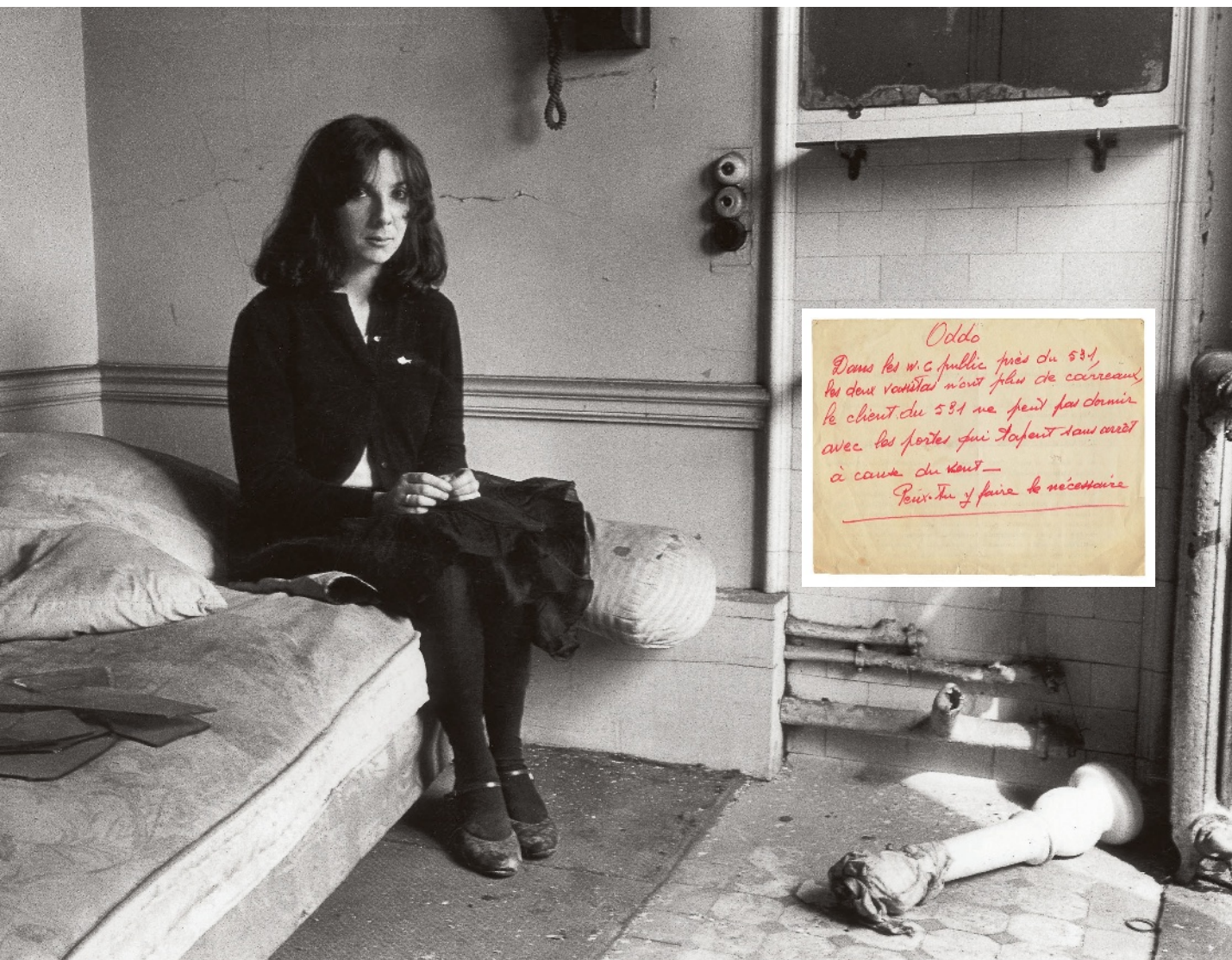




Sophie Calle, dans la chambre 501 de l'hôtel de la gare d'Orsay, en 1979, dont seule subsiste la plaque. À droite, l'un des nombreux messages destinés à un certain Oddo, homme à tout faire de l'établissement.

témoins d'une lointaine civilisation disparue. C'est ainsi qu'une serrure devient une «arme ancienne de provenance inconnue» et un manomètre un «objet semblant donner l'heure en kilogrammes»!

