

L'équilibre à vélo

*L'équilibre des vélos ou des motos dans les virages
est un jeu subtil que règle la force centrifuge.*



G. Courty

*La vie, c'est comme le vélo.
Il faut progresser pour ne pas perdre l'équilibre.*
Albert Einstein

Le Tour de France a célébré son centenaire en 2003 et nous avons fêté cette occasion en réexaminant comment les forçats de la route restent en équilibre et dirigent leur monture. Le problème est difficile : aussi, aux abords de la caravane, une dispute fait rage. Un motard clame que, pour virer à droite, il faut d'abord tourner un peu son guidon vers la gauche. Un cycliste hurle : « Non, on tourne évidemment son guidon à droite pour tourner à droite ! »

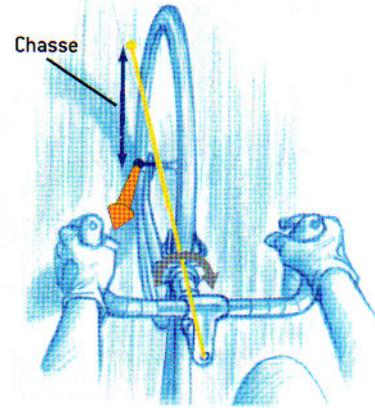
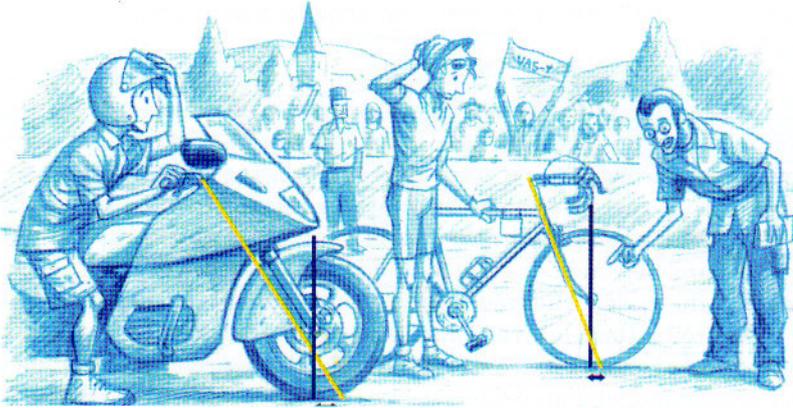
La physique, comme nous allons le voir, assure que, malgré les techniques différentes, les deux bicycles emploient le même phénomène physique pour virer... Toutefois ce phénomène est-il l'effet gyroscopique ou l'accélération centrifuge ?

Pour commencer, analysons l'équilibre d'un deux-roues. L'engin est instable : quand nous le lâchons, il bascule soit d'un côté, soit de l'autre. Observons en revanche son comportement lorsque nous le lançons : il reste à la verticale pendant plusieurs mètres. Le motard pense que l'équilibre des deux-roues résulte de l'effet gyroscopique. « C'est comme avec une toupie qui n'est stable qu'en rotation, assure-t-il. Les roues sont deux toupies dont l'axe de rotation est horizontal. »

La force centrifuge

L'effet gyroscopique est bien la résistance qui contrecarre tout changement d'orientation de l'axe d'un objet en rotation et qui fait que la toupie ne tombe pas, mais, le motocycliste a tort : l'effet gyroscopique dû à la rotation des roues de bicyclette est présent, mais trop faible (leur masse est trop petite et elles ne tournent pas assez vite). Le facteur déterminant est bien la force centrifuge.

La force centrifuge est cette force qui tend à vous éjecter de votre siège lorsque vous prenez un virage. La controverse règne quant à la nature de cette force : elle existe selon certains, pas pour d'autres.



