

science Le Monde & médecine



Lors des Six Jours de Gand,
le 21 novembre 2021,
au vélodrome Kuipke,
en Belgique.

JASPER JACOBS/BELGA/PRESSE SPORTS

Des physiciens au service du sport

La troisième édition de la conférence Sports Physics, qui s'est déroulée à Lyon fin 2021, a présenté des résultats de recherche susceptibles d'augmenter les performances sportives. Des sujets atypiques pour les physiciens

DAVID LAROUSSE
LYON - envoyé spécial

Il y a eu du sport dans l'un des temples de la recherche française, l'ENS Lyon, entre les 6 et 8 décembre 2021. L'amphi n'a pas été transformé en stade, et personne n'a trop sué, mais se tenait là la troisième édition d'une conférence originale sur la physique du sport, Sports Physics, destinée à présenter tout ce que cette science a à dire sur l'aviron, le cyclisme, le rugby, la natation aussi bien que sur le tir à l'arc, le sprint, les courses à la voile... La nouveauté? Ces scientifiques veulent aussi gagner des médailles ou plutôt en faire gagner. Les festivités ont même été ouvertes par un membre de la Fédération française de cyclisme (FFC), Emmanuel Brunet, avec un cri de ralliement clair, «*pédaler plus vite grâce aux progrès de la recherche!*»

La même conviction anime le physicien Christophe Clanet, à l'initiative des deux premières conférences. Il est aussi à l'origine, en 2018, d'un projet rassemblant quatorze grandes écoles et trois organismes, Sciences 2024, pour «*répondre aux défis*

des Jeux olympiques et paralympiques de Paris 2024». En 2019, le ministère de la recherche a lancé un appel d'offres sur la haute performance sportive, financé à hauteur de 20 millions d'euros par le programme d'investissements d'avenir. Douze projets sont retenus, dont quatre de Sciences 2024.

«*Pour se convaincre que la science peut apporter des gains de performance, il n'y a qu'à voir que les trois meilleures nations aux Jeux olympiques – Etats-Unis, Chine ou Royaume-Uni – sont aussi celles qui investissent le plus en recherche dans le sport*», rappelle Christophe Clanet, contributeur d'une douzaine d'exposés à la conférence. Des exposés qui révèlent une course à la performance, y compris à travers des détails inattendus. Un groupe explique ses efforts pour réduire les pertes au niveau d'une chaîne de vélo. Un autre calcule la meilleure forme d'une rame d'aviron, qui n'est pas standardisée, ou la profondeur à laquelle l'enfoncer sur les premiers mètres. Des collègues se demandent si courber les mains, plutôt que les raidir, est bénéfique pour les nageurs...

«*C'est une activité gagnant-gagnant*», déclare Christophe Clanet. *Pour les chercheurs, c'est la possibilité*

de trouver des sujets originaux. Pour les athlètes et leurs entraîneurs, cela apporte un autre regard sur leur sport. Ça peut les questionner, les bousculer et les faire avancer. On n'apporte pas toutes les solutions, mais une autre approche, qui peut s'avérer utile. «*Bien sûr, on ne peut apporter la preuve que c'est grâce à nous qu'une victoire a été obtenue, mais on a déjà l'impression d'apporter quelque chose*», constate Philippe Odier, physicien à l'ENS Lyon, organisateur de la conférence et impliqué dans Sciences 2024. Mais il n'en dira pas plus sur les petits secrets qu'il aurait déjà apportés. A Lyon, cette crainte de voir des informations utiles fuiter était palpable. Une fédération sportive n'a pas apprécié qu'un conféréncier aille plus loin que prévu dans la présentation de ses résultats, ce qui aurait pu révéler des innovations utiles aux adversaires...

Malgré tout, Christophe Clanet ne peut s'empêcher de rappeler quelques succès, comme des capteurs de puissance directement sur le pédalier des cyclistes ou des repérages complets d'un vélodrome pour en connaître le profil exact et adapter les stratégies de course.

➔ LIRE LA SUITE PAGES 4-5

Quel suivi pour les «*enfants Crispr*»?

