

Comment font les champions pour ne pas (trop) souffrir?

Une glaçante contre-enquête

Le smartphone au service de l'entraînement

On a testé l'électro- stimulation!

Calculez votre poids idéal

LOGICIEL GRATUIT
sur sport-et-vie.com

ERANCS METRO € 50 € - NOV 750 € - ESPINAR/VALLE DE LOS VIEJOS € 100 € CAD - NPA/S 990 CEP - PULS 1050 REP

L 12403 - 159 - F. 6.50 € - RD



Les smartphones permettent aujourd'hui de mener des recherches en biomécanique qui autrefois nécessitaient l'accès à un laboratoire de pointe. Comment profiter pleinement de ces nouvelles fonctionnalités?

Silence, on tourne

Tout a commencé en Formule 1 avec la mise au point d'un système de transmission de données qui permettait de suivre quasiment en direct l'évolution de différents paramètres comme la température du moteur ou l'état des réserves de carburant. Ensuite, on a utilisé le même réseau pour transmettre des infos qui ne concernaient plus seulement la machine mais aussi le bonhomme au volant. On obtenait ainsi des graphiques très intéressants sur sa fréquence cardiaque dans un tour de qualification (autour de 140) ou sur ses mouvements respiratoires en fonction du tracé du circuit (les pilotes bloquent complètement leur respiration dans les freinages et les virages délicats). Les sports moteurs furent donc pionniers dans le paramétrage de la performance et le suivi à distance. La technologie essaima ensuite vers d'autres disciplines. Notamment

le football. A présent, on peut presque tout savoir des mouvements d'un joueur à l'issue de la rencontre: le nombre d'interventions, les zones de terrain qu'il couvrait, le pourcentage de passes réussies ou ratées, les distances parcourues. Tout, disions-nous. En cyclisme et en course à pied, ces appareils connurent aussi un immense succès et prêtent désormais à de nouvelles formes de compétitions ou de défis entre amis sur celui qui fera, par exemple, le plus de kilomètres dans une période de temps donnée. On roule, on court. Aussitôt après, on reporte les paramètres de la séance sur les réseaux sociaux via des sites de partage comme Garmin Connect ou Strava. On ne s'en est pas forcément rendu compte sur le coup, mais ces technologies ont profondément modifié les pratiques sportives. Et ce n'est pas fini! La banalisation des GPS et l'amélioration formidable de la résolution des

images prises par les smartphones ouvrent désormais un vaste champs de recherche aux applications en cinématique. Ces appareils de poche peuvent tout à fait rivaliser aujourd'hui avec les outils perfectionnés des laboratoires de recherche en biomécanique. A condition de bien les utiliser, évidemment.

Marey n'en croirait pas ses yeux

Le mot *cinématique* désigne l'étude des corps en mouvement. Chaque fois qu'on aborde ces matières dans un livre ou dans un article, l'auteur se fend d'un petit hommage au père de la discipline, le Français Etienne-Jules Marey. Et ce n'est que justice! On doit notamment à Marey d'avoir écrit un ouvrage majeur intitulé *Le Mouvement*. Cela date de 1894. Mais les spécialistes considèrent aujourd'hui encore cette publication comme