Ainsi, quelqu'un (un observateur extérieur disent les physiciens) qui regarde virer brutalement une voiture voit que le passager a tendance à poursuivre en ligne droite et que le véhicule, en tournant, contraint le passager à incurver sa trajectoire. Oublions cette dispute byzantine et plaçons-nous du point de vue de l'utilisateur qui, lui, ressent une force centrifuge horizontale et dirigée vers l'extérieur du virage. Cette force s'applique au centre de gravité de l'ensemble et son intensité est égale au produit de la masse de l'équipage par le carré de sa vitesse que divise le rayon du virage : ainsi, la force centrifuge subie par un cycliste qui parcourt un virage de 10 mètres de rayon à 36 kilomètres par heure a la même intensité que son poids, mais elle est horizontale alors que le poids est vertical.

« Je comprends maintenant pourquoi les pistes de vélodromes sont inclinées, commente le cycliste, mais pourquoi examiner les virages alors que nous voulons expliquer l'équilibre ? » Nous lui répondons que pour garder son assiette à faible allure, le cycliste n'agit pas les bras comme un funambule : quand il se sent tomber vers la droite il tourne son guidon vers la droite et entame un virage à droite. La force centrifuge s'exerce alors vers la gauche et le redresse. Quand la vitesse augmente, les mouvements du guidon nécessaires pour obtenir la même force centrifuge (proportionnelle au carré de la vitesse) sont moins amples et il est plus facile de rester stable. Au-delà d'une certaine vitesse, il est inutile d'agir sur le guidon : le vélo est naturellement stable, car le guidon tourne de lui-même lorsque le cycle est incliné.

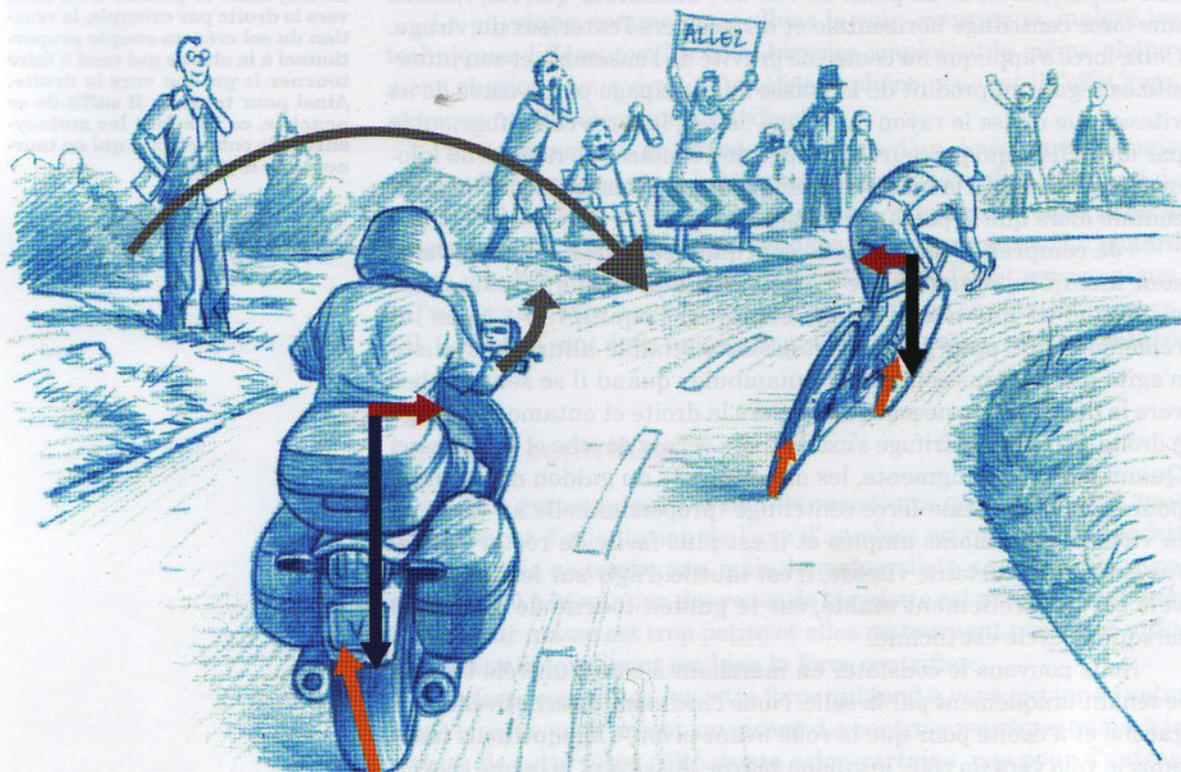
Nous pouvons le constater en marchant à côté d'un vélo tout en tenant uniquement par la selle. Nous l'inclinons alternativement à gauche et à droite pour que la roue avant pivote : lorsque nous inclinons le vélo vers un côté, le guidon tourne aussi vers le même côté ; à

