

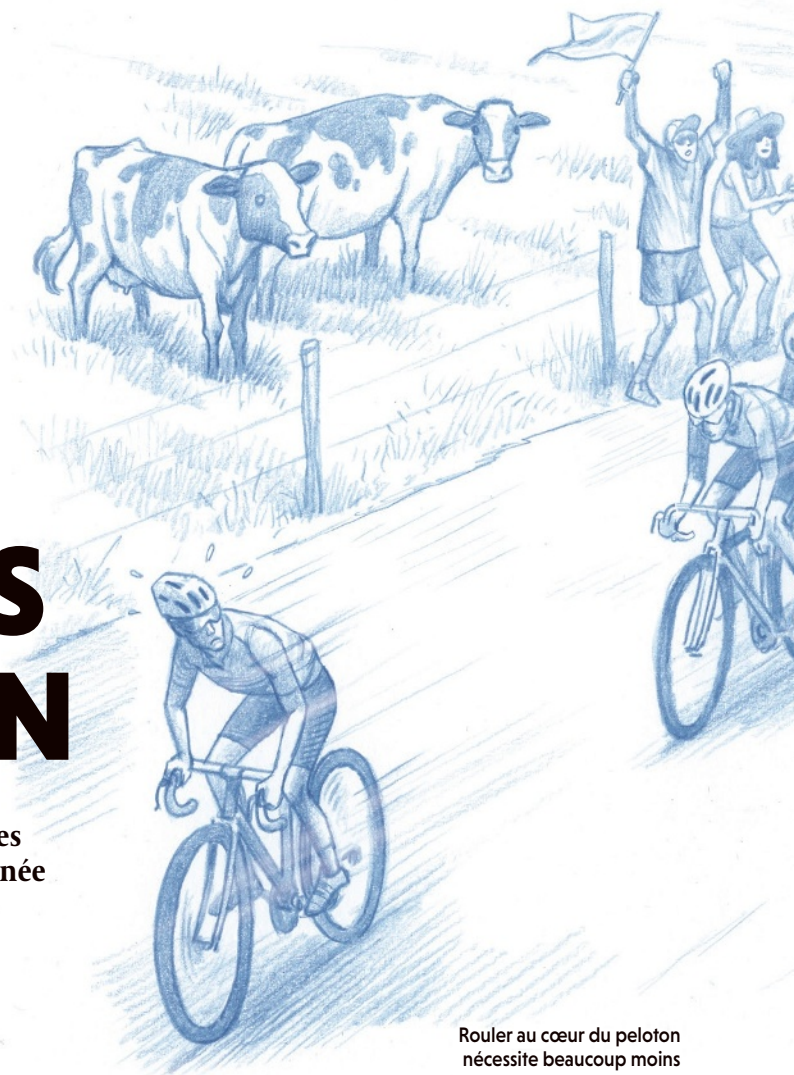
LES AUTEURS



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

SUCER LA ROUE DANS LE PELOTON

En roulant en file indienne ou groupés, les cyclistes fournissent moins d'efforts: ils subissent une traînée aérodynamique fortement réduite.



Rouler au cœur du peloton nécessite beaucoup moins d'efforts que de rouler à la même vitesse en solitaire.

Le coureur cycliste qui s'échappe du peloton, en tête, seul et durant la majeure partie de l'étape est hélas presque systématiquement rattrapé, dans les derniers kilomètres, par ses poursuivants et laissé sur place, à l'agonie... N'est pas Albert Bourlon qui veut, détenteur depuis 1947 du record de la plus longue échappée solitaire victorieuse sur une étape du Tour de France, soit 253 kilomètres. Les cyclistes d'aujourd'hui manqueraient-ils de mollet? La physique, entre études en soufflerie et simulations numériques, incite à plus d'indulgence. Car elle montre que rouler au cœur du peloton ou en file indienne réduit considérablement les efforts à fournir, par rapport à la situation où l'on roule seul.