L'œuvre fondatrice d'une nouvelle science: la chronophotographie ou l'art d'immortaliser les instants les plus furtifs! Le texte s'accompagnait de clichés extraordinairement précis avec des décompositions de gestes comme le vol d'un oiseau, le galop d'un cheval ou la course d'un humain. Très surprenant! Marey faisait preuve d'une ingéniosité folle. A l'époque, il avait trouvé le moyen de tirer jusqu'à 24 images par seconde, levant ainsi le voile sur des détails d'organisation parfaitement invisibles à l'œil nu. Pour toutes ces raisons, Marey est souvent présenté comme l'un des précurseurs du cinéma scientifique, voire du cinéma tout court. Que dirait-il aujourd'hui en découvrant les fonctionnalités des nouveaux smartphones et tablettes capables de capter jusqu'à 240 images par seconde? C'est dix fois plus qu'à son époque. Extraordinaire! D'autant que ces appareils sont d'une incomparable facilité d'utilisation. Un enfant de 8 ans mis aux commandes se débrouillera très aisément alors que, pour une qualité d'image comparable, jusqu'il y a peu, il fallait impérativement se rendre dans des laboratoires spécialisés. La biomécanique s'est mise ainsi à la portée de tous. Ce qui ne veut pas dire que tout le monde peut désormais s'instituer biomécanicien. Cela demande des compétences, tout de même. De façon générale, les progrès technologiques n'ont rien à la complexité du vivant et ne seront d'aucune utilité si on ignore parallèlement la signification de ce que l'on est en train de mesurer. Grâce à la recherche en sciences du sport, ces avancées technologiques coïncident avec la mise au point d'applications conçues pour faciliter le travail d'interprétation. De paramètres relativement simples, on peut déduire un tas d'informations pour



Le docteur Etienne-Jules Marey (1830 - 1904) était un homme passionné par la nature des êtres et plus

LE DÉCOUPEUR DU TEMPS

précisément par leur façon de se mouvoir. «Est-ce qu'un cheval au galop passe par un instant de suspension ou garde-t-il toujours une jambe en contact avec le sol?» Voilà le genre de problème dont il se délectait. Pour y répondre, il n'hésitait pas à inventer un tas de dispositifs ingénieux qui déblayèrent de façon très précieuse le terrain de l'imagerie scientifique. Successeur de Claude Bernard à la présidence de l'Académie des Sciences, il était à rigoureux dans son travail de recherche qui englobait aussi des découvertes sur des

maladies comme le choléra, l'utilisation thérapeutique de l'électricité ou les lois de l'hydrodynamique. Mais il n'hé-

sitait pas à glisser une touche de poésie ou d'humour dans ses travaux. On lui doit par exemple le premier *lightpainting* de l'histoire. En 1882, il avait signé de son nom une plaque photographique en déplaçant une grosse boule blanche devant l'objectif. Enfin, il était bon fils et rapportait méticuleusement à sa mère l'état d'avancement de ses travaux. On retrouve quelques unes de ces belles lettres dans son ouvrage majeur, *Le Mouvement*, heureusement réédité en 2002, aux Editions Jacqueline Chambon.

analyser la performance et réorienter éventuellement l'entraînement. La durée d'un saut par exemple. Elle permet d'établir des comparaisons entre athlètes ou, pour une même personne, de comparer les qualités des jambes droite et gauche. Pour connaître la force et la vitesse, il suffit de télécharger des applications qui font les calculs à votre place, en une fraction de seconde et sans

risque d'erreur. Nous en présentons quatre ci-dessous qui, pour un coût relativement faible (entre 2 et 10 euros), sont parfaitement fiables et ont d'ailleurs été validées scientifiquement ou sont en passe de l'être! De plus en plus populaires dans les structures sportives, elles permettent de mesurer des variables de la performance sportive jusqu'ici très compliquées à mettre en lumière.

Les applications présentées dans cet article possèdent divers avantages. A commencer par leur prix: à peine quelques euros. A ajouter bien sûr à celui du smartphone ou de la tablette sur laquelle elles tournent. Elle sont aussi très faciles

d'utilisation et fournissent des données parfaitement fiables dans les différents domaines de l'entraînement. Tout ce que recherchent les préparateurs physiques. Cela marque un net changement par rapport à la situation précédente. Autrefois, l'accès à ces variables biomécaniques était réservé à une élite qui pouvait se permettre de mobiliser des experts et leur coûteux matériel. Et les autres? La plupart du temps, ils étaient réduits à se fier uniquement au flair de leur entraîneur pour repérer les failles éventuelles de leur organisation gestuelle et, si certains semblent effectivement doués d'un sixième sens, des détails que la technologie aurait facilement pu mettre en évidence restaient parfois dans l'ombre pendant très longtemps et les handicapaient. Disons alors que ces applications remettent les compétences à niveau. Quant à leur principale

