

SPRINT

Le modèle de la trottinette

CHEVILLE

L'entorse bénigne
n'existe pas !

SANTÉ

La télé nous tue
à petit feu



Cadel EVANS
Un champion
pas comme
les autres

DOSSIER

INFLAMMATION

Les erreurs à ne pas commettre

FRANCE METRO 5,50 € - BEL 6,50 € - SUI 6,50 € - CH 11 Fr - CAN 9,75 \$ - CAN - LUX 6,50 €



L 12403 - 133 - F: 5,50 € - RD



Qu'est-ce qui fait courir Christophe?



Christophe Lemaitre est un mystère pour les biomécaniciens. Il est nettement moins costaud que la plupart de ses adversaires. Et il va nettement plus vite. Quel est son secret? Pour le savoir, une grande enquête a été menée à l'Université de Saint-Étienne. Résultat des tests? Christophe Lemaitre court comme sur une trottinette!

On ignore si Christophe Lemaitre a fait beaucoup de trottinette lorsqu'il était petit. En revanche, on peut affirmer sans risque de se tromper qu'il aurait été un «trottinetteur» hors pair! Mais n'allons pas trop vite en besogne et tâchons plutôt de détailler les différentes étapes qui permettent d'aboutir à cette conclusion sans appel. Tout démarre au début de l'année 2010 par de nouvelles études sur le tapis de course ADAL 3D au sein de notre Laboratoire de Physiologie de l'Exercice (EA4338) du Centre Hospitalier Universitaire de Saint-Étienne. Cette machine ingénieuse a été développée par une entreprise (HEF Tecmachine) basée à Andrézieux-Bouthéon dans la Loire (3). A la différence des modèles qu'on trouve dans les salles de fitness, le déroulement du tapis

n'est pas déterminé par un système préalable d'encodage de la vitesse. Il s'adapte aux actions du coureur. Et cela change tout! Dans le premier cas, l'athlète doit obligatoirement suivre le tempo dicté par la machine. Dans le second, la vitesse fluctue en fonction de ses propres impulsions. Il peut facilement changer de rythme sans toucher au tableau de commandes et s'il ralentit l'allure et même s'il s'arrête, le tapis cesse lui aussi de défiler sous ses pieds, ce qui reproduit de façon très réaliste les impressions du terrain. Bien entendu, la production d'une telle machine implique une technologie beaucoup plus sophistiquée. Les premiers modèles équipés du moteur «brushless» (sans balai) ont vu le jour il y a une dizaine d'années et permettaient à l'époque d'étudier la mécanique de la course à allure sous-maximale. Avec l'ADAL 3, on peut accélérer

POUR COURIR VITE, COUREZ LÉGER

essentiel de la performance dans de très nombreuses disciplines. L'attaquant de football lancé en profondeur dans le dos de la défense, le joueur de tennis surpris par une amortie, le rugbyman qui déboule vers l'en but ou le «pousseur» qui doit sprinter sur la glace avant de sauter dans un bobsleigh de 210 kilos: nombreuses sont les situations sportives dans lesquelles on doit être en mesure d'accélérer le plus possible. Nous avons bien dit «accélérer». Le plus souvent, ces actions déterminantes durent trop peu de temps pour atteindre sa vitesse maximale. De ce point de vue, la course sur 100 mètres constitue un assez mauvais modèle. La grande majorité des sports impliquant des accélérations donnent lieu à des sprints de 3 à 4 secondes soit 20 à 30 mètres maximum. Dès lors il nous semble inutile et même contreproductif d'appliquer à ces sportifs (football, rugby, tennis, etc.) un modèle d'entraînement inspiré de celui de la piste, dans la mesure où l'on ne rencontre jamais les mêmes situations de jeu. Or c'est pourtant ce que l'on voit! Depuis une vingtaine d'années, on confond trop souvent la vitesse et la force et on prépare les athlètes sur le modèle de ces sprinteurs bodybuildés. Or, le gain en force des membres inférieurs sans le complément nécessaire à sa bonne transmission au sol sera au mieux inutile et au pire néfaste et source de blessures. Que faire alors pour améliorer sa qualité technique de transmission de la force au sol et donc son efficacité en sprint? De notre point de vue, deux pistes sont justifiées: renforcer les muscles extenseurs de la cuisse par des exercices spécifiques exécutés à vive allure, et travailler la force de la cheville. Pour cela, on peut s'inspirer d'une méthode déjà utilisée en Allemagne de l'Est à l'époque de Katrin Krabbe: courir dans le sable de façon à résister aux mouvements latéraux du pied et à acquérir une robustesse qui empêche toute déformation au moment de la prise d'appui afin de transmettre dans son intégralité la poussée générée par les muscles du membre inférieur. Cette qualité de gainage de la cheville est à notre avis primordiale à la bonne transmission des forces. Ces gros bébés munis de membres inférieurs très puissants ne seront pas de bons sprinteurs si leurs pieds ne sont pas assez solides pour tenir le choc des forces générées. Tout à l'inverse de ces colosses aux pieds d'argile, il est parfois surprenant de voir des joueurs de football ou de basketball exceller en sprints courts ou dans les violents changements de direction, tout en étant de piètres poussieurs de fonte. Ils sont certainement dotés d'une très bonne qualité de pied. Comme le veut l'adage, «la force d'une chaîne est celle de son maillon le plus faible», or dans la chaîne des actions qui propulsent le corps contre le sol, tout passe *in fine* par le pied.