Tout cycliste amateur en a l'intuition: même sur le plat et sans vent, aller vite

en vélo nécessite beaucoup d'efforts, surtout si l'on ambitionne de rouler à environ 54 kilomètres par heure, soit 15 mètres par seconde, allure communément atteinte par les professionnels du Tour de France.

LA TRAÎNÉE, ENNEMIE DU CYCLISTE SOLITAIRE

Quelles forces s'opposant à notre mouvement rendent cet effort si difficile? Éliminons d'emblée les frottements des chaîne, pignons, pédalier et moyeux ainsi que les frottements de roulement des pneus sur le sol. Ces forces sont typiquement inférieures à 2 newtons. La résistance à l'avancement est due essentiellement à la force de traînée aérodynamique: à 15 mètres par seconde, même lorsqu'on est couché sur le guidon, cette force représente

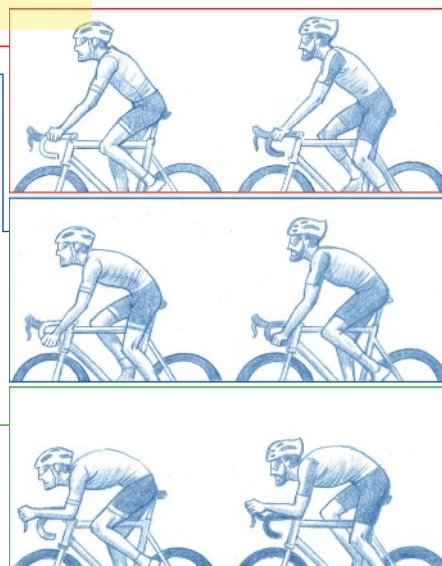
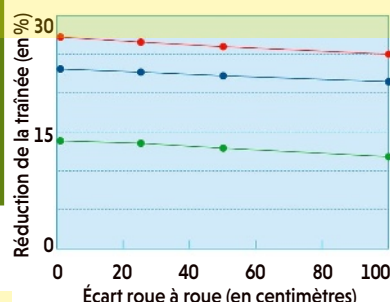
environ 40 newtons, soit le poids d'un objet de 4 kilogrammes.

Pourquoi vaincre une force aussi modeste nous demande-t-il autant d'efforts? Parce qu'on a un effet de levier inverse. Lorsqu'on roule à grande vitesse, chaque tour de pédale nous fait avancer de plus de 10 mètres, soit environ 10 fois plus que la longueur circulaire parcourue par un pied en un tour de pédale (pour les connaisseurs, nous avons considéré un développement de 52×11, des pneus de 700 millimètres et un bras de levier de pédale de 170 millimètres).

Le prix à payer est qu'il faut exercer sur la pédale une force 10 fois supérieure à la traînée aérodynamique, soit 400 newtons en moyenne, c'est-à-dire le poids de 40 kilogrammes. C'est une force énorme, sachant qu'à la vitesse considérée, le cycliste pédale à une cadence de 81 tours



MOINS DE TRAÎNÉE POUR LE SUCEUR DE ROUE



Quand deux cyclistes se suivent de près en file indienne, le jeu des dépressions à l'arrière et surpressions à l'avant de chacun a pour effet de diminuer la traînée aérodynamique subie. L'effet est plus important pour le second cycliste que pour le premier. Il dépend aussi de l'écart roue à roue entre les deux coureurs, ainsi que de la position, plus ou moins aérodynamique, adoptée sur le vélo.

par minute. La puissance qu'il doit fournir est alors de 600 watts en continu... Presque surhumain!

D'où vient la traînée aérodynamique? Son expression quantitative en donne une idée: elle est proportionnelle au produit de la masse volumique de l'air ambiant par le carré de la vitesse du cycliste et par la surface frontale qu'il présente, vélo compris, à l'écoulement d'air. Tout se passe donc comme si le cycliste devait pousser et mettre en mouvement tout le volume d'air qu'il traverse.