Trois ans après la naissance des premiers bébés génétiquement modifiés, en Chine, He Jiankui, qui a mené l'expérimentation, est sorti de détention. Mais la protection à leur donner reste au cœur d'un débat éthique

PAGE 2



Tribune Pour une filière de soin intégrée des traumatismes graves

Des médecins et des familles de victimes appellent à une meilleure prise en charge de la première cause de mortalité et d'invalidité en France

PAGE 7



Portrait Un artiste au chevet de l'hôpital

En résidence depuis cinq ans à l'Institut Bergonié, à Bordeaux, Arnaud Théval a engagé un travail autour du langage, des lieux d'accueil et de la circulation au sein de ce centre anticancer

PAGE 8

► SUITE DE LA PREMIÈRE PAGE

A Lyon, c'était donc du sérieux. Pas question, comme lors d'une précédente édition, de demander à un perchiste de faire des rebonds sur sa perche avant le saut final pour espérer aller plus haut... Mais quand même, certains ont gardé un grain de folie. A quelle vitesse Usain Bolt pourrait-il aller dans le vide?, s'est demandé un conférencier (pour tester deux modèles contradictoires). En kayak ne pourrait-on aller plus vite en faisant osciller le bateau au bon moment? Les caméras rapides au tennis, qui servent à savoir si une balle est dans le terrain, peuvent-elles aussi connaître l'usure des balles? Peut-on prédire la vitesse des candidats à une course un peu folle aux Pays-Bas, qui consiste à pédaler contre un vent d'au moins 50 kilomètres-heure sur 8,5 kilomètres? «Plus on creuse, plus c'est compliqué et motivant!», résume Philippe Odier. La preuve en trois exemples.

Profiter au mieux de l'aspiration

Même le cycliste du dimanche le sait, «sucer» la roue d'un vélo situé devant, c'est-à-dire pédaler juste derrière lui, diminue l'effort pour avancer. Cette aspiration est a fortiori bien connue des professionnels, qu'ils soient sur piste, en relais, ou sur route, en peloton ou dans un petit groupe d'échappés. Mais même les nageurs peuvent la ressentir et en bénéficier, notamment dans les épreuves de triathlon ou de nage en eau libre (10 kilomètres départ en ligne comme aux Jeux olympiques).

«Les sportifs sentent l'aspiration, nous la quantifions», résume Baptiste Bolon, ingénieur de l'École nationale des ponts et chaussées (ENPC), qui a étudié finement, sous la houlette de Rémi Carmignani (ENPC), la force de résistance sur des nageurs placés l'un derrière l'autre ou côte à côte. Idem pour l'équipe de Philippe Odier, mais pour le vélo, qui a mesuré cette force avec de vraies cyclistes et non pas en soufflerie, en fonction de la distance entre les roues des sportives. Leurs résultats inédits ont tous deux été financés dans le cadre du projet Sciences 2024.

Rappelons l'un des principes fondamentaux de l'aérodynamique. Tout corps avançant dans un fluide subit une force, dite «de traînée», qui s'oppose à son mouvement, dépend de la surface offerte au fluide et est proportionnelle à la vitesse de déplacement au carré. Aller deux fois plus vite crée une force de résistance quatre fois plus grande. Et demande une puissance huit fois plus grande, ce qui se paie avec un rythme cardiaque qui accélère, par exemple.

Cette force de traînée est en fait une différence de pression entre l'amont et l'aval, si bien que, si un nageur ou un cycliste se met derrière un autre, assez proche, cette force est diminuée pour le second acteur, car la pression amont du second correspond à la pression aval du premier. La différence de pression de part et d'autre du second est donc plus faible que lorsqu'il est seul. Tout comme la traînée. Le tout est de savoir de combien et à quelle distance cet effet se fait sentir.