Le public est convié à une expérience d'urbex, cette pratique d'exploration urbaine en vogue depuis les années 2000 consistant à visiter, sans autorisation, des lieux délaissés ou abandonnés, mais avec un décalage temporel de quelques décennies. Cet empilement d'époques, de -44 avant aujourd'hui à + 1000, est propice à l'apparition de fantômes, et ils sont nombreux. Il y a d'abord ceux de l'établissement lui-même, de son personnel, des clients... tous semblant revivre sous nos yeux. Mais il y a plus. Ainsi, sur un plan du cinquième étage déniché dans les archives figurent deux chambres 502,

la 501 n'existe pas! Aujourd'hui, elle a bel et bien disparu, et laissé la place à un ascenseur. Sophie Calle est elle-même un fantôme du lieu qu'elle a hanté à la fin des années 1970, et également plus récemment quand elle a eu l'occasion de parcourir le musée, seule, dans l'obscurité, pendant le confinement.

Un autre spectre hante l'exposition, un certain Oddo (l'orthographe varie), qui apparaît sur de très nombreux messages (*voir ci-dessus*), et semble avoir été l'homme à tout faire de l'hôtel: «M. Oddo, le lit du 410 est cassé», «M. Oddo, 253 à démeubler», «Oddo, tu avais oublié tes outils au 356»... Appelé partout et tout le temps, cet individu pouvait sans doute surgir de n'importe où à chaque instant. Fascinée, Sophie Calle a essayé de retrouver sa trace, sans succès.

Entre imaginaire et réalité, plusieurs penseront inmanquablement à un certain Hoddor, personnage de la série *Game of Thrones*, également homme à tout faire, et dont le nom dérive de l'expression «Hold the door», c'est-à-dire «Retiens la porte», sans doute celle de la 501... ■

« Les fantômes d'Orsay », au musée d'Orsay, à Paris, jusqu'au 12 juin 2022.
<https://bit.ly/36xkNr2>



L'auteur a publié:
**Pollock, Turner, Van Gogh,
 Vermeer et la science...**
 (Belin, 2018)

LES AUTEURS



**JEAN-MICHEL COURTY
ET ÉDOUARD KIERLIK**
professeurs de physique
à Sorbonne Université, à Paris

VOYAGE AU BOUT DE LA TABLE

Au billard, le comportement de la bille varie selon qu'on la tape au centre, en dessous ou au-dessus. Comment dès lors s'assurer du meilleur effet?

Attaque au centre, piqué, coulé... ces noms fleuris ne désignent pas les phases d'une bataille navale, mais différentes façons de mettre en mouvement la bille (le terme boule est un abus de langage) avec la queue au billard comme on le voit dans *L'Arnaque* ou *Mérodie en sous-sol*. Ce jeu, sous toutes ces déclinaisons (*snooker*, *pool* ou carambole...) étonne par la variété des coups possibles avec ces trajectoires courbes et ces rebonds improbables et par l'adresse qu'il exige. Et pourtant, à quelques détails près, la théorie complète du jeu date de 1835, année de publication de la *Théorie mathématique des effets du jeu de billard*, du mathématicien et ingénieur Français Gaspard Coriolis, le père de la force qui porte son