Magnifiée par les exploits des sprinteurs, la vitesse de course constitue un déterminant

importe évidemment de minimiser la première et de maximiser la seconde. En résumé, les sprinteurs les plus rapides possèdent cette habileté technique à bien orienter la poussée vers l'arrière et à se propulser ainsi vers l'avant. Et pas besoin pour cela d'être spécialement costaud. L'étude permettait enfin de comprendre comment des coureurs relativement fluets pouvaient rivaliser et même dépasser des collègues nettement plus baraqué. Ces premiers résultats firent l'effet d'une petite bombe dans le cénacle restreint des biomécaniciens spécialistes du sprint. Ils contredisaient en effet les conclusions d'une étude plus ancienne, menée aux Etats-Unis par Peter Weyand (South Methodist University) (10). En 2000, ce chercheur avait démontré que les vitesses maximales de course étaient atteintes par les individus capables de produire les plus grandes forces verticales sur le sol. Sur base de ce constat, les entraîneurs avaient privilégié le développement musculaire des sprinteurs qui se mirent à ressembler de plus en plus à des bodybuilders. Douze ans plus tard, l'étude stéphanoise met à mal l'ancienne conception.

franchement et même faire des départs arrêtés de sprint en position penchée vers l'avant (*). Autre avantage considérable: ce tapis permet d'enregistrer les forces qui s'exercent au niveau du sol et de les décomposer dans les trois plans de l'espace: vertical, horizontal et latéral. Les données sont enregistrées au rythme effarant de 1000 par seconde que l'on peut ensuite lier à la vitesse, ce qui permet de calculer la puissance mécanique à chaque appui, quelle que soit la distance: 100, 200 et même 400 mètres (7). Pour l'instant, l'outil utilisé à Saint-Etienne est unique au monde. Un autre exemplaire devrait prochainement partir pour le Qatar.

L'étude qui contredit les Américains

En 2011, une première étude menée sur une population de sportifs venus de divers horizons a démontré que la performance sur 100 mètres n'était pas corrélée à l'intensité de la force totale du pied sur le sol comme on le croyait précédemment (4). On ne trouvait une corrélation fiable qu'en différenciant les composantes de cette force sur le plan vertical et horizontal. Pour aller vite, il





