



Coups de marteau

JEAN-MICHEL COURTY • ÉDOUARD KIERLIK

L'analyse des chocs détermine le marteau à utiliser et nous renseigne sur les secrets de fabrication des épées et des raquettes de tennis.

Un marteau, une épée à deux mains ou une raquette de tennis agissent par percussion. Leur utilisateur souhaite transférer l'énergie qu'il leur a communiquée avec une efficacité maximale, tout en évitant les contrecoups désagréables dans la main ou au niveau du poignet. Nous examinons comment la conception de ces instruments améliore leur performance et leur confort d'utilisation.

CHOC ET LOIS DE CONSERVATIONS

Quand deux corps solides entrent en collision, pendant une durée très brève tous deux se déforment au voisinage de la zone de contact, puis repartent avec des vitesses différentes de celles qu'ils avaient avant le choc. Pendant l'impact, les forces dues aux déformations sont considérables et bien supérieures au poids : lorsqu'un club de golf frappe la balle, la force est de 5000 newtons, c'est-à-dire le poids d'une masse d'une demi-tonne!

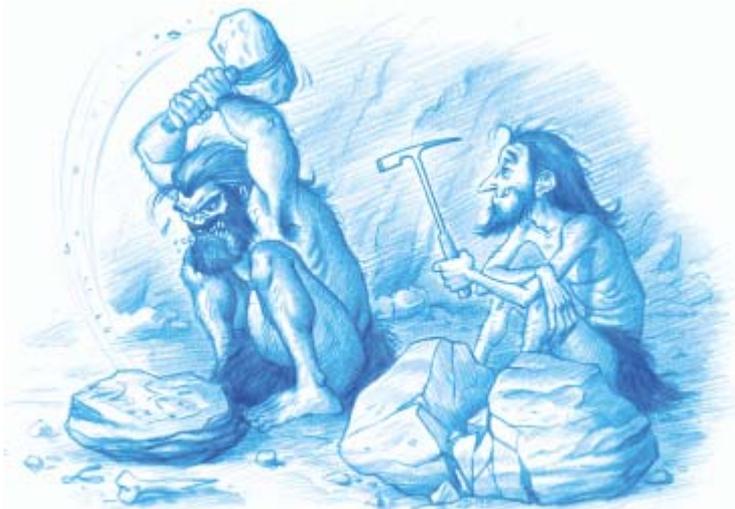
À notre échelle, il est difficile de déterminer avec précision ces forces de contact et donc de savoir ce qui se passe durant le choc. Toutefois, grâce au grand Isaac Newton, nous disposons d'informations importantes sur le résultat final : au cours d'une collision, la quantité de mouvement (produit de la masse par la vitesse de chaque corps du système) est conservée. Ainsi, lors du choc entre un marteau et un clou, la quantité de mouvement du marteau est transmise au clou, qui s'enfonce. La quantité de mouvement initiale est la même que l'on utilise un marteau de 200 grammes animé d'une vitesse de 5 mètres par seconde, ou un marteau de un kilogramme animé d'une vitesse de un mètre par seconde : elle vaut un kilogramme-mètre par seconde. Dans ces deux cas, la force permettant d'enfoncer le clou est la

même. Le résultat final risque cependant d'être différent, car la quantité de mouvement n'est pas la seule quantité mise en jeu au cours d'une collision.

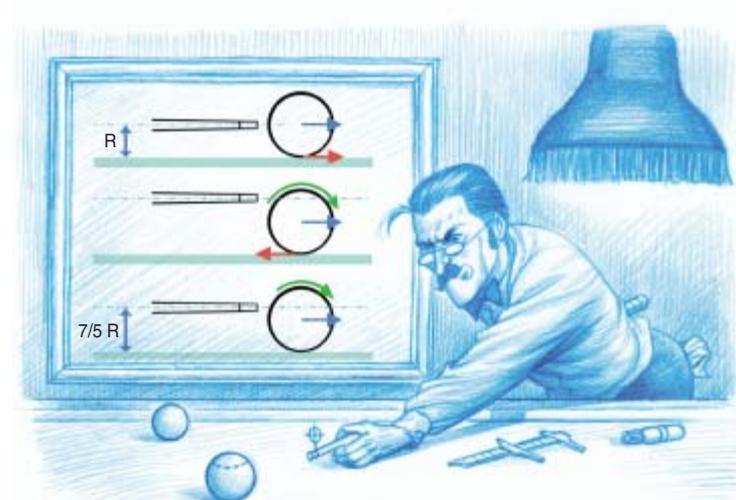
L'énergie apportée a un rôle essentiel dans les déformations subies par les objets. Celles-ci sont de natures diverses : après leur collision, deux boules de billards sont identiques, alors qu'un objet frappé à l'aide d'une masse en sort rarement intact, qu'il soit déformé ou brisé. Quand les corps sont parfaitement élastiques, l'intégralité de l'énergie d'impact se retrouve après le choc sous forme d'énergie cinétique ; sinon une part importante de l'énergie est dissipée sous forme de chaleur ou de déformations irréversibles et la somme des énergies cinétiques des corps n'est plus conservée.