TOUT POUR LA POMME

limite, ce sera (à l'heure actuelle) de n'être disponibles que sur environnement Apple. Deux raisons prévalent à ce choix. Tout d'abord, les appareils récents de la marque (iPhone et iPad) intègrent le ralenti vidéo à 240 images/sec, ce qui condi-

tionne la précision des mesures et calculs. Or ce n'est pas encore le cas de tous les autres appareils sur le marché. Ensuite, étant développées par des chercheurs en sciences du sport et codeurs amateurs de façon indépendante, l'environnement Apple assure la stabilité de ces applications sur tous les supports de la marque, alors que ce serait beaucoup plus difficiles à faire sur d'autres plateformes. Plusieurs centaines d'appareils différents tournent sous Android par exemple, ce qui complique le travail. Au passage, on fera aussi remarquer que cela diminue fortement le risque de piratage. Néanmoins, les bases scientifiques des mesures étant toutes publiées et disponibles, rien n'empêche les allergiques à la pomme de se mettre au travail lorsque les ralentis vidéo des concurrents d'Apple permettront une précision équivalente. Avis aux amateurs.

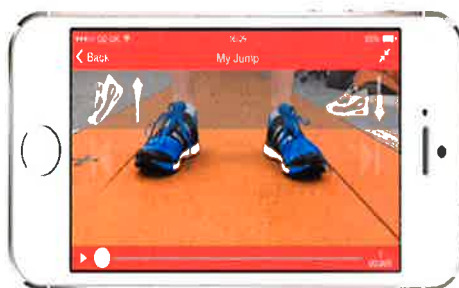
Earvin Ngapeth,
rendez-vous à 3,60 mètres.



MyJump

Les performances sportives sont très dépendantes de la puissance, c'est-à-dire la quantité d'énergie que la personne est capable de conférer à un objet (javelot, disque, ballon, haltère) en un temps donné. Cette puissance se révèle tout aussi déterminante dans les courses et les sauts. L'application *My Jump* vise à l'évaluer le plus précisément possible sur base de simples sauts verticaux (1, 2, 3, 4). Pour cela, on filme les pieds de l'athlète. Puis on visionne le saut, image par image, on tapote sur l'écran lorsque les pieds quittent le sol. On recommence lorsque les pieds touchent le sol à l'atterrissage quelques dixièmes de seconde plus tard. L'application compte le nombre d'images entre les deux événements et en déduit le temps passé en l'air. Les lois de la chute des corps font le reste. Merci Galilée. Merci Newton. Pour connaître la puissance, il suffit d'introduire la masse de l'utilisateur. Pour obtenir son profil force-vitesse, il faut réaliser quelques sauts supplémentaires (entre 3 et 5) avec différents niveaux de charge sur les épaules et l'on verra alors ces deux valeurs varier à contrario de façon très révélatrice de ses forces et faiblesses. On pourra ainsi compa-

rer ces performances avec les performances idéales (indiquées en rouge sur le schéma) telles que nous avons pu les calculer en utilisant des modèles biomécaniques validés. Un gros écart justifiera alors une correction par des programmes de musculation adéquats. L'application sert ainsi à établir des prescriptions personnalisées. Avec possibilité évidemment d'archiver toutes les données de façon à pouvoir objectiver les progrès.



Ci-dessus. mesure de la hauteur de saut avec l'application *My Jump*, il suffit de tapoter l'écran en visionnant le saut au ralenti quand les pieds décollent et reviennent au sol. Un jeu d'enfant.

A droite. Après quelques sauts supplémentaires avec charges additionnelles, l'application calcule le profil musculaire force-vitesse complet de l'athlète, et surtout, indique la piste de travail pour améliorer la performance en saut de façon individualisée. Ici la puissance maximale de l'athlète est de 23,7 W/kg et le déséquilibre force-vitesse (écart entre le profil réel en noir et le profil idéal, en rouge) indique qu'un travail de force sera nécessaire pour rééquilibrer le profil. Il ne reste plus qu'à travailler!

