



## Le gond et le violon

Tant les grincements que les sons mélodieux d'un violon résultent de la combinaison de frottements solides et d'élasticité.

**L**a voiture s'arrête en un crissement de freins... Le détective écoute... Un violon pleure au loin dans la maison isolée... Le détective pousse la grille qui grince... Ces sons, qui ajoutent au frisson des films d'angoisse et contribuent à l'agrément des concerts, ont une même cause : l'action combinée des frottements solides et

d'un comportement élastique.

La raison première des grincements est une propriété de la force de frottement solide qui s'exerce entre deux surfaces sèches en contact : l'intensité de cette force diminue quand la vitesse relative entre les surfaces augmente. Nous en avons tous fait l'expérience en faisant glisser une caisse ou un meuble sur le sol. Pour mettre la caisse en mouvement, il faut pousser horizontalement en exerçant une force minimale. Cette force est égale au produit du poids de la caisse par un coefficient, appelé coefficient de frottement statique, de valeur comprise entre 0,5 et 1. Le mouvement amorcé, la force nécessaire à la poursuite du mouvement est plus faible, car la friction entre la caisse et le sol a diminué. Elle est toujours proportionnelle au poids, mais le facteur de proportionnalité, appelé coefficient de frottement dynamique, est de l'ordre de 25 pour cent plus faible que le coefficient statique.

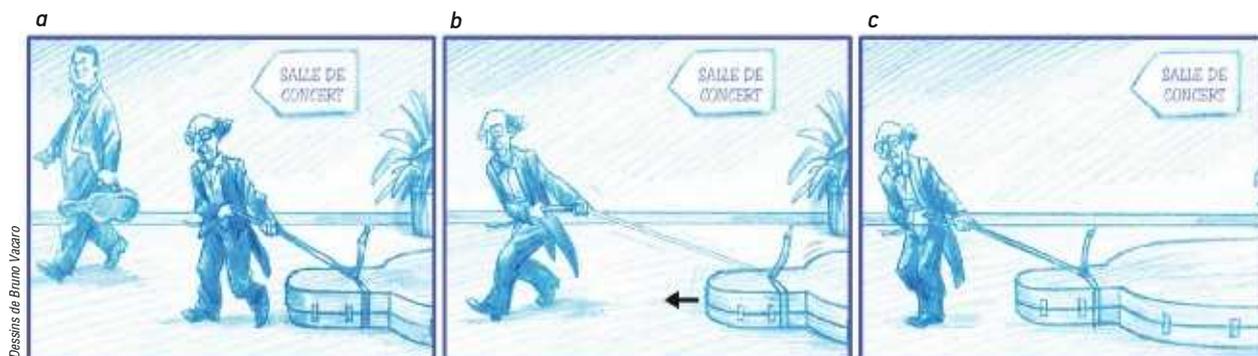
Ajoutons maintenant de l'élasticité à cet exemple en tirant la caisse avec une corde élastique, par exemple un tendeur. Partant d'une situation où le tendeur n'exerce aucune force sur la caisse, tirons-le lentement à vitesse constante. À mesure que le tendeur s'allonge, sa tension et la force qu'il exerce sur la caisse augmentent. La caisse reste cependant immobile jus-

qu'à ce que cette force dépasse la force de frottement statique ; elle se met alors en mouvement et la force de frottement diminue de 25 pour cent. Tant que l'allongement du tendeur n'a pas diminué de 25 pour cent, la force qu'il exerce sur la caisse reste supérieure à la force de frottement dynamique et la caisse accélère. Ensuite, la caisse, freinée, ralentit, puis s'arrête.

### Fixe-glisse

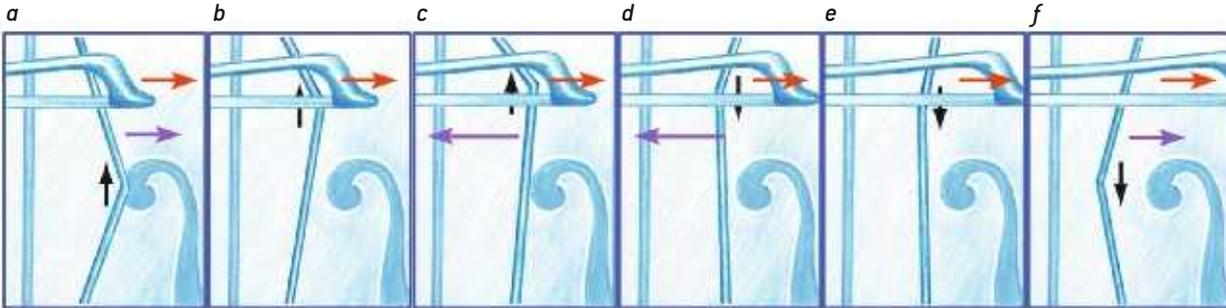
Pour remettre la caisse en mouvement, le frottement étant redevenu statique, il faut de nouveau allonger le tendeur, et ainsi de suite. Ce comportement est dénommé mouvement de fixe-glisse (*stick-slip* en anglais). C'est l'alternance d'une phase statique durant laquelle l'énergie fournie par l'opérateur est stockée sous forme élastique (ici dans le tendeur) et d'une phase de glissement pendant laquelle cette énergie est brutalement libérée sous forme d'énergie cinétique et dissipée par en chaleur le frottement.