C'est pour cette raison que de nombreux records ont été battus au vélodrome de Mexico, à une altitude de 2250 mètres. L'air y est 20% moins dense qu'au niveau de la mer, ce qui réduit d'autant la traînée. Cela explique aussi que la première chose à faire pour un cycliste qui veut réduire sa traînée est de

diminuer son aire frontale, en se couchant davantage sur son vélo par exemple. En témoigne la position adoptée par les coureurs professionnels lors des contre-la-montre.

Le coefficient de proportionnalité qui intervient dans l'expression de la traînée dépend de la forme plus ou moins aérodynamique du cycliste et de son vélo, mais aussi des détails de l'écoulement de l'air autour d'eux. Des études en soufflerie et des simulations numériques, en particulier celles de l'équipe de Bert Blocken, à l'université de technologie d'Eindhoven, aux Pays-Bas, ont peu à peu révélé ces écoulements très complexes.

Il ressort de ces travaux que le mouvement du cycliste crée une surpression de l'air devant lui et une dépression derrière lui, les deux contribuant à le freiner.

De plus, le cycliste entraîne de l'air en mouvement sur plusieurs mètres dans son sillage.

UN EFFET D'ASPIRATION

La dépression à l'arrière du cycliste est un phénomène commun à tous les bolides en mouvement et aux voitures de course en particulier. Elle est à l'origine dans ce cas de ce que l'on appelle l'«aspiration»: en se calant dans le sillage de la voiture de devant, le pilote bénéficie de cette dépression pour gagner plus de vitesse avec une même >

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



> puissance de moteur disponible, ce qui lui permet de dépasser son concurrent.

En vélo, lorsqu'un cycliste se cale dans le sillage d'un autre pour lui «sucer la roue», la dépression située derrière ce pré-décesseur réduit la surpression qu'il crée lui-même. La traînée aérodynamique en est réduite de plus de 20% pour un cycliste en position semi-couchée, y compris lorsque les vélos sont séparés de 1 mètre.

Et comme la dépression à l'arrière du cycliste de tête est réduite par la surpression créée par son successeur, la traînée qu'il subit l'est aussi. Ce gain est faible, de l'ordre de 1,5% pour 10 centimètres d'écart roue à roue, le même que procure à un cycliste une voiture qui le suit à 5 mètres. Un gain faible, mais pas sans conséquence: 1,5% de réduction de traînée à 15 mètres par seconde permet de parcourir 20 kilomètres en 10 secondes de moins!

Cet effet signifie que dans un contre-la-montre, une voiture peut avantager un coureur si elle le suit de trop près. Le choix de l'Union cycliste internationale de 10 mètres comme distance réglementaire, plutôt motivé par des raisons de sécurité, assure ainsi *a posteriori* l'équité du contre-la-montre, l'effet de la voiture sur la traînée étant négligeable à cette distance.