Ce système a déjà été adopté par la fédération française de volleyball et de nombreux clubs de volley et de basket-ball (5,6). C'est tellement simple et économique qu'une validation rigoureuse était nécessaire, pour rassurer chercheurs et entraîneurs à qui la culture technologique impose qu'un outil précieux doit être nécessairement coûteux. Et vice-versa. Ce travail a été effectué par Carlos Balsalobre-Fernandez qui a comparé la hauteur du saut donnée par l'application *My Jump* à celle calculée par la Rolls des outils de mesure en biomécanique: la plateforme de force. L'expérience conclut à la parfaite fiabilité de l'application, un résultat salué dans le célèbre *British Journal of Sports Medicine* (7,8).



MySprint

Après l'analyse de la performance lors d'impulsions brèves, passons à présent aux capacités d'accélération horizontale. Autrement dit le sprint. On reprend ici la même idée simple de filmer un mouvement sportif puis de visionner le ralenti. L'application *My Sprint* propose alors de toucher l'écran au moment précis du passage devant des repères placés tous les 5 mètres par exemple sur un sprint de 30 mètres, départ arrêté. Il faudra faire attention à corriger d'éventuelles erreurs de parallaxe. Pas de lézard. Tout est bien expliqué dans les consignes qui accompagnent les

algorithmes. Ensuite, *My Sprint* fournit les données sur les vitesses mais aussi la force et la puissance. Elle révèle même les orientations de poussée. Autant de données biomécaniques qui sont déterminantes en matière de performance. Pour une même accélération, certains joueurs de l'équipe de France de rugby à 7 présentaient des caractéristiques très différentes. Certains avaient une poussée efficace (orientée vers l'avant) mais manquaient de force, alors que d'autres avaient une force musculaire impressionnante mais une poussée sur le sol très peu efficace. Ces informations

sont précieuses pour orienter l'entraînement de chaque joueur selon son profil et ne nécessitent que de connaître la masse et la taille des sujets (9). Ces approches individualisées de l'entraînement en force-vitesse-puissance ont fait l'objet de publications récentes. Comme pour *My Jump*, la validité de *My Sprint* a été testée en comparant les données de l'appli aux mesures de référence en matière de sprint: les temps mesurés par cellules photo-électriques et par radar (10). Comme pour *My Jump*, les résultats prochainement publiés indiquent une concordance presque parfaite.

A gauche. Identification des temps de passage tous les 5 mètres avec l'application *MySprint*, il suffit de cliquer sur l'écran en visionnant le passage du bassin dans l'axe du piquet.

A droite. Après avoir identifié tous les temps de passage, l'application calcule le profil musculaire force-vitesse en sprint de l'athlète, ainsi que son efficacité mécanique (la façon dont il oriente la force lors de la poussée au sol). Comme pour *MyJump*, les données sont stockées dans le dossier de l'athlète et prêtes à être envoyées par email sous forme de tableau pour d'éventuelles analyses plus approfondies, ou un suivi de l'entraînement.



Téléphone!

Runmatic

Les coureurs de fond préféreront sans doute cette troisième application qui permet d'établir une analyse biomécanique de la foulée. Cette dernière est souvent décrite par le modèle «masse-ressort»: le coureur est mécaniquement assimilé à une masse qui rebondit à chaque pas sur un ressort. Aussi simple qu'il puisse paraître, ce modèle traduit correctement la mécanique globale du corps lors de la course. Sur la base de la mesure du temps de contact au sol et de vol, des recherches ont permis le calcul des principales caractéristiques de la foulée: force d'appui au sol,

abaissement du centre de masse à chaque pas et raideur musculo-tendineuse du membre inférieur (11,12). Ces variables, ainsi que les différences et asymétries entre jambe droite et gauche étaient habituellement mesurées sur tapis instrumenté en laboratoire, ou à l'aide d'outils de terrain relativement lourds à mettre en place et surtout très coûteux. Le principe consiste à filmer de dos la foulée du coureur sur tapis. L'application Runmatic procède alors au calcul de tous ces paramètres, ainsi que leur suivi dans le temps, et donc leur évolution avec l'entraînement, voire avec le développement de pathologies liées à la course. Pour cela, même procédure: un ralenti vidéo, quelques touches sur l'écran lorsque les pieds entrent en contact avec le