Baptiste Bolon a travaillé dans un bassin avec des modèles réduits de mannequins, mais reproduisant les coefficients de friction de vrais nageurs, mesurés expérimentalement. Il estime être ainsi plus fidèle à la réalité qu'un travail identique réalisé en 2016. Il a aussi exploré plus de configurations que ses prédécesseurs et à des distances plus grandes. Les conclusions sont impressionnantes. A moins de 1 mètre, la force de traînée est réduite de 40% par rapport à la situation d'un nageur seul. A 4 mètres, elle est encore 20% plus faible. De quoi se «reposer» pendant une course en ligne.

Mais, pour gagner, il faut être premier et donc doubler les autres... Le travail de l'ENPC apporte aussi quelques indications en mesurant la traînée pour des nageurs côte à côte. La résistance est la plus forte quand les deux sportifs sont sur le même front. La traînée est même plus grande que pour un seul nageur! Il vaut donc mieux doubler vite ou, si l'on se sent plus fort que son voisin, rester le plus longtemps possible à ses côtés pour le faire encore plus souffrir. Au niveau de la hanche, c'est là que la traînée sera la plus faible, de 30% environ. Cela grâce au sillage du premier nageur, qui crée des vagues autour de lui sur lesquelles il s'agit de bien surfer. «Mais cette position dépend de la distance entre les deux nageurs, ce que nous sommes en train d'étudier», note Baptiste Bolon. Cela pourrait permettre d'élaborer de meilleures stratégies de course et de savoir comment mieux doubler.

L'espoir de faire mieux est aussi présent dans l'équipe de Philippe Odier, qui s'est intéressée au vélo. «C'est la première fois que l'on a des mesures sur piste, en situation réelle, rappelle Anne Le Cunuder, qui a fait un postdoc sur ce sujet

dans cette équipe. En outre, jusqu'à présent en soufflerie, les gens trouvaient des résultats contradictoires. Soit la traînée ne change quasiment pas avec la distance entre les deux cyclistes, soit elle change.» Le verdict semble clair cette fois, obtenu en mesurant la puissance dissipée au niveau des pédaliers et la distance grâce à des lasers. Entre 20 et 30 centimètres d'écart entre les deux vélos, lancés à 45 kilomètres-heure, la force de résistance est 50% plus faible que si l'on pédalait seul. Mais ce bénéfice chute jusqu'à 38% environ à 2 mètres de distance et 30% au-delà de 3 mètres.

«Il y a des modes dans le vélo : rouler très collés, rouler moins collés... C'est bien que l'on puisse quantifier ces effets pour répondre aux questions des professionnels», rappelle Philippe Odier, qui poursuit ses travaux. Son groupe cherche maintenant des coureurs plus rapides, pour savoir si ces évolutions se confirment à haute vitesse. Il voudrait aussi peaufiner les résultats au-delà des 2 mètres, car cela pourrait intéresser les coureurs de relais sur piste : le relayeur qui décroche du groupe pour se mettre derrière doit-il tout faire pour coller rapidement à la roue ou bien le jeu n'en vaut-il pas la chandelle, car il profiterait, même à 2 ou 3 mètres, d'une aspiration bénéfique? La vieille mécanique des fluides peut encore servir.

Sprinter, l'équation du succès

La devise olympique est connue, «plus vite, plus haut, plus fort». Mais peut-on aller «plus vite et plus fort à la fois», s'est interrogé à la conférence Pierre Samozino de l'université Savoie-Mont-



Les performances dopées par la physique

En général, les spécialistes se sortent de cette «impasse» en privilégiant le produit de la force par la vitesse, c'est-à-dire la puissance. Compte tenu de la loi de décroissance de la force avec la vitesse, cette puissance présente un maximum à une certaine vitesse. A coups de fractionnés et de musculation, les entraîneurs cherchent donc à maximiser la puissance de leurs athlètes. «Nous confirmons que rechercher cette puissance maximale est un gage de performance, mais nous montrons qu'à puissance égale on peut malgré tout encore augmenter la performance. Il y a des marges de progression!», assure Pierre Samozino, dont le travail est financé par le projet Fulgur, l'un des 12 projets du volet des investissements d'avenir consacré au sport de très haute performance.

