

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.

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.

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.

LES AUTEURS

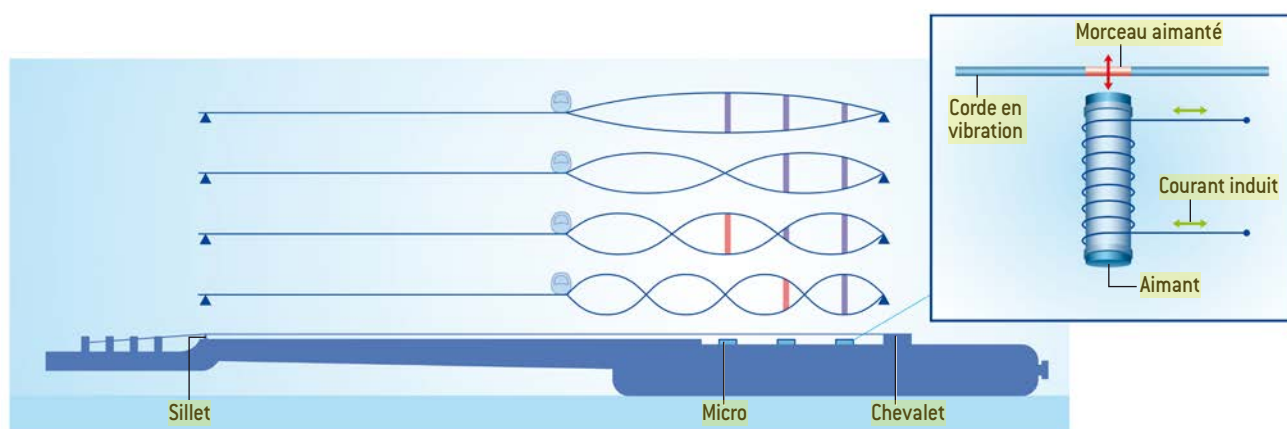


Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'université Pierre-et-Marie-Curie, à Paris. Leur blog : www.scilogs.fr/idees-de-physique.

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



CHACQUE « MICRO » D'UNE GUITARE ÉLECTRIQUE est un capteur électromagnétique, qui aimante le morceau de corde situé face à lui. Le mouvement de ce morceau de corde, en faisant varier le champ magnétique au niveau du capteur, induit un courant électrique dans la bobine de celui-ci. Par ailleurs, pour chaque mode d'oscillation (de haut en

bas : le mode fondamental et les trois harmoniques suivantes) de la corde, les trois « micros » captent des oscillations d'amplitudes différentes (traits verticaux ; le rouge indique ici une oscillation en opposition de phase) en fonction de leurs positions. Ils conduisent donc à des sons de timbres différents à partir de la même corde en vibration.

Enfin, il ne faut pas oublier l'influence de la vitesse de la corde sur la tension induite, effet qui favorise encore les hautes fréquences. Et c'est sans compter que le capteur se comporte comme un oscillateur électrique, qui a sa propre fréquence de résonance et son propre taux d'amortissement. On comprend donc le soin méticuleux avec lequel un guitariste règle son « micro » !

Combiner les micros

Ou plutôt ses micros, car, comme on le constate sur la Stratocaster, il y en a trois pour chaque corde : le micro manche, le micro intermédiaire et le micro chevalet. Pour comprendre l'intérêt de cette multiplicité, regardons d'abord le mode fondamental d'une note jouée sur la guitare (voir la figure ci-dessus). L'amplitude de la vibration de la corde est plus élevée au niveau du micro manche qu'au niveau du micro chevalet : cela signifie que, pour un réglage identique par ailleurs, ce mode est plus présent dans le son du premier micro que dans le second.

Considérons maintenant une harmonique, la troisième. Au niveau du micro chevalet, la vibration est accentuée par rapport au mode fondamental, tandis que son amplitude est pratiquement nulle au niveau du micro manche ; et pour le micro intermédiaire, la vibration est en opposition de phase par rapport aux deux autres.

On voit ainsi que le micro chevalet conserve toutes les fréquences et favorise les plus élevées. Le son de ce micro est donc plus agressif, plus aigu. Le micro manche, lui, conserve bien les basses fréquences et élimine certaines harmoniques. On l'utilise pour avoir un son plus rond, plus grave.

Dans la Stratocaster, un raffinement vient enrichir ces sonorités : le micro chevalet est incliné d'une dizaine de degrés vers le manche et capte plus facilement le mode fondamental des cordes les plus hautes (les plus graves) tandis que le micro intermédiaire est très légèrement incliné vers le chevalet, ce qui au contraire gonfle un peu en harmoniques ces notes graves.

Mieux encore, la Stratocaster est dotée d'un sélecteur qui permet de choisir entre ces trois micros, ou une combinaison d'un des micros extrêmes avec le micro intermédiaire : les possibilités sonores en sont multipliées d'autant.

Ainsi, paradoxalement, ce n'est pas tant pour leur fidélité de restitution du mouvement des cordes que l'on conserve ces micros magnétiques (des capteurs optiques disponibles depuis une vingtaine d'années feraient mieux l'affaire), mais plutôt pour leurs infidélités, qui contribuent à la variété des sons des guitares électriques... ou des ouds électriques que l'on commence à voir depuis quelques années. ■

■ BIBLIOGRAPHIE

P. Perov et al., *The physics of guitar string vibrations*, *American Journal of Physics*, vol. 84(1), pp. 38-43, 2016.

A. U. Case et al., *Electric guitar – A blank canvas for timbre and tone*, *Proceedings of Meetings on Acoustics*, vol. 19, article 015039, 2013.

N. G. Horton et T. R. Moore, *Modeling the magnetic pickup of an electric guitar*, *American Journal of Physics*, vol. 77(2), pp. 144-150, 2009.