



© akhane

Dans quelle société souhaitons-nous vivre ?

Les algorithmes sont
probablement
le premier outil
à la mesure
de nos aspirations.

Cessons de les subir,
en cherchant
à les comprendre.

Serge Abiteboul et Gilles Dowek



192 p. - 17 €

Retrouvez toutes nos nouveautés sur notre site
www.editions-lepommier.fr



IDÉES DE PHYSIQUE

Les infidèles micros de la guitare électrique

Grâce à des capteurs électromagnétiques bien placés, une guitare électrique produit des sons que l'instrumentiste peut largement moduler.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Pas facile de faire entendre sa guitare sèche dans un groupe de jazz ! Pour avoir répondu à cette attente dans les années 1930, les ingénieurs de chez Gibson avaient-ils imaginé qu'ils créeraient un instrument de musique aussi populaire ? De l'ES-150 de Charlie Christian à la Fender Stratocaster de Jimi Hendrix, la guitare électrique émet sa musique partout. Mais comment ? On se pose la question quand on remarque que cette guitare est dépourvue de caisse de résonance, structure responsable de l'amplification du son des cordes dans les instruments classiques (voir l'illustration ci-contre).

Des cordes et des frettes

Transformer une corde en instrument de musique est facile. Il suffit de la tendre, puis de la faire vibrer en la frappant (piano), en la frottant (violon) ou en la pinçant (guitare). La perturbation se propage le long de la corde et effectue des allers et retours en se réfléchissant aux extrémités. Le résultat est un mouvement périodique de la corde. Plus précisément, ce mouvement est une superposition (une somme) d'oscillations sinusoïdales à des fréquences égales aux multiples entiers d'une fréquence fondamentale.

C'est cette fréquence fondamentale (inverse de la période) qui définit la hauteur de la note. Les amplitudes relatives des différentes « harmoniques » (les oscillations aux fréquences multiples de la fondamentale)

déterminent le timbre de l'instrument. Pour une longueur de corde donnée, la fréquence sera d'autant plus grande, et donc la note plus aiguë, que la corde est tendue ou que sa masse par unité de longueur est faible.

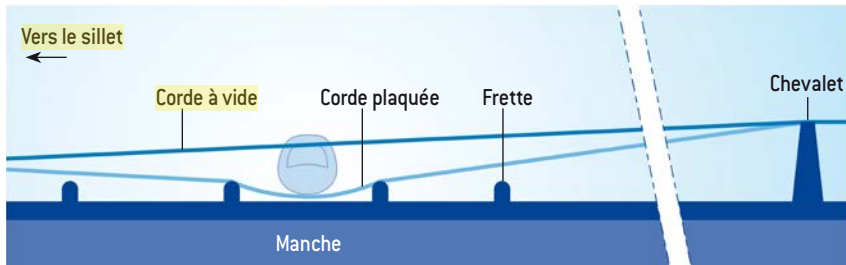
Ainsi, sur une guitare, les six cordes, bien que de même longueur, peuvent produire six notes différentes. Pour obtenir davantage

de notes, il suffit de plaquer les cordes contre le manche avec les doigts pour réduire la longueur mise en vibration. Cela diminue le temps d'aller-retour de la vibration de la corde et augmente donc la fréquence des oscillations. Ainsi, en pressant une corde en son milieu, on double la fréquence, c'est-à-dire que l'on joue une note à l'octave.



Dessins de Bruno Vacaro

UNE CORDE QUI VIBRE PRODUIT UN SON TRÈS FAIBLE. Dans un instrument classique, tel l'oud arabe (à droite), ce son est amplifié grâce au couplage entre la vibration de la corde et celle de la caisse de résonance. Dans une guitare électrique, c'est le mouvement des cordes lui-même qui est traduit en signaux électriques, lesquels sont ensuite transformés en sons par des haut-parleurs.