L'énergie cinétique est égale à la moitié du quotient du carré de la quantité de mouvement par la masse. Dans l'exemple précédent, l'énergie cinétique du marteau de 200 grammes est de deux joules et demi alors que celle du marteau de un kilogramme vaut cinq fois moins, c'est-à-dire un demi-joule. Si le marteau ne rebondit pas, l'énergie qu'il apporte est cinq fois plus importante pour le marteau léger que pour le marteau lourd. Pour cette raison, il est préférable de choisir le marteau le plus lourd possible pour planter un clou : manié plus lentement qu'un marteau léger, non seulement le geste sera plus précis, mais, en outre, les risques de plier le clou seront diminués, car l'énergie perdue est plus faible.

Au contraire, si l'on souhaite produire un maximum de dégâts, par exemple pour briser un caillou, on préférera un marteau léger animé d'un mouvement rapide : les marteaux de géologue ne sont jamais très lourds et leur manche est plus long que celui des marteaux de bricolage, ce qui permet de communiquer à la



1. Pour casser une pierre, il est préférable de prendre un marteau léger à manche long, plutôt qu'un marteau lourd à manche court.



2. L'impact au centre de percussion fait que la bille roule sans glisser et le rebond sur la bande se fait à cette hauteur.

tête une vitesse plus grande. Certains artistes forains utilisent ces propriétés pour réaliser un spectaculaire tour de force en faisant briser un bloc de pierre d'une centaine de kilogrammes placé sur leur poitrine alors qu'ils sont allongés sur le sol. Leur partenaire ou un spectateur est invité à frapper violemment la pierre à l'aide d'une masse d'une dizaine de kilogrammes pour la briser. Lors du choc, la quantité de mouvement de la masse est cédée à la pierre. Comme celle-ci est dix fois plus lourde que la masse, sa vitesse est dix fois plus faible et les neuf-dixièmes de l'énergie initiale de la masse servent à briser le bloc de pierre. L'énergie qu'encaisse l'artiste est dix fois plus faible que si la pierre était absente et le numéro est donc moins dangereux qu'il n'y paraît. Toutefois, les auteurs de l'article ne se hasarderont pas à le tenter, car une grande force physique reste nécessaire pour arrêter la masse et la pierre.

LE CENTRE DE PERCUSSION

Après avoir choisi l'outil de percussion adapté, déterminons l'endroit où il faut frapper. Examinons pour cela l'exemple du billard, où la queue communique à la bille un mouvement de translation et de rotation. Quand le joueur frappe la bille au niveau du centre de gravité, il n'imprime aucun mouvement de rotation à la bille. Celle-ci commence alors à avancer en glissant sur la table et ce glissement est à éviter, car il est source de dissipation d'énergie à cause des frottements. Pour éviter cela, le joueur frappe la bille plus haut de manière à conférer, à l'impact, un mouvement de rotation à la bille. Si le choc a lieu presque en haut de la bille, elle tourne trop vite par rapport à sa translation et là encore des frottements dissipent de l'énergie. La solution est de frapper en un point appelé centre de percussion situé à une hauteur valant les sept-cinquièmes du rayon de la bille : la vitesse de rotation imprimée à la bille est alors exactement ajustée à la vitesse de translation, de sorte que la bille roule sans glisser et donc minimise la perte d'énergie. Pour cette raison, les bandes placées au bord du billard sont aussi à cette hauteur. Le choc contre la bande a lieu au centre de percussion : il change simultanément les vitesses de translation et de rotation, de sorte que la bille qui rebondit roule à nouveau sans glisser.

Pour des objets de forme simple comme une bille ou une porte, on sait calculer la position du centre de percussion, indiquée dans les cours de mécanique. Pour une raquette de tennis, il est plus simple de déterminer la position expérimentalement. Pour cela, on suspend la raquette verticalement en attachant sa poignée avec un fil. Si l'on frappe la raquette suspendue à son