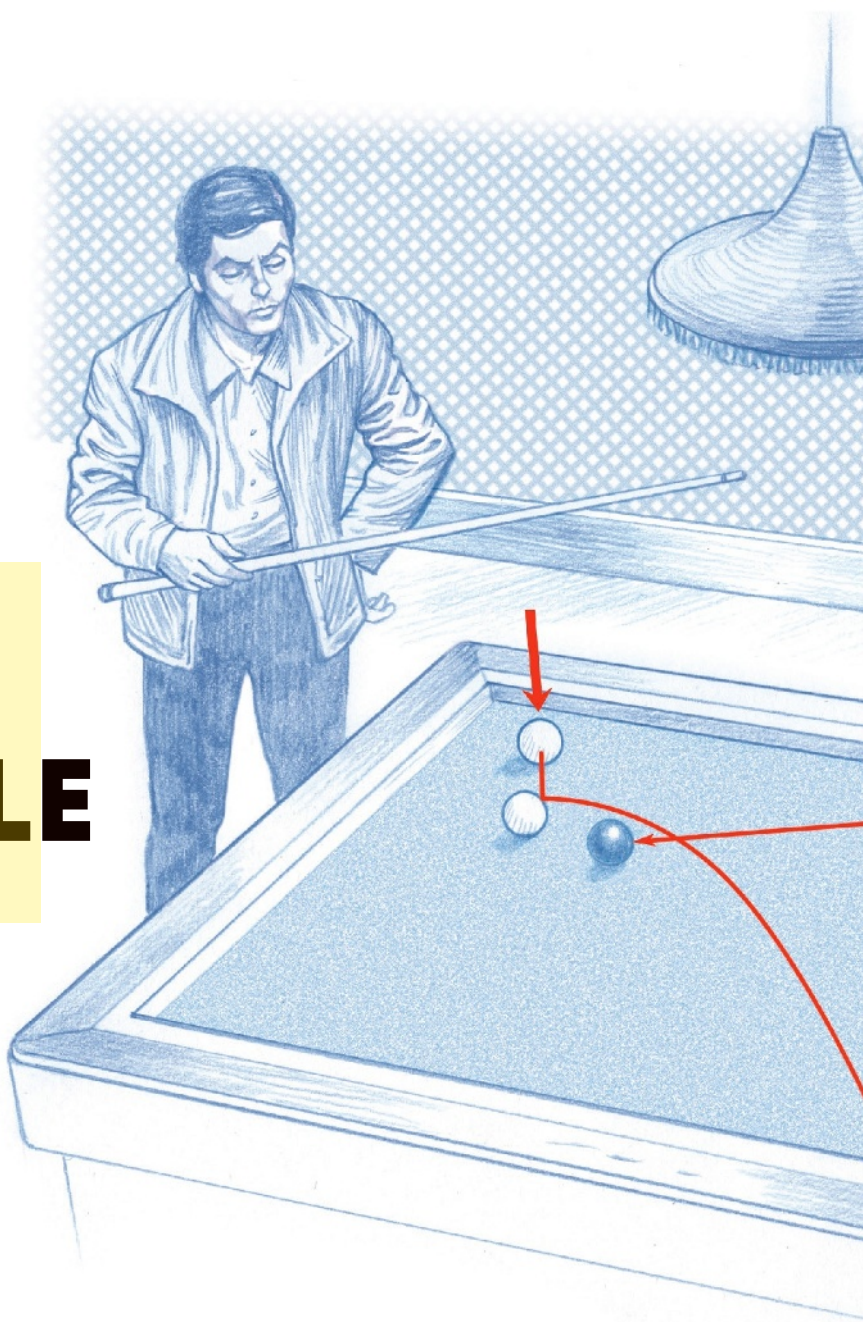
nom et explique l'apparition des cyclones. Il y montre que quelques lois physiques plutôt élémentaires sont à l'origine de la complexité des trajectoires des billes. Tout se joue au moment du choc de la queue sur la bille.