Comme il le dit aussi, dans une comparaison mécanique, «un tracteur et une voiture sportive peuvent avoir la même puissance maximale mais des profils force-vitesse différents». C'est donc là que se situe la marge de progression pour s'améliorer sur 10, 20 ou 30 mètres. Plus précisément, ce profil consiste à déterminer la pente de la droite le long de laquelle la force décline avec la vitesse, et la vitesse maximale (V_0) à force nulle ou la force maximale (F_0) à vitesse nulle. En 2016, la même équipe avait mis au point une méthode simple à partir de vidéos, qui a rapidement été diffusée dans le monde sportif, pour déterminer ces caractéristiques sans recours à de coûteuses pistes équipées de capteurs.

A partir des lois de la mécanique et de la physiologie, les chercheurs ont calculé les temps de course sur diverses distances en fonction de la pente de la droite et de la puissance maximale d'un coureur. Bonne surprise, pour une puissance maximale donnée, il existe une pente qui permet d'avoir un temps de course minimal. Et donc l'espoir de faire mieux qu'aujourd'hui est permis, en théorie.

Seconde bonne surprise, dans une étude portant sur 231 athlètes dont les pentes et puissances maximales ont été déterminées, les chercheurs ont compris que tous n'étaient pas à l'optimum. Et donc, en pratique cette fois, il y a l'espoir d'améliorer les performances. Par exemple, sur des sprints de 30 mètres, les basketteurs, les footballeurs, les rugbymen ou même les sprinteurs sont tous loin de l'optimum : ils devraient travailler l'amélioration de leur paramètre V_0 .

Pour les distances de 10 mètres, tous sont également loin de l'optimum, mais cette fois il faudrait qu'ils améliorent plutôt leur paramètre F_0 . Enfin, sur les distances de 15 mètres, certains sportifs sont à leur optimum. «Le fait de se rapprocher du profil optimal permet d'augmenter encore plus la performance, jusqu'à 10%-12%, ce

«IL Y A DES MODES DANS LE VÉLO : ROULER TRÈS COLLÉS, ROULER MOINS COLLÉS... C'EST BIEN QU'ON PUISSE QUANTIFIER CES EFFETS POUR RÉPONDRE AUX QUESTIONS DES PROFESSIONNELS»

PHILIPPE ODIER
PHYSICIEN À L'ENS LYON



Durant les Jeux olympiques de Tokyo 2020, le 1^{er} août 2021.
JEWEL SAMAD/AFP



Lors du Top 14, à Toulouse, le 15 avril 2018. LUTTIAU NICOLAS

qui n'est pas négligeable à haut niveau», résume Pierre Samozino.

Autre avantage, ces équations seront aussi utiles pour prévenir les blessures ou décider d'un retour à l'entraînement, car, en surveillant l'évolution de ce fameux profil force-vitesse, on peut anticiper des problèmes ou constater des améliorations. Mais que les reines ou rois du sprint ne s'emballent pas. Ce modèle ne fonctionne pas au-delà de 30 mètres de distance, car il faut alors tenir compte de la fatigue et de l'inévitable ralentissement des coureurs. Physiciens et mathématiciens ont encore des efforts à fournir.

L'amorti pour ne pas se blesser

Tout sportif rêve de trouver chaussure à son pied. Mais les spécialistes sont loin de pouvoir exaucer ce vœu, à en croire l'exposé de Cédric Morio, du laboratoire de recherche de Decathlon à Villeneuve-d'Ascq. Et encore, il n'a pas parlé des effets sur les performances de cet équipement, mais seulement de son rôle dans la prévention des blessures. «*Mais une chaussure qui ne blesse pas est déjà une chaussure qui aide à performer*», souligne-t-il.

Il a ainsi commencé par rappeler le paradoxe de l'amorti, connu des spécialistes depuis les années 1980. L'amorti est la capacité à atténuer les chocs. Par exemple, plus la semelle est dure, plus il faut une force élevée pour la déformer. La force nécessaire sera plus faible, pour la même déformation, dans le cas d'une semelle molle. C'est du moins ce que donnent des mesures statiques obtenues en appuyant plus ou moins sur les équipements.