LES MAÎTRES SPRINTEURS

Tout le monde s'extasie sur la vitesse d'Usain Bolt. A juste titre! Il est capable d'atteindre et même de dépasser les 45 km/h en vitesse de pointe: une performance sans égale à ce jour chez les humains. Remise dans le contexte du règne animal, cette prouesse perd son caractère exceptionnel. Au sprint, Usain Bolt rivalise avec des animaux comme l'éléphant ou le chat domestique, peu connus pour leurs facultés athlétiques tandis que des espèces de chiens et de félins sont capables d'aller deux fois plus vite. En biologie comparative, les chercheurs ont l'habitude de réinterpréter les aptitudes à l'œuvre dans l'espèce humaine au regard de ce qui caractérise les animaux. Ainsi de nombreuses études ont été menées pour essayer de comprendre les différences d'accélération ou de vitesse de déplacement au sein des différentes espèces (6, 8, 9). Elles mirent au jour plusieurs caractéristiques et tout d'abord, chez les quadrupèdes, l'avantage énorme de posséder un centre de masse très bas et situé en avant des appuis des pattes arrière. La poussée s'oriente plus horizontalement comme le montrent les flèches blanches, alors que la composante verticale est plus importante chez les humains. De plus, ces animaux sont dotés de masses musculaires très importantes au niveau des extenseurs de hanche (l'équivalent de nos fesses) et l'extrémité de leurs membres sera la plus légère possible. Au bout des pattes, on ne trouve quasiment plus que des tendons et des os pour transmettre les forces générées par des groupes musculaires à distance. Pour les bipèdes, l'équation est un peu plus difficile à résoudre dans la mesure où le centre de masse se trouve forcément à l'aplomb des appuis. Ceci dit, on trouve de bons coureurs dans la catégorie. Des études menées sur des émeus (sortes de petites autruches) et des dindes (6) montrent que leur grande capacité d'accélération est le résultat d'une très bonne efficacité dans l'orientation horizontale des forces au sol et d'une musculature prédominante des extenseurs de hanches (6). Comme Usain Bolt?



Le secret de la vitesse réside dans la répartition des forces. Mais la bipédie contraint les meilleurs athlètes du monde (ici la Jamaïcaine Veronica Campbell-Brown double médaille d'or olympique sur 200 mètres) à conserver une composante verticale beaucoup plus importante que pour le premier lévrier venu.

Alors, qui a raison et qui a tort? La réponse devrait ne frustrer personne... Les deux! En fait, l'étude américaine ne considérait que la vitesse maximale. A Saint-Etienne, on s'intéressait également à l'accélération. Or il apparaît que, si la poussée verticale est primordiale pour tenir plusieurs secondes à vitesse élevée, l'orientation de la poussée prime dès lors qu'il s'agit d'accroître sa vitesse. Dès la première expérience, l'ADAL 3D avait donc permis de changer l'approche biomécanique du sprint et peut-être d'orienter différemment les programmes d'entraînement à l'avenir. Seule petite réserve: les conclusions de l'étude menée par Peter Weyand aux Etats-Unis incluaient les trois médaillés du 100 mètres des Jeux d'Atlanta en 1996 (Bailey, Fredericks, Boldon). La nôtre reposait sur un groupe d'athlètes de moyen niveau qui n'incluait pas de vrais spécialistes. C'est alors que nous eûmes

l'honneur et le plaisir de collaborer avec Pierre Carraz et ses sprinteurs de l'AS Aix-les-Bains, dont un certain Christophe Lemaitre, triple champion d'Europe sur 100, 200 et 4 x 100 mètres. Au printemps 2011, la star est venue accompagnée de ses partenaires d'entraînement dont trois athlètes de niveau national et même international. On avait aussi réuni neuf étudiants en sciences du sport, en bonne forme physique mais non-spécialistes de sprint (5). Le but était d'identifier les paramètres mécaniques pour lesquels Christophe Lemaitre montrait une différence (ou pas) avec les autres sujets testés, notamment au regard de cette opposition entre production et orientation de la force. Les résultats ont confirmé de façon très claire l'hypothèse née dans l'étude précédente. En moyenne, sur les 6 secondes de sprint sur tapis, Christophe Lemaitre produisait, lors de chaque appui, une quan-

tité de force totale égale à 1,9 fois le poids de son corps, ce qui était très proche de la capacité de ses collègues sprinteurs (1,83 en moyenne) et environ 14% plus élevé que pour les non-spécialistes. En revanche, la composante horizontale de cette force était bien plus importante chez lui que chez les autres spécialistes (environ 12% de force horizontale en plus) et que chez les non-spécialistes (+ 22%). Enfin, l'efficacité d'application de la force, quantifiée par l'évolution du ratio force horizontale/force totale tout au long de l'accélération était 40% meilleure chez Lemaitre par rapport aux autres sprinteurs et quasiment le double de celle des étudiants. Pour l'anecdote, certains d'entre eux étaient pourtant capables de produire autant voire plus de force totale que Lemaitre. Mais avec une efficacité déplorable.