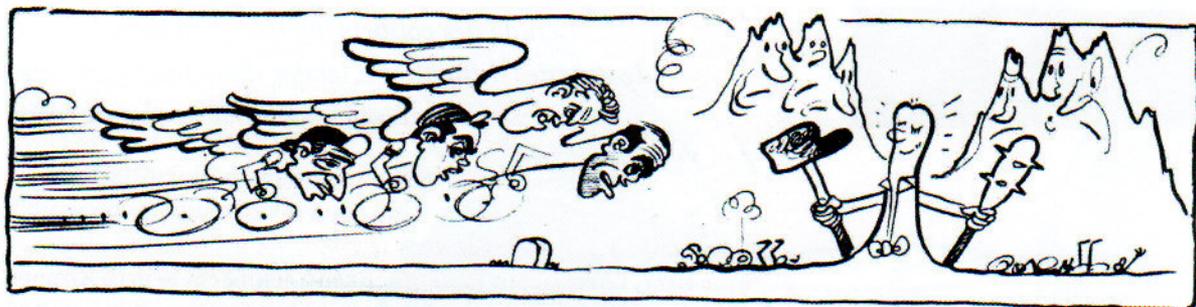
1. La chasse d'un deux-roues est la distance qui sépare le point de contact de la roue avant avec le sol et le point d'intersection du prolongement (en jaune) de la fourche avec le sol. Quand le cycliste ou le motocycliste se penche d'un côté, vers la droite par exemple, la réaction du sol crée un couple proportionnel à la chasse qui tend à faire tourner le guidon vers la droite. Ainsi pour tourner, il suffit de se pencher, ce que font les motocyclistes de compétition qui ne tournent pas le guidon.

2. L'équilibre d'un deux-roues est assuré quand la résultante du poids et de la force centrifuge est dans le plan du cadre de l'engin (*vélo ci-dessous*). Pour pencher leurs lourds engins, les motards contre-braquent afin de créer une force centrifuge qui les incline vers l'intérieur du virage.

une vitesse suffisante, cette rotation automatique du guidon est la clé de la stabilité.

Ce comportement du guidon provient de l'inclinaison de la fourche et de sa forme. La droite qui prolonge l'axe de rotation du guidon coupe le sol en un point situé devant le point de contact de la roue avec le sol. La distance entre ces deux points est nommée la « chasse ». Quand le vélo est penché vers la droite, la réaction du sol au poids du vélo et de sa monture, dirigée vers le haut, est à gauche du plan du vélo : le prolongement de cette force de réaction ne coupe plus l'axe de rotation du guidon, elle crée donc un couple qui fait tourner le guidon vers la droite. Dans le virage ainsi amorcé une force centrifuge apparaît, dirigée vers la gauche, qui stabilise le vélo. La rotation du guidon est proportionnelle au couple exercé, et donc à la distance entre la droite d'application de la force et l'axe de rotation du guidon, distance qui est d'autant plus grande que la chasse est importante : plus la chasse est grande, plus le vélo est stable. Un vtt à chasse réduite est peu stable : on dote en effet les VTT d'une fourche proche de la verti-





cale afin qu'ils soient maniables. Cela étant, n'enseignez pas le vélo à vos enfants sur un VTT!