Mais des mesures biomécaniques et dynamiques indiquent un effet contraire. Quand les forces ressenties par les jambes sont mesurées lors d'une course sur des tapis de force, les chercheurs trouvent qu'elles sont plus fortes pour les chaussures souples que dures! «*Ce paradoxe s'explique par le fait que le corps humain s'adapte très vite au sol. Il se raidit quand on évolue sur du sable et se détend quand on court sur du bitume*», rappelle Cédric Morio. Il est donc difficile d'affirmer qu'un bon amorti réduit le risque de blessure. Pour y parvenir, il faut en passer par des essais cliniques en tirant au sort des sportifs qui porteront des chaussures amorties et d'autres plus dures.

En 2014, un des centres les plus actifs dans le domaine, le laboratoire de recherche en médecine du sport du Luxembourg, a publié un tel essai sur environ 250 personnes et des équipements aux amortis différents (13 % d'écart). Il a trouvé autant de blessés dans les deux groupes, et constaté qu'un indice de masse corporelle

(IMC) élevé favorise les blessures. Mais, en 2020, une nouvelle étude, du même laboratoire en collaboration avec l'équipe de Decathlon, a contredit la précédente. Cette fois, sur un panel de 800 personnes, l'écart d'amorti observé s'élevait à 35 %. Il y a eu moins de blessés chez les porteurs de chaussures «molles» et l'indice de masse corporelle ne jouait pas...

Cédric Morio ajoute aussi, pour compliquer la réponse, que, depuis l'invention de supermousses dans les semelles, la question de l'amorti s'est complexifiée, car ces mousses, non contentes d'amortir comme un matelas, jouent aussi le rôle de trampoline et renvoient de l'énergie au coureur pour l'aider dans son mouvement. «*Cela demande au coureur d'adapter sa course et vise plutôt la recherche de performance*», indique le spécialiste.

L'affaire se brouille encore, car, rappelle Cédric Morio, «*l'amorti n'est pas le seul paramètre à prendre en compte. Il y a notamment le contrôle de la posture ou l'écart de hauteur entre le talon et la pointe*». Le contrôle de la posture consiste à corriger l'angle entre le tibia et le pied, pronateur ou supinateur. Selon un de ses travaux, les personnes pronatrices (pieds plutôt vers l'intérieur) bénéficient plus d'une correction de ce défaut.

Pour la géométrie de la chaussure et la hauteur entre le talon et la pointe, les résultats dépendent de la pratique. Les novices, selon une étude du groupe de Cédric Morio et de ses collègues du Luxembourg, ont plus intérêt à utiliser des chaussures dites «minimalistes», avec un talon non surélevé par rapport à la pointe. Mais d'autres propriétés peuvent contrebalancer les effets (forme, épaisseur de la semelle...). Les professionnels apprécieront, eux, les hauts talons.

Alors quelle chaussure choisir? Cédric Morio ne répond pas et préfère même élargir la question: «*Il faudra aller vers plus d'individualisation des choix pour trouver l'équipement le plus adapté à chaque sportif en fonction de ses besoins et de ses caractéristiques*». Et la prochaine étape à laquelle il travaille est de développer des tests les plus simples possibles pour déterminer ces critères de choix, réalisables en situation réelle plutôt qu'en laboratoire. En conclusion, il a montré un travail en cours, avec une joggeuse portant un sac à dos bien rempli d'électronique, de batteries et de capteurs, avec un fil en sortant en direction du pied. «*Les capteurs sont moins précis qu'en laboratoire, mais ils fournissent des informations plus réelles et nombreuses. Cela nous apporte beaucoup de données à analyser, mais c'est un nouveau champ de recherche*». Lui, au moins, a trouvé chaussure à son pied. ■

DAVID LAROUSERIE
(LYON, ENVOYÉ SPÉCIAL)

COMMOTIONS CÉRÉBRALES: DES CHOCS ET DES BULLES

Rien d'étonnant à ce que des physiciens s'intéressent aux chocs dans le sport. Mais que ce soit des spécialistes de mécanique des fluides est plus surprenant. Une équipe de l'Ecole polytechnique a ainsi présenté à la conférence Sports Physics, à Lyon, en décembre 2021, son hypothèse osée, mais plausible, d'explication des traumatismes cérébraux légers (plus connus sous le nom commun de «commotion cérébrale») et de leur détection.