(*) Au stade actuel de développement, on reste néanmoins limité à des vitesses réduites d'environ 20% par rapport à la piste.



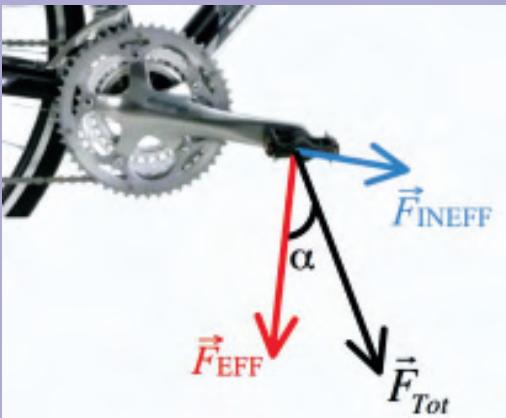
Le coup de la trottinette

Musculairement parlant, Christophe Lemaitre ne se distingue en rien des autres sujets de l'étude. Au niveau des quadriceps, par exemple, il s'inscrirait dans la bonne moyenne d'un groupe de joueurs de Ligue 2 en football. Rien de plus. Alors qu'est-ce qui lui vaut d'être tellement plus rapide? Comme tous les surdoués qu'on interroge sur l'origine de leur talent, il se révèle totalement incapable de répondre à cette question. Seule une analyse précise de son

mouvement permettrait d'objectiver sa différence et peut-être de prendre conscience du même coup d'un certain nombre d'erreurs commises par le passé. Au cours des dernières décennies, on a porté énormément d'attention au renforcement du quadriceps et du triceps dans le but de développer les forces d'extension du membre inférieur en phase de poussée. De ce fait, on a peut-être un peu perdu de vue un groupe essentiel à la performance: les extenseurs de la hanche. Ce sont les muscles fessiers et ischio-jambiers qui

ELÉMENTAIRE MON CHER CAVENDISH

coureur cycliste ne saute pas aux yeux. Pourtant, ces deux disciplines présentent des similitudes dans la façon dont on conçoit l'efficacité gestuelle. Jusque dans les années 80, le pédalage était considéré comme un mouvement relativement rudimentaire qui ne justifiait aucune recherche. Puis on s'est aperçu que pour aller vite, il ne suffisait pas d'appliquer des forces importantes au pédalier, encore fallait-il qu'elles soient orientées efficacement, c'est-à-dire avec un angle le plus proche possible de 90° par rapport à l'axe de la manivelle (1). La figure suivante montre que si la force résultante (ou totale) est appliquée avec une autre orientation que perpendiculairement à la manivelle, une partie de cette force produite par les muscles sera irrémédiablement perdue. Dès lors, les chercheurs ont pris l'initiative de diviser la force efficace (celle orientée perpendiculairement à la manivelle) par la force résultante (celle produite par nos muscles) afin d'établir un ratio pour traduire l'efficacité du pédalage. Bien entendu, les cyclistes de haut niveau possèdent généralement une efficacité de pédalage élevée, même si les uns tournent les jambes beaucoup plus vite que les autres. Bref, un mouvement en apparence enfantin relève en réalité d'une complexité folle et les ingénieurs n'ont pas fini de s'arracher les cheveux pour essayer de trouver la bonne formule! Une question très similaire se pose aussi en course à pied (4). Là encore, il faut distinguer les forces efficace et résultante. Comme en vélo, on peut alors établir le ratio de la force de réaction du sol horizontale (F_{HZT}) qui propulsera le coureur vers l'avant et la force totale de réaction du sol (F_{Tot}) qui correspond à la totalité de ce qui a été produit par les muscles. Ici s'arrête cependant l'analogie. Car en course, l'autre composante (verticale: F_{VTC}) n'est pas inutile, elle sert tout simplement à maintenir le corps en appui au sol! Ainsi au maximum lors de sprints départ debout, nous avons observé des efficacités de l'ordre de 50%, c'est-à-dire que la moitié de la force développée doit être orientée vers le haut. Au départ, l'utilisation des starting blocks améliore d'ailleurs les choses en portant ce ratio à plus de 75%. A chaque pas, on doit ainsi définir l'angle idéal de poussée. En vulgarisant un peu, on pourrait même dire que la «technique» à laquelle se réfèrent les entraîneurs réside dans les variations de cet angle à tout au long de la course.