UNE RÉDUCTION DE LA TRAÎNÉE QUI PEUT DÉPASSER 90%

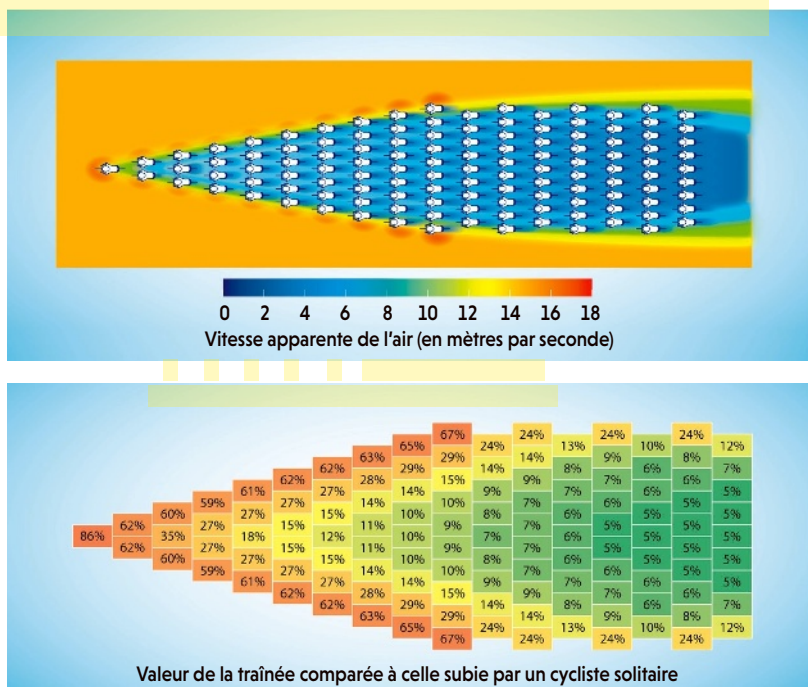
Revenons à nos cyclistes et continuons à en ajouter jusqu'à ce qu'ils soient huit, effectif typique d'un contre-la-montre par équipe. On peut remarquer qu'ils roulent en file indienne, et il y a de bonnes raisons à cela. En effet, à 0,5 mètre d'écart roue à roue entre les coureurs, on obtient des réductions de traînée encore plus élevées qu'en binôme: 37% pour le deuxième dans la file et plus de 55% à partir du quatrième. Sur l'ensemble du groupe, la traînée est ainsi réduite en moyenne de 45% par rapport à la situation où chacun court individuellement.

Seul le cycliste de tête ne bénéficie que d'une réduction marginale, ce qui explique que les coureurs se relaient dans la file pour partager plus équitablement l'effort sur la durée de la course. En tout cas, si tout le monde joue le jeu, partir en petit groupe améliore sensiblement la possibilité de mener au bout une échappée.

Nous pouvons maintenant changer d'échelle et considérer un peloton entier. C'est ce qu'ont fait en 2018 Bert Blocken et ses collègues en étudiant, par

UN CŒUR DE PELOTON TRÈS CONFORTABLE

L'équipe de Bert Blocken, aux Pays-Bas, a effectué des études en soufflerie sur modèle réduit et des simulations numériques d'un peloton composé de 121 cyclistes. Elles révèlent une réduction considérable de la vitesse apparente de l'air (figure du haut) et donc de la traînée aérodynamique (figure du bas) pour les coureurs se trouvant au cœur du peloton. Les résultats présentés ici sont relatifs à un peloton dense roulant à 15 mètres par seconde (environ 54 kilomètres par heure).



simulation numérique et en soufflerie avec un modèle réduit à l'échelle un quart, un groupe de 121 cyclistes plus ou moins dense. Les tendances précédentes sont amplifiées (voir l'encadré ci-dessus): la traînée est réduite de 14% pour le coureur en tête, de près de 40% pour les coureurs sur les côtés, et de 94% au cœur du peloton!

Il s'ensuit qu'au cœur du peloton, un cycliste a l'impression de rouler à 3,7 mètres par seconde, soit 13 kilomètres par heure, une allure de promenade familiale... Évidemment, choisir sa place dans le peloton n'est pas uniquement une question d'efforts énergétiques. Plus on est en queue, plus on est sensible aux effets d'accordéon provoqués par des accélérations en tête ou aux éventuelles chutes. C'est pourquoi les leaders du Tour préfèrent rester dans les premiers rangs, entourés de leurs équipiers: la réduction de traînée demeure très importante (80%), mais il leur est plus facile de réagir à une accélération soudaine des adversaires. ■

BIBLIOGRAPHIE

B. Blocken et al., **Aerodynamic drag in cycling pelotons: New insights by CFD simulation and wind tunnel testing**, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 179, pp. 319-337, 2018.

B. Blocken et al., **CFD simulations of the aerodynamic drag of two drafting cyclists**, *Computers & Fluids*, vol. 71, pp. 435-445, 2013.

P. D. Soden et B. A. Adeyefa, **Forces applied to a bicycle during normal cycling**, *Journal of Biomechanics*, vol. 12(7), pp. 527-541, 1979.