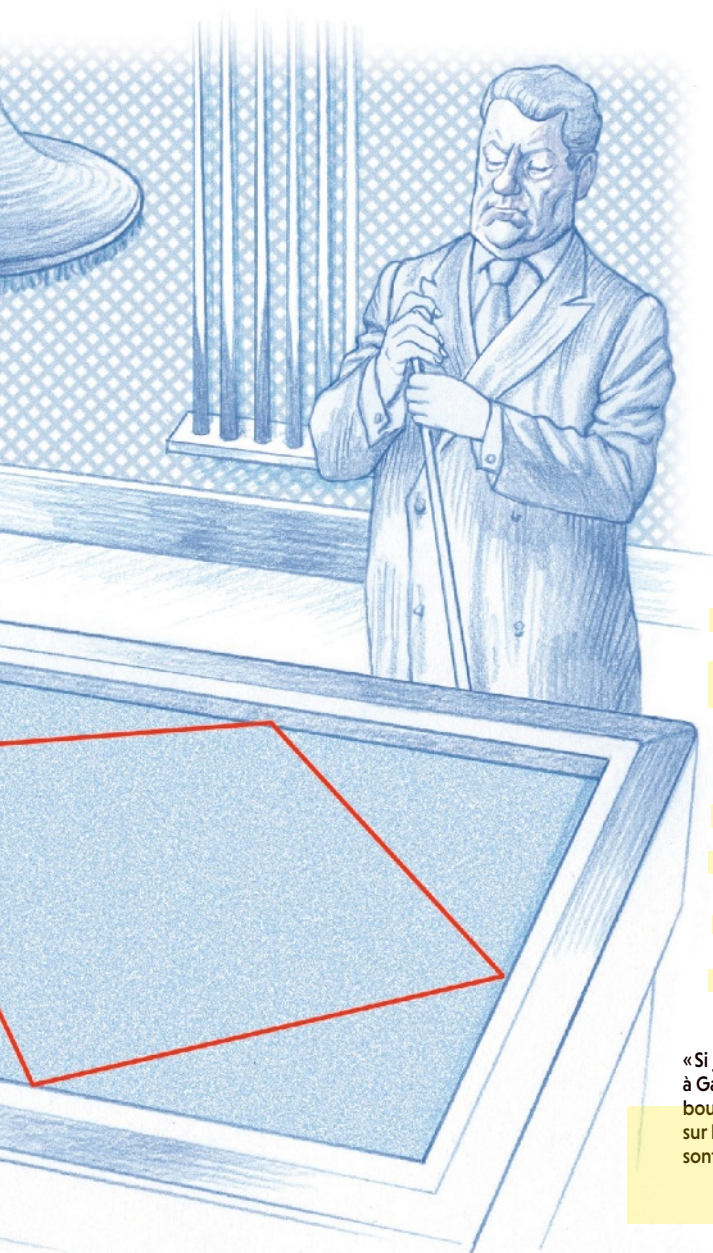
GLISSER AVANT DE ROULER

Cette première étape est en effet cruciale: c'est le seul moment où le joueur agit sur sa bille avant de laisser sa place aux lois intangibles de la mécanique. Son but, dans le billard français par exemple, qui se joue avec trois billes, consiste à effectuer une carambole, c'est-à-dire à toucher les deux autres billes avec la sienne, en utilisant si besoin ou obligatoirement un ou plusieurs rebonds sur les bandes de la table de billard. Pour cela, le

joueur doit maîtriser les différents chocs et rebonds de sa bille, ce qui nécessite de la mettre dans l'état adéquat de vitesses de translation et de rotation. Quel mouvement peut-il donc imprimer à la bille, au départ immobile? Pour simplifier, imaginons que nous maintenons la queue tout au long de notre geste dans le plan horizontal et selon une direction fixée, la ligne de visée, et que nous évitons le queutage (toucher plusieurs fois la bille, synonyme de coup nul!): la percussion communique une vitesse à la bille selon la ligne de visée et on constate par expérience que la bille suit un mouvement rectiligne, apparemment banal.

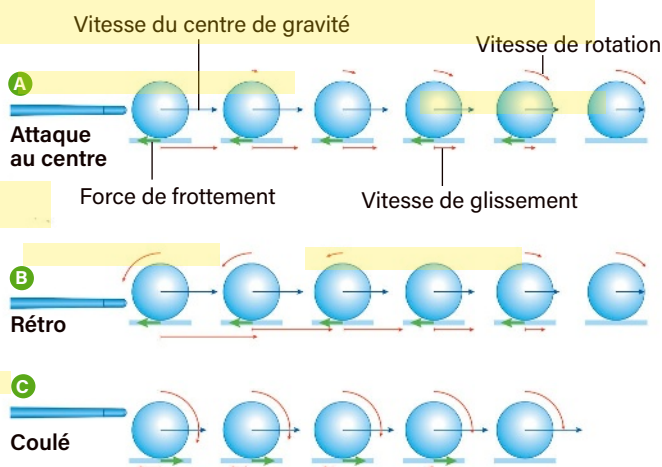
Une banalité bien trompeuse. Supposons que, par goût de la symétrie, notre ligne de visée passe exactement par





À L'ATTAQUE !