En hommage à Pellos, caricaturiste du Tour de France.

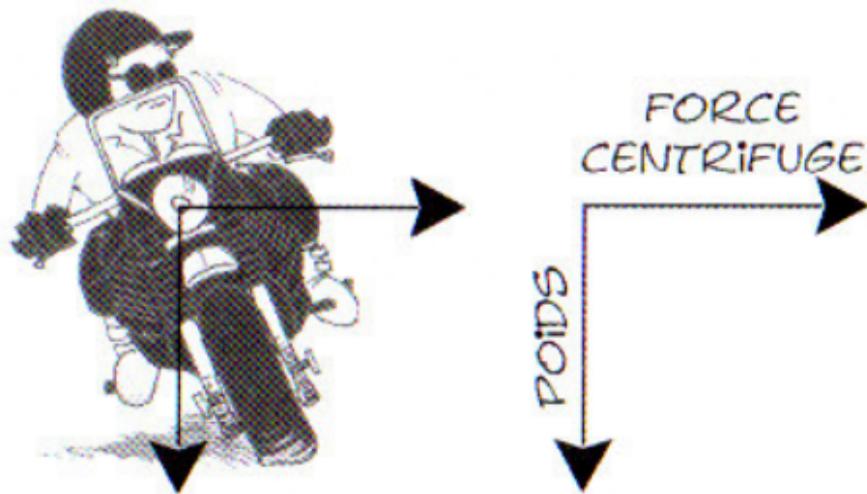
Se pencher pour tourner

Si les vélos et les motos sont si stables, comment faire pour tourner ? À vitesse importante, il ne suffit pas de tourner le guidon, car la force centrifuge vous ferait basculer de l'autre côté. Dans un virage le (moto)cycliste se penche jusqu'à ce que la résultante du poids et de la force centrifuge soit dans le plan du cadre de la bicyclette : dans cette configuration, aucun effet de levier ne s'exerce et l'inclinaison reste constante.

Pour tourner, il faut se pencher ; pour vaincre la stabilité des deux-roues quand la vitesse est élevée, le plus astucieux est de contre-braquer pour tirer profit de la force centrifuge. Désirant tourner à droite le motard pousse (paradoxalement) sur la poignée droite de son guidon : sa moto entame un virage vers la gauche. La force centrifuge dirigée vers la droite tend alors à le pencher vers la droite et sous l'effet de la chasse, la roue avant tourne vers la droite pour épouser le virage. Évidemment, tout est affaire de dosage.

Pour sortir du virage, il faut redresser la moto à la verticale en augmentant la force centrifuge : ceci s'obtient en réduisant le rayon de virage et surtout en accélérant.

Pousser le guidon vers la droite pour aller à gauche semble absurde, mais le cycliste exploite un mécanisme similaire quand il roule « sans les mains ». Un léger déport ou coup de hanche à gauche fait que le vélo amorce un virage à gauche et s'incline vers la droite à cause de la force centrifuge. Grâce à la chasse, le guidon suit et il revire vers la droite, et ainsi de suite. Étant donné la faible vitesse, l'équilibre de l'engin n'est pas difficile à modifier : à vélo, un mouvement du corps suffit, quand un contre-braquage est nécessaire à moto. ■



Plus le motard va vite, plus la force centrifuge est importante, elle évolue avec le carré de la vitesse ! Il faut donc que le poids (qui est toujours le même) soit plus efficace et que la force centrifuge le soit moins. Pour ce faire, il suffit de pencher un peu plus la moto vers le sol. Le moment d'une force permet d'évaluer son efficacité à mettre en rotation un objet. Il correspond au produit de la force par le bras de levier (voir paragraphe plus haut).