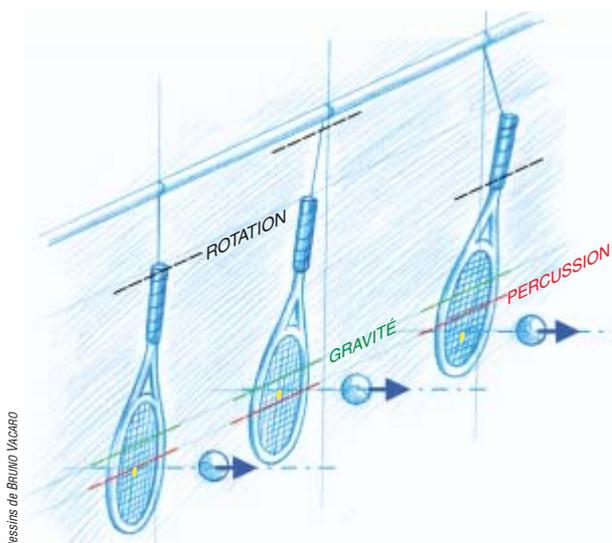
point de percussion, son mouvement initial est une rotation autour du milieu de la poignée, là où l'on saisit la raquette. Si la percussion a lieu près du centre de gravité, c'est-à-dire plus près du manche, la vitesse de rotation imprimée à la raquette est plus faible et la poignée acquiert une vitesse dans le sens de la percussion. En revanche, si la percussion a lieu plus loin du centre de gravité, la vitesse de rotation est plus grande et la poignée se déplace en sens inverse.

Lorsque la raquette se trouve dans la main du joueur, ce dernier ressent parfois violemment le mouvement imprimé à la poignée. Pour ne pas ressentir de secousse, il est indispensable que la balle frappe la raquette en son centre de percussion, et pour des raisons d'efficacité du cordage, il faut que la balle frappe la raquette au centre du tamis. La raquette doit donc être conçue pour que le centre de percussion se trouve au centre du tamis. Pour faire coïncider ces deux «centres», certains fabricants alourdissent l'extrémité de la raquette en la plombant. D'autres choisissent d'agrandir le tamis près du manche.

Une butée de porte fonctionne similairement. Son utilité est d'arrêter la rotation d'une porte tournant autour de ses gonds. Pour cela, la butée doit être placée au niveau du centre de percussion de la porte. Comme la répartition de masse n'est pas la même que pour une bille de billard, la position du centre de percussion est différente : il faut placer la butée à une distance des gonds égale aux deux tiers de la largeur de la porte. À cette condition, la butée seule suffit à stopper la porte et les gonds n'ont à souffrir aucun effort excessif, car, juste après l'impact, l'axe de rotation de la porte coïncide avec l'axe des gonds.

Pour les objets tenus en main, si l'on frappe au centre de percussion, on ne ressent aucun choc sur le poignet. La position de ce point n'est toutefois pas nécessairement l'endroit le plus pratique. Il est alors souhaitable de déplacer la position du centre de percussion en changeant la répartition de masse. Si la tête d'un marteau est parallélépipédique, le centre de la face où a lieu l'impact est dans l'axe du centre de gravité (la masse du manche est négligeable). En frappant en ce point, le choc avec le clou n'a aucun effet sur la rotation de la tête et la main du bricoleur reçoit une impulsion du manche. Le centre de percussion est en fait plus loin de la main que le centre de gravité. Pour ramener ce point au centre de la face du marteau, il suffit de déplacer le centre de gravité vers le manche en enlevant de la matière sur la partie du marteau la plus éloignée de la main. C'est pour cette raison que la panne, c'est-à-dire le côté opposé à la tête du marteau, est biseautée.

Pour les épées, il faut contrôler à la fois la position du centre de gravité et du centre de percussion. Le centre de gravité doit être proche de la main pour une bonne maniabilité, ce que l'on peut faire en alourdissant en conséquence la poignée ou en affinant la lame vers l'extrémité. D'un autre côté, pour éviter que l'épée lui échappe des mains à chaque coup, le combattant doit frapper son adversaire au niveau du centre de percussion. Courageux, mais pas téméraire, il souhaite que le centre de percussion soit le plus loin possible sur la lame. Les mercenaires allemands et suisses de la Renaissance ont trouvé une réponse originale à ces contraintes : leurs épées à deux mains étaient munies de tiges latérales placées en prolongement de la garde. Décoratives et protectrices, ces tiges éloignaient aussi le centre de percussion (représenté par un point vert sur l'illustration à côté du titre) d'une vingtaine de centimètres par rapport aux épées du même type et l'amenaient à 75 centimètres de la garde. Les lansquenets en étaient d'autant plus redoutables.



Dessins de BRUNO VACCARO

3. Quand la balle frappe la raquette au centre de percussion, celle-ci tourne autour du manche et le choc sur le poignet est minimal.

Pour tout savoir sur le point de percussion, rien ne vaut les grands classiques : FLEURY & MATHIEU, *Mécanique physique*, Éditions Eyrolles, Paris, 1953.