Selon l'attaque, c'est-à-dire que l'on frappe la bille au centre (a), en bas (b) pour faire un rétro ou en haut (c) pour un coulé, le comportement de la bille à différents instants varie et associe phases de glisse et de roulement en fonction des frottements (en vert) avec le tapis. La vitesse de la bille (les flèches bleues), celle de glissement (flèches rectilignes rouges) et celle de rotation (flèches rouges courbes) varient également.



« Si je comprends bien, tu me mets sur un coup », dit Delon à Gabin ! En effet, en un coup, il s'agit de toucher les deux boules avec celle que l'on vient de cogner après trois rebonds sur les bandes. À partir de cette règle simple, les variations sont infinies à condition de manier en virtuose les effets.

le centre de la bille (on parle d'« attaque au centre »). La bille acquiert alors une pure vitesse de translation : elle avance en bloc vers l'avant sans tourner sur elle-même. Elle glisse, car le point de contact de la bille sur le tapis a la même vitesse que le centre de la bille, son centre de gravité. Dans ce cas de figure, une force de frottement apparaît tout de suite, opposée à la vitesse de glissement dont le physicien Charles-Augustin Coulomb a montré qu'elle était proportionnelle au poids de la bille, tant que la bille glisse. Le coefficient de proportionnalité, appelé « coefficient de frottement », vaut typiquement de l'ordre de 0,25. Le premier effet est que, soumis à une décélération de l'ordre de $2,5 \text{ m.s}^{-2}$, la bille ralentit immédiatement. Le

deuxième effet est que par un bras de levier, cette force va faire rouler la bille sur elle-même vers l'avant autour d'un axe perpendiculaire au plan qui contient la verticale et la ligne de visée (voir la figure ci-dessus) : comme cette force est constante, la vitesse de rotation de la bille augmente proportionnellement au temps écoulé. Les deux effets vont dans le même sens : la vitesse de glissement du point de contact diminue. Au moment où elle s'annule, le frottement cesse et la bille roule. En pratique, elle continue de ralentir car il subsiste un frottement dû à la déformation du tapis, qui résiste à l'avancement de la bille, mais son intensité est bien moindre.

Ainsi, avant de rouler, la bille glisse sur le tapis et ses vitesses de translation

et de rotation varient. Sur quelle distance ? Avec une vitesse initiale standard de la bille de 4 m.s^{-1} , la phase de glissement persiste un peu moins d'une demi-seconde, durée pendant laquelle la bille aura parcouru 1,5 mètre, ralenti à un peu moins de 3 m.s^{-1} et acquis une vitesse de rotation de près de 15 tours par seconde.

Les auteurs ont notamment publié : **En avant la physique !**, une sélection de leurs chroniques (Belin, 2017).



Frappons maintenant la bille au-dessus du centre (on change de hauteur d'attaque). Cette fois, la percussion crée dès le départ une vitesse de rotation de la bille vers l'avant. Par ailleurs, plus le point d'impact est haut, plus le bras de levier de la percussion sera fort et plus la vitesse de rotation sera élevée: cela diminue la vitesse de glissement initiale du point de contact et donc réduit la phase de glissement.

De façon remarquable, si le point d'impact est situé à $2/5$ du rayon de la bille au-dessus du centre: la vitesse de glissement est nulle et la bille entame directement son mouvement en roulant. Plus déroutant encore, si on frappe encore plus haut, la vitesse de glissement redevient non nulle mais sera orientée dans le sens contraire de la vitesse de translation de la bille: la force de frottement est donc dans le sens du mouvement et la bille accélère! En revanche, la vitesse de rotation diminue et les deux effets s'ajoutent pour ramener à zéro la vitesse de glissement et la bille dans sa phase de roulement. Vous venez de réaliser un coulé, une manœuvre recommandée pour que votre bille continue vers l'avant après en avoir percuté une autre.