LORSQUE LE DOIGT PLAQUE LA CORDE contre le manche de l'instrument, il raccourcit la longueur de la corde mise en vibration, ce qui augmente la fréquence sonore fondamentale et produit un son plus aigu que pour la corde entière. Pour un instrument à frettes, comme la guitare ou le luth, la longueur sélectionnée est la distance entre le chevalet et la dernière frette avant le doigt.

Sur le violon ou l'oud, la position du doigt peut varier de manière continue ; cela permet de faire des vibratos, mais la pratique de l'instrument est délicate. Il est plus facile de jouer juste sur un instrument qui comporte des frettes. Ces petites barres de métal incrustées dans le manche sont légèrement surélevées : si vous pressez convenablement la corde entre deux frettes – et peu importe la position précise de votre doigt –, la corde sera immobilisée au niveau de la frette la plus proche du chevalet (voir la figure ci-dessus). Les frettes imposent donc des longueurs bien définies de la partie vibrante de la corde et, convenablement disposées, permettent de jouer des gammes.

L'aimant magnétise la portion de la corde placée juste au-dessus (voir la figure page ci-contre), cette dernière étant en acier ou en nickel [des matériaux ferromagnétiques]. Lorsque la corde vibre, le petit champ magnétique dû à son aimantation varie au niveau de la bobine. En vertu des lois de l'induction électromagnétique, il engendre alors aux bornes de la bobine une tension électrique.

Ainsi, le principe de la conversion est simple. Mais la relation entre les vibrations de la corde et le courant produit l'est beaucoup moins. Tout d'abord, ce courant n'est pas proportionnel à l'amplitude des vibrations, car les champs magnétiques sont très inhomogènes aux échelles considérées : quand la corde s'éloigne du capteur, elle se retrouve dans une zone de champ magnétique plus faible. Le petit aimant induit sur la corde devient donc à la fois moins puissant et plus distant de la bobine. Et c'est l'inverse quand la corde se rapproche. Ces variations, qui se répercutent sur la tension induite, peuvent rendre le son très puissant, avec de fortes non-linéarités qui enrichissent le son en harmoniques élevées.

Ensuite, le capteur agit mécaniquement sur les cordes, puisque son aimant permanent attire le morceau de corde aimanté. Cet effet amortit les vibrations de la corde et peut rendre le son beaucoup moins persistant. Par ailleurs, la corde peut vibrer parallèlement ou perpendiculairement à l'axe de la bobine. La tension induite sera, dans le premier cas, beaucoup plus élevée (typiquement d'un facteur 10) que dans le second, car la variation du champ magnétique sera plus importante. Le « micro » traduira donc très différemment le jeu du guitariste selon la façon dont il gratte la corde, avec ou sans médiateur.

Un « micro » magnétique

Mais la corde ne fait pas tout : sa vibration produit un son très faible, car elle agit très peu sur l'air qui l'entoure. La solution habituelle est de coupler mécaniquement cette vibration à une grande surface associée à une caisse de résonance creuse, comme avec une guitare classique.

Et dans une guitare électrique ? Ici, les vibrations de chaque corde sont directement converties en signaux électriques par un capteur électromagnétique, qu'on nomme usuellement « micro », bien qu'il ne s'agisse pas à proprement parler d'un microphone (dispositif censé capter un son). Les signaux électriques sont amplifiés afin de faire vibrer la membrane de haut-parleurs, avec en bonus la possibilité de traiter électroniquement le son pour obtenir le timbre et la sonorité désirée.

Le « micro » est composé d'un aimant (ou plusieurs) autour duquel un fil de cuivre très fin est enroulé et forme une bobine.

■ LES AUTEURS



Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'université Pierre-et-Marie-Curie, à Paris. Leur blog : www.scilogs.fr/idees-de-physique.

Leur dernier ouvrage : *En avant la physique !*, un recueil de leurs meilleures chroniques parues dans *Pour la Science* (Belin, 2017).



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