sol et le quittent. Et le tour est joué. Un des modules les plus intéressants de l'application permet un suivi dans le temps de l'évolution des paramètres de la foulée, afin par exemple de voir les effets de l'entraînement. Les changements d'une mesure à l'autre sont calculés et indiqués à l'utilisateur, ce qui permet par exemple de détecter une variation inexplicable dans la symétrie entre les deux jambes (souvent observée lors de pathologies du membre inférieur comme des périostites ou tendinites) avant même que le coureur n'ait conscience d'une quelconque douleur associée à une potentielle pathologie naissante. Comme précédemment, une validation a été effectuée en comparaison à des outils de référence, l'étude en cours d'expertise montrant de nouveau une précision très élevée.



A gauche. Identification des temps de contact du pied au sol et des phases de vol pour plusieurs pas consécutifs. **Au milieu.** L'application liste les différentes caractéristiques mécaniques de la foulée, pour chaque jambe, et calcule l'asymétrie entre la jambe gauche et la droite (ici concernant le temps de contact au sol). **A droite.** Le bilan de chaque mesure est affiché sur un seul écran, et un suivi dans le temps est effectué pour chaque profil d'utilisateur enregistré.

Les voyeurs
de la foulée





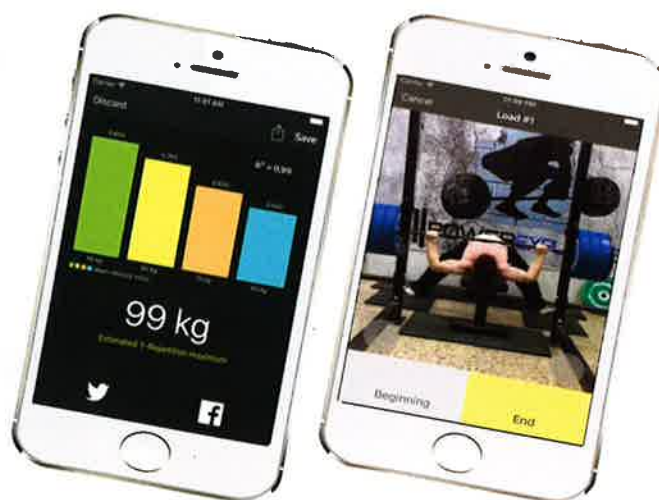
PowerLift

Décidément très actifs, nos collègues espagnols se sont enfin intéressés à un autre grand classique du suivi de l'entraînement: le calcul de la charge maximale en musculation (où 1 Répétition Maximale = 1RM). Cette valeur représente la charge que l'on ne peut soulever qu'une seule fois pour un exercice donné. Connaître cette valeur-record permet de fixer correctement les charges d'entraînement en pourcentage du maximum. Tous ceux qui font de la musculation savent bien de quoi on parle. Le problème réside souvent dans la détermination de cette charge 1RM. Le plus évident consiste évidemment à charger les barres jusqu'à ce qu'on ne puisse plus les lever. Fort bien. Mais cela nécessite de répéter les efforts et donc de fatiguer les muscles qui pourraient alors ne plus donner leur plein potentiel. De plus, cela prend du temps et, à force de manier de très lourdes charges, on court le risque de se blesser. D'autres méthodes ont donc été proposées pour déterminer le 1RM, notamment celle par extrapolation sur base d'une charge plus légère soulevée un grand nombre de fois. Exemple: un athlète est capable de soulever 10 fois une barre de 60 kilos au développé-couché. (NB: il faut qu'il échoue à la 11ème fois). On estime alors que cette charge -60 kg- représente 80% de son 1RM, qui sera donc estimé à environ