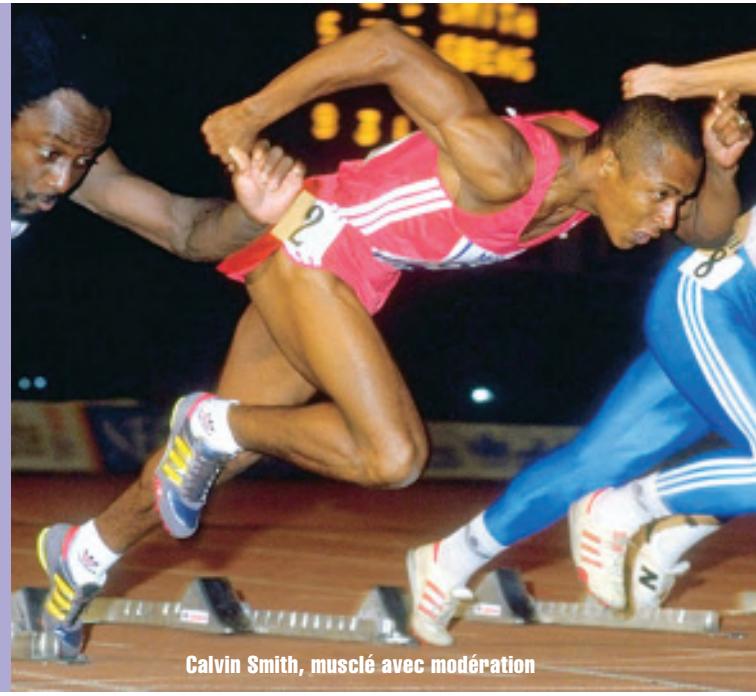
Efficacité d'application de la force: pédalage et sprint en course à pied.

En noir: le vecteur représentant les forces totales appliquées sur la pédale ou sur le sol. En rouge: le vecteur illustrant la composante efficace de cette force totale. En bleu: le vecteur représentant l'autre composante.



ISAAC NEWTON ET LES SPRINTEURS

tous très baraqués et l'on pensait qu'il fallait absolument passer par là pour rivaliser avec les cadors de la discipline. Christophe Lemaitre est venu rappeler qu'au cours de l'histoire, on a connu des sprinteurs moins musculeux et pourtant très rapides, comme l'était l'Américain Calvin Smith ou l'Italien Pietro Mennea. Pour comprendre comment ces gabarits si différents peuvent cohabiter, il suffit de faire un peu de physique et de se remémorer une des lois fondamentales de la dynamique (dite «*2^{me} loi de Newton*»): le fameux $F = M \times a$. (F = Force, M = masse, a = accélération). A force égale, l'athlète le plus léger sera toujours le plus rapide. Cela ne vous paraît pas très convaincant? C'est vrai que lorsqu'on regarde le gabarit des meilleurs sprinteurs, on en viendrait presque à douter de la théorie de Newton. Mais on aurait tort! En réalité, ces athlètes sont extrêmement secs. Leur masse grasse est à peine plus élevée que celle d'un marathonien. La différence réside dans le volume musculaire qu'ils développent de façon considérable en faisant le pari que le surcroit de puissance offre un avantage qui compense utilement le handicap du poids. Tout le problème consiste à trouver la juste mesure. Il ne faudrait pas s'encombrer de muscles inutiles à la progression, ce qui est le sort de ceux qui font énormément de travail en salle, surtout lorsqu'ils couplent ces efforts avec la prise d'anabolisants. On risquerait alors de se retrouver dans la situation de ces taureaux déficients en myostatine qui impressionnent par leur musculature rebondie mais s'avèrent incapables de se dresser sur leurs pattes arrière pour couvrir les femelles.



Calvin Smith, musclé avec modération

permettent de tirer le membre inférieur vers l'arrière. Rien de mieux pour le comprendre que d'imaginer un sprint en trottinette: si vous voulez aller vite, il faut absolument une action violente de la jambe libre qui pousse le sol vers l'arrière. Cela ressemble à un coup de griffe asséné par un membre qui se trouve quasiment en position tendue au moment de l'appui. Dans ces conditions précises, le quadriceps endosse un rôle mineur comparé aux fessiers et ischio-jambiers. Ainsi il est fort probable que les athlètes aux muscles extenseurs de hanche les plus puissants excelleront en trottinette, alors que ceux qui poussent fort mais mal, c'est-à-dire verticalement, n'aboutiront à rien et feront même décoller leur trottinette à chaque impulsion!