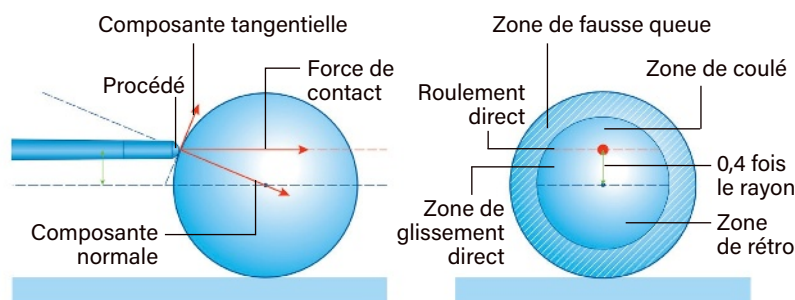
AMBIANCE RÉTRO

Au contraire, si vous tapez avec la queue sous le centre – c'est le rétro – vous mettez la bille dans une rotation rétrograde: la vitesse de glissement est d'autant plus élevée que vous frapperez bas. La phase de glissement de la bille est alors constituée successivement d'une partie où la rotation est rétrograde, un instant où la vitesse de rotation est nulle et où la bille est en glissement pur comme au tout début de l'attaque au centre, et enfin (voir la figure page précédente) une partie où la rotation est directe. L'intérêt? Si la bille en percute une autre alors qu'elle est en rotation rétrograde, elle revient vers l'arrière.

Pourquoi ne pas taper le plus loin du centre alors pour imprimer le maximum d'effets à la bille? La première raison qui l'empêche est liée aux lois du frottement. Au moment du choc, la force de contact, parallèle à la ligne de visée, combine une composante tangente à la surface de la bille et une composante orthogonale (voir la figure ci-dessus): pour que l'extrémité de la queue (le procédé) ne glisse pas sur la bille, le rapport de ces deux composantes doit être inférieur au coefficient de frottement entre la bille et le procédé: c'est pourquoi ce dernier est non seulement arrondi pour assurer un bon contact mais aussi régulièrement frotté avec du «bleu»,

ZONES DE FRAPPE

Au moment de la percussion de la queue sur la bille, la force de contact (à gauche) est constituée d'une composante tangentielle et d'une autre dite « normale ». Au-delà de $0,7$ fois le rayon à partir du centre de la bille (à droite, la zone hachurée), le risque d'une fausse queue est maximal. En deçà, on définit des zones de frappe pour obtenir un rétro, un coulé ou un glissement direct. Pour ce dernier, la hauteur d'attaque ne doit pas avoir lieu à plus de $0,4$ fois le rayon, valeur pour laquelle la bille entame directement une phase de roulement.



de la craie, qui améliore l'adhérence sur la bille. Avec un coefficient de frottement élevé, de l'ordre de 1, la condition précédente n'est réalisée que si la hauteur d'attaque par rapport au centre est inférieure à $1/\sqrt{2}$ soit $0,7$ fois le rayon.

La seconde raison est que pour une vitesse de queue donnée, la vitesse acquise par la bille après le choc diminue avec la hauteur d'attaque. En effet, en dehors du centre, la percussion met en rotation la bille: une partie de l'énergie cinétique incidente de la queue se retrouve dans l'énergie cinétique de rotation de la bille et non pas dans celle de translation. Avec un rapport des masses entre la queue et la bille de l'ordre de 3 à 4, on s'aperçoit que, dès que la hauteur d'attaque dépasse un peu plus de la moitié du rayon, la vitesse de la bille devient inférieure à la vitesse de la queue.

Le lecteur attentif constatera que nous n'avons pas évoqué le coup de queue de côté, quand l'impact n'a pas lieu dans le plan vertical qui contient le centre de la bille. Celui-ci fait pivoter la bille autour de la verticale. La bonne nouvelle est que cela ne modifie aucun des effets mentionnés auparavant car ce pivotement ne change rien à la vitesse de glissement du point de contact entre la bille et le tapis. En revanche, il jouera un rôle significatif lors des rebonds sur les bandes, puisqu'on sera en situation de glissement entre la bille et la bande. Et l'on évitera ainsi de saccager une table de billard comme le fait Louis de Funès dans *La Zizanie*. ■

BIBLIOGRAPHIE

R. Petit, **Billard, théorie du jeu**, Chiron, 2006.

R. Petit, **La pratique du billard**, *Pour la Science*, n° 246, avril 1998. bit.ly/PLS246

G. Coriolis, **Théorie mathématique des effets du jeu de billard**, Jacques Gabay, 1990. bit.ly/BNF-billard

Le billard au cinéma : youtu.be/mZ9-uWrbfRU