de chacun des six sons est parfaitement déterminée et dépend à la fois des caractéristiques des marches de la volée (hauteur et profondeur) et des positions de la volée, de la source sonore et

de l'auditeur. Cette sélectivité en fréquence résulte de l'interférence des ondes réfléchies par les différentes marches de la volée (une cinquantaine au total) : seules certaines fréquences donnent lieu à des interférences constructives et subsistent, les autres disparaissent. C'est l'analogie acoustique de l'irisation que l'on peut observer lorsqu'on éclaire un CD avec de la lumière blanche ; le réseau optique constitué par les traits de la gravure ne renvoie dans une direction donnée que certaines couleurs du spectre.

Quantitativement, l'accord entre théorie et mesures expérimentales semble excellent. Les chercheurs, prudents, aimeraient vérifier leur travail sur des monuments similaires, telle mausolée de Sun Yat-sen (1866-1925), mais ils n'ont pas obtenu les autorisations nécessaires. Alors pourquoi pas un petit feu d'artifice face à l'escalier du château de Chantilly ? ■

BIBLIOGRAPHIE

X. Chen *et al.*, *Unraveling the mystery of the "Maoshan bugle"*, *American Journal of Physics*, vol. 82, pp. 135-141, 2014.

F. A. Bilsen, *Huygens on pitch perception ; staircase reflections reconsidered*, *NAG-Journaal*, n° 178, mars 2006.

SUR LE WEB

Feux d'artifice au mont Maoshan, avec le son : www.youtube.com/watch?v=yLfuplZzQLQ

Écho de la pyramide de Kukulcán : www.youtube.com/watch?v=WaLRMq8sgYM



LES

{ Partagez
les savoirs }

RENDEZ-VOUS DU
MUSÉUM

Entrée
gratuite

Au Jardin des Plantes

Détails sur mnhn.fr,
rubrique :
"les rendez-vous du Muséum"



COURS PUBLICS

Cycle Préhistoire, préhistoriens, Préhistoriques : Naissance, pratiques et imaginaire de la Préhistoire au XIX^e siècle

Judi 8 octobre – 18h : Préhistoriens. La Préhistoire entre aventure individuelle et indifférence des pouvoirs publics

Judi 15 octobre – 18h : Préhistoriques. La construction d'une image des hommes fossiles

A. Hurel, historien des sciences, ingénieur de recherche au Muséum, Centre Koyré

Grand Amphithéâtre du Muséum — 57 rue Cuvier, Paris 5^e

BAR DES SCIENCES

Dimanche 11 octobre – 17h30 : Le climat, comment ça marche ?

Dans le cadre de la Fête de la Science. Animé par **M.-O. Monchicourt**, journaliste

Avec **S. Bony**, spécialiste de la modélisation des climats, IPSL ; **F. Gaill**, océanographe, coordinatrice du comité scientifique de la plateforme Océan-climat, CNRS ; **F. Sarrazin**, écologue, UPMC-Muséum

Café-restaurant de la Baleine — 47 rue Cuvier, Paris 5^e

CONFÉRENCES / DÉBATS

Cycle Changement climatique et biodiversité

Lundi 19 octobre – 18h : Les insectes fossiles et les changements climatiques du passé

Par **R. Garrouste**, paléontologiste, Muséum

Lundi 26 octobre – 18h : Les changements climatiques : une aubaine pour les végétaux ?

Par **N. Machon**, professeur d'écologie, Muséum

MÉTIER DU MUSÉUM

Dimanche 25 octobre – 15h : Médecin anthropologue, **A. Epelboin**

Auditorium de la Grande Galerie de l'Évolution
36 rue Geoffroy St-Hilaire, Paris 5^e