De là à dire que le test de la trottinette pourrait être un moyen efficace de juger de la technique des athlètes...

Nous n'en savons rien! Mais sur le plan mécanique, une telle hypothèse aurait du sens.

En attendant Usain Bolt

En quelques mois de précieux services, l'ADAL 3 dans sa version «*sprint*» a déjà permis de dé poussier pas mal d'anciennes connaissances et il est probable qu'à l'avenir, la machine aide à l'émergence de nouvelles méthodes de préparation dans les disciplines sportives impliquant des courses brèves et intenses. Peut-être permettra-t-elle-même de mieux prévenir, par des exercices de renforcement spécifique, les nombreuses blessures qui frappent les spécialistes surtout au niveau des ischio-jambiers très durement sollicités dans ces disciplines. D'autres approches affineront encore l'analyse. Dans le cadre d'une étude menée avec nos collègues de l'INSEP, une ingénieuse disposition de plateformes de force placées sous une piste d'athlétisme classique vise là encore à mesurer précisément l'efficacité d'application de la force tout au long d'une accélération avec départ en starting-blocks. Ces données seront prochainement publiées. Bref le brouillard qui enveloppait encore l'extraordinaire vélocité de Christophe Lemaitre et des autres sprinteurs qui, comme lui, ne dégagent pas une énorme impression de puissance est en passe de se dissiper. En conclusion, on peut courir le 100 mètres en 9,92 secondes et figurer au top 5 mondial du sprint, et ne pas être capable de créer beaucoup plus de force avec ses membres inférieurs qu'un étudiant non-spécialiste de sprint, ou un cycliste qui n'a jamais vraiment

poussé de fonte à condition que ce «*peu*» de force soit appliqué au sol et transmis avec une efficacité extraordinaire. L'idéal serait évidemment de jouer sur les deux tableaux: produire beaucoup de force et l'orienter efficacement. Et si Usain Bolt était à ce jour le meilleur à ce petit jeu? Par le biais de cet article, nous lui lançons officiellement une invitation à se faire tester dans notre laboratoire. Bienvenue à Saint-Etienne!

Jean-Benoît Morin, enseignant-chercheur à l'Université de Saint-Etienne.

BIBLIOGRAPHIE

1. Davis RR, Hull ML (1981) *Measurement of pedal loading in bicycling: II. Analysis and results*. *J Biomech*. 14:857-872.
2. Millet G, Goetghebuer G (2012) *Une petite leçon d'économie*. *Zatopek Magazine*. N°20.
3. Morin JB, Samozino P, Bonnefoy R, Edouard P, Belli A (2010) *Direct measurement of power during one single sprint on treadmill*. *J Biomech*. 43:1970-1975.
4. Morin JB, Edouard P, Samozino P (2011) *Technical ability of force application as a determinant factor of sprint performance*. *Med Sci Sports Exerc*. 43:1680-1688.
5. Morin JB, Bourdin M, Edouard P, Peyrot N, Samozino P, Lacour JR (2012) *Mechanical determinants of 100-m sprint running performance*. *Eur J Appl Physiol*. In press.
6. Roberts TJ, Scales JA (2002) *Mechanical power output during running accelerations in wild turkeys*. *J Exp Biol*. 205:1485-1494.
7. Tomazin K, Morin JB, Strojnik V, Podpecan A, Millet GY (2012) *Fatigue after short (100-m), medium (200-m) and long (400-m) treadmill sprints*. *Eur J Appl Physiol*. 112:1027-1036.
8. Walter RM, Carrier DR (2009) *Rapid acceleration in dogs: ground forces and body posture dynamics*. *J Exp Biol*. 212:1930-1939.
9. Walter RM, Carrier DR (2007) *Ground forces applied by galloping dogs*. *J Exp Biol*. 210:208-216.
10. Weyand PG, Sternlight DB, Bellizzi MJ, Wright S (2000) *Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements*. *J Appl Physiol*. 89:1991-1999.