75 kg. Cette approche indirecte est pratique pour une estimation rapide, mais peu précise car basée sur des données issues de populations testées qui n'ont pas forcément les mêmes caractéristiques que tout utilisateur de ces méthodes indirectes. L'alternative PowerLift permet d'éviter ces deux écueils: le maniement des lourdes charges et les approximations. Là encore, on utilise la vidéo avec capture d'un mouvement de musculation effectué à pleine puissance. Sur la base du nombre d'images entre le début et la fin de la poussée, l'application calcule la vitesse moyenne d'ascension de la barre. Ensuite, comme pour MyJump, en réalisant plusieurs essais avec des charges sous-maximales, elle estime avec précision la charge maximale (1RM) qui pourrait être mobilisée. Cette approche se base sur le fait que la vitesse à laquelle chacun pousse une barre à son 1RM est assez stable et commune à tous les athlètes même si la charge, elle, varie du tout au tout. C'est même amusant de se dire que le vieillard cachectique dont toute la force est requise pour se soulever péniblement de son fauteuil exécutera ce geste à la même vitesse que l'homme le plus fort du monde auquel on aurait demandé de déplacer une grue. PowerLift se base ainsi sur la vitesse de déplacement de la barre pour déterminer la charge maximale, sans se soucier des forces produites (13,14). Simple, mais il fallait y penser!

**Jean-Benoît Morin (Université Côte d'Azur) et
Pierre Samozino (Université Savoie Mont Blanc)**

A gauche. Quatre charges sous-maximales ont été poussées chacune le plus vite possible lors de développés-couchés, et le calcul du 1 RM par l'application PowerLift permet une estimation à 99 %. A droite. Pour aboutir à ce calcul, il suffit de renseigner la masse soulevée, filmer le geste et indiquer à l'application le moment du début de la poussée et celui de fin de poussée. Le tour est joué!



Bibliographie

- (1) Morin J-B & Samozino P, Interpreting power-force-velocity profiles for individualized and specific training, dans *International Journal of Sports Physiology and Performance*, mars 2016.
- (2) Samozino P et al, Force-velocity profile: Imbalance determination and effect on lower limb ballistic performance, dans *International Journal of Sports Medicine*, juin 2014.
- (3) Samozino P et al, A simple method for measuring force, velocity and power output during squat jump, dans *Journal of Biomechanics*, octobre 2008.
- (4) Samozino P et al, Optimal force-velocity profile in ballistic movements-Altius: Citius or Fortius? dans *Medicine and Science in Sports and Exercise*, février 2012.
- (5) Broussal A et al, Jump performance and force-velocity profiling in high-level volleyball players: a pilot study, dans *Congress of the European College of Sport Sciences*, juillet 2016.
- (6) Jiménez-Reyes P et al, Effectiveness of an optimized training using Force-Velocity profile analysis, dans *Congress of the European College of Sport Sciences*, juillet 2016.
- (7) Balsalobre-Fernández C et al, The validity and reliability of an iPhone app for measuring vertical jump performance, dans *Journal of Sports Science*, janvier 2015.
- (8) Stanton R et al, My Jump for vertical jump assessment, dans *British Journal of Sports Medicine*, juin 2015.
- (9) Samozino P et al, A simple method for measuring power, force, velocity properties, and mechanical effectiveness in sprint running, dans *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, mai 2015.
- (10) Haugen T & Buchheit M, Sprint Running Performance Monitoring: Methodological and Practical Considerations dans *Sports Medicine*, mai 2016.
- (11) Morin J-B et al, A simple method for measuring stiffness during running dans *Journal of Applied Biomechanics*, mai 2005.
- (12) Morin J-B et al, Changes in running mechanics and spring-mass behavior induced by a mountain ultra-marathon race, dans *Journal of Biomechanics*, avril 2011.
- (13) Conceição F et al, Movement velocity as a measure of exercise intensity in three lower limb exercises, dans *Journal of Sports Science*, septembre 2015.
- (14) González-Badillo JJ & Sánchez-Medina L, Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training, dans *International Journal of Sports Medicine*, février 2010.

A lire

Force-Vitesse-Puissance: quel impact sur vos performances?
dans *Sport et Vie* n°122
Qu'est-ce qui fait courir Christophe?
dans *Sport et Vie* n°133