«*Environ 7% à 10% des 35 000 à 50 000 traumatismes annuels que nous voyons aux urgences en Ile-de-France sont liés au sport*, rappelle Philippe Deck, chef de service de neurochirurgie à l'hôpital Beaujon (AP-HP), et membre de plusieurs groupes de travail sur le sujet à la Fédération française et à la Fédération internationale de rugby. *Au rugby, c'est environ deux par journée de championnat de Top 14 qui sont recensés.*»

Le diagnostic n'est pas simple, car les symptômes et les critères sont nombreux et peuvent apparaître vingt-quatre à quarante-huit heures après le choc. La perte de connaissance n'est donc pas systématique. D'autres dysfonctionnements des fonctions cérébrales, repérés par exemple au rugby par des questionnaires dans les vestiaires, sont recensés comme des troubles de la mémoire, un état mental perturbé, ou des pertes d'équilibre.

Mais l'origine de ces maux est mal connue. «*Le choc entraîne un dysfonctionnement*

cellulaire dans le cerveau. Celui-ci, qui consomme beaucoup d'énergie, se met à en manquer et met du temps à récupérer», estime Philippe Deck. D'autres évoquent des conséquences des contacts avec la boîte crânienne. Les physiciens de l'Ecole polytechnique ont testé une autre idée, émise dans les années 1970 par d'autres physiciens: l'apparition de bulles dans le liquide cérébrospinal, qui, en implosant, abîmeraient les neurones.

Modélisation de l'implosion

Aucun sportif n'a été secoué pour éprouver l'hypothèse, mais un analogue expérimental de leur cerveau a été construit: un cylindre rempli d'eau tombe sur différents objets plus ou moins durs afin de varier l'intensité et le temps de l'impact. Lors du choc, une dépression apparaît entre le bas et le haut du cylindre à cause de l'inertie du fluide. Cette dépression crée une bulle d'environ un millimètre de diamètre. Celle-ci implose en une onde de choc susceptible de détériorer les neurones. Elle peut aussi propulser un jet de liquide assez fort contre le cerveau et l'abîmer.

Après avoir modélisé l'énergie libérée par ces bulles, Juliette Amauger, la doctorante sur ce projet conduit par Caroline Cohen et Christophe Claret, a retrouvé un résultat bien connu depuis des travaux d'accidentologie automobile dans les années 1960. Selon ces études, le risque de commotion dépend de l'intensité du choc (de 50 à 150 fois la pesanteur terrestre) et du temps (de deux

à vingt millisecondes). Un choc court n'est dangereux qu'à haute intensité, alors qu'un choc long peut être néfaste même s'il est faible. Et c'est cette loi que les physiciens ont retrouvée. «*Même si nous n'avons pour l'instant aucune preuve in vivo que ce phénomène de cavitation existe dans ces circonstances, l'hypothèse est plausible et le travail est passionnant*», constate Philippe Deck.

L'équipe envisage d'améliorer encore son modèle de description du phénomène d'implosion des bulles. Elle essaie aussi de mesurer en situation réelle les accélérations et les temps d'impact sur des sportifs, comme les boxeurs, car ils disposent de casques, plus faciles à équiper qu'une tête nue de rugbyman.

En janvier, un autre projet a été lancé en France pour repérer et prévenir les commotions, à l'initiative de l'entreprise Vogo, qui équipe les stades de systèmes vidéo et audio pour l'arbitrage vidéo notamment. Ce consortium, associant entreprises, fédérations sportives et laboratoires académiques, envisage d'identifier les risques de traumatismes par trois voies: par l'analyse des ralentis des vidéos, par des tests salivaires au bord du terrain sensibles à des biomarqueurs de perturbation cognitive, ou encore par des protocoles audio, la voix révélant des dysfonctionnements cognitifs. Certaines de ces méthodes pourraient même s'appliquer sur les terrains amateur. ■

D.L.