Les mouvements saccadés caractéristiques du fixe-glisse ne sont pas toujours visibles à l'œil nu, mais ils peuvent s'entendre quand leur fréquence devient suffisante : c'est une porte qui grince, des freins qui couinent, des pneus qui crissent, et un doigt mouillé qui fait vibrer le verre à la fin des repas de famille. L'élasticité est toujours présente même si elle est parfois bien cachée : ainsi, quand on ouvre une porte, la lame de métal qui relie le cadre de la porte aux gonds, et donc au mur, se plie et agit comme un ressort tant que les frottements empêchent les deux parties du gond de glisser l'une sur l'autre. Lorsque la force exercée est suffisante, les



**La caisse** reste immobile tant que la force de traction est inférieure à la friction statique (a). Lorsque la caisse se met en mouvement, la force de frottement diminue (b). La caisse accélère, rattrape le marcheur, puis s'arrête (c). L'élastique n'étant plus tendu, le cycle de fixe-glisse recommence.

Dessins de Bruno Vacaro



**Le « fixe-glisser » de l'archet sur la corde.** Lors de la phase « fixe » du régime fixe-glisser, l'archet qui se déplace vers la droite (*flèche rouge*) entraîne la corde (a). L'arrivée de la déformation (*flèche noire*) décroche la corde qui se met à glisser sur l'archet (b) indépendamment du mouvement de celui-ci : c'est une phase glisse. La déformation se propage

vers le chevalet (c), s'y réfléchit et revient vers l'archet (d). L'arrivée de la déformation sur l'archet réaccroche la corde sur celui-ci (e). Tandis que l'archet entraîne la corde, la déformation va vers le sillet (f). Après s'y être réfléchi, la déformation revient vers l'archet (a) et le cycle recommence. Les mouvements d'ensemble de la corde sont indiqués par les flèches bleues.

deux surfaces glissent d'un coup l'une sur l'autre, la lame reprend sa forme initiale et le cycle recommence.

Comment supprimer le grincement ? Reprenons notre modèle de la caisse. Pour éviter l'arrêt et la répétition des cycles fixe-glisser, il faut que la tension dans le tendeur ne diminue pas trop lorsque la caisse se met en mouvement, c'est-à-dire que la vitesse de la caisse ne soit pas trop supérieure à la vitesse à laquelle on tire sur le tendeur. Une première solution est de diminuer l'énergie élastique stockée et de tirer la valise par une tige quasi inélastique. Une seconde possibilité est de tirer rapidement. C'est cette solution que nous utilisons pour éviter de faire grincer une porte en attendant de graisser les gonds : nous ouvrons la porte d'un coup.

## Grincements harmonieux

Au lieu d'éliminer les grincements, nous pouvons aussi les embellir en associant le mouvement de fixe-glisser à un système qui présente naturellement un mouvement périodique comme une corde de violon. En effet, une petite déformation transverse qui s'y propage est réfléchiée par chacune des extrémités de la corde : quelle que soit sa forme, elle effectue des allers-retours périodiques, de période égale au double de la longueur de la corde divisé par la vitesse de propagation.

Que se passe-t-il lorsque l'on frotte un archet sur une telle corde vibrante ? Les crins de l'archet, enduits de colophane, augmentent le coefficient de frottement statique et l'archet « mord » la corde. Au début de son mouvement, lors de l'attaque de la note, l'archet entraîne la corde. Celle-ci fait un coude et, telle une corde d'arc, elle exerce une force de plus en plus grande sur l'archet. Quand cette force dépasse une valeur limite, la corde « décroche » et se met à glisser dans le sens opposé au mouvement de l'archet. La déformation créée se propage le long de la corde jusqu'au chevalet, s'y réfléchit, s'inverse et revient au niveau de l'archet. Ce premier passage donne à la corde une petite secousse qui la « réaccroche » à l'archet, lequel l'entraîne

à nouveau. Pendant ce temps, le coude continue son chemin, est réfléchi par le sillet ou par le doigt du musicien, revient au niveau de l'archet et décroche la corde qui se remet à glisser, et ainsi de suite.

Ainsi, sauf lors de l'attaque d'une note, ce n'est pas l'élasticité de la corde qui déclenche glissement et recollement, mais l'arrivée périodique d'une déformation. Le fixe-glisser n'est plus spontané, mais contrôlé ! La hauteur du son est fixée par la période du mouvement qui dépend de la longueur de la corde (éventuellement modifiée par la position du doigt) et de sa tension (qui détermine la vitesse de propagation de la déformation).

Le musicien, qui veut produire un beau son, s'assure que l'accrochage et le décrochage de la corde ne se produisent pas spontanément, mais seulement au passage de la déformation. Il veille à maintenir une pression, suffisante pour que l'archet ne glisse pas intempestivement, mais pas trop importante pour que la secousse, provoquée par le passage du coude puisse décrocher la corde. Quand il y parvient, la position et la vitesse de déplacement de l'archet n'ont plus aucun effet sur la hauteur du son. En revanche, comme cette dernière détermine la vitesse d'entraînement de la corde lors des phases de « fixe », c'est-à-dire de corde entraînée, elle détermine l'amplitude de la déformation, donc le volume du son : plus le musicien déplace rapidement l'archet, plus le son est intense.

Un débutant qui contrôle mal la pression de son archet appuiera trop ou trop peu, il ne laissera pas la corde chanter et produira des sons désagréables. La connaissance des lois physiques n'est certes pas synonyme de virtuosité, mais si vous ne jouez pas bien, au moins vous saurez pourquoi...

D. E. HALL, *Musical acoustics*, Brooks/Cole Publishing Company, 1990.

F. HESLOT et al. *Crepp, stick-slip, and dry friction dynamics : experiments and a heuristic model*, in *Phys. Rev. E* 49, p. 4973, 1994.