

POWER BALANCE
**Les dessous
du miracle**

CANCER ET SPORT
**Les analyses
qui font frémir!**

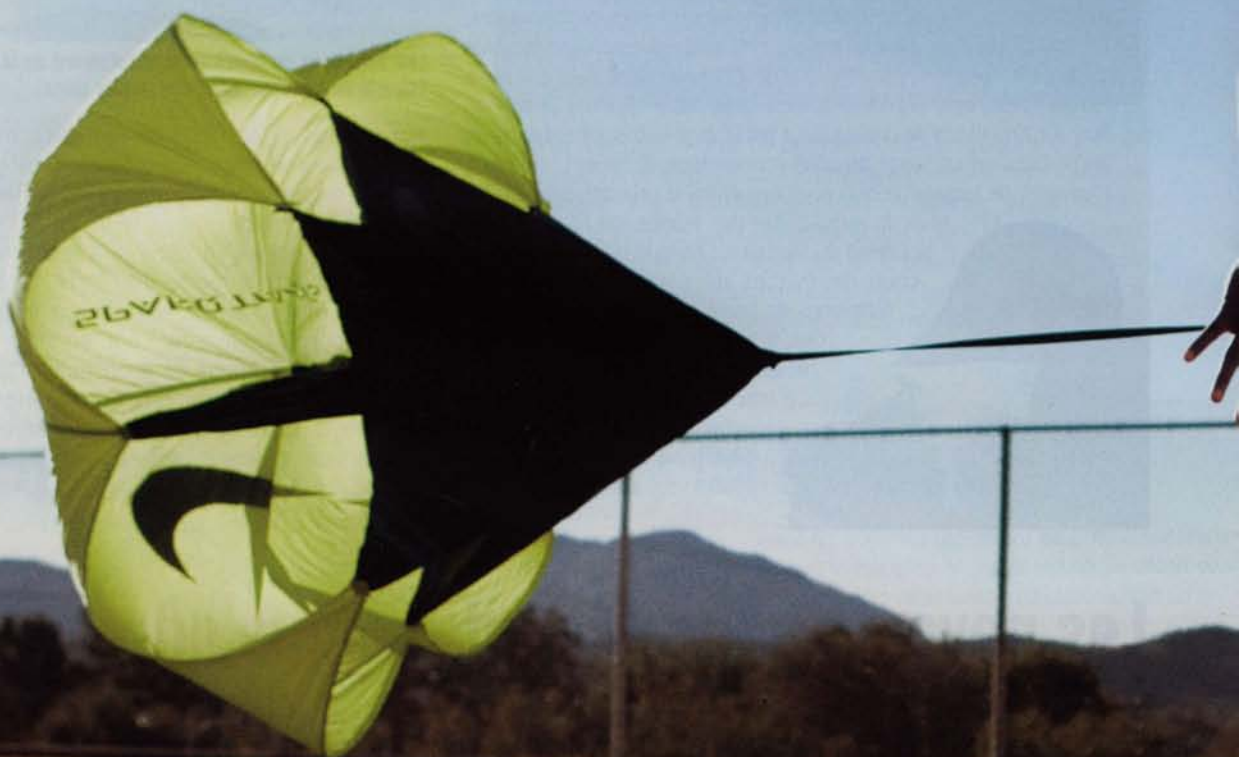
HISTOIRES VRAIES
**Ils ont tout quitté
pour le sport**

PSYCHOLOGIE
**L'expérience
inoubliable
de la "zone"**

FORCE VITESSE PUISSANCE
**Quel impact sur
vos performances?**



Qu'il s'agisse de courir vite, de sauter ou de lancer, la puissance est souvent présentée comme la principale qualité d'un athlète. Mais qu'est-ce qui se cache derrière cette puissance? De nouvelles méthodes d'analyse permettent aujourd'hui de déterminer avec précision la part de la force et celle de la vitesse.



Les dessous de la puissance



Pierre Samozino et Jean-Benoît Morin sont tous deux docteurs en biomécanique de la locomotion et de la performance au Laboratoire de Physiologie de l'Exercice (EA4338) et enseignants au département STAPS de l'Université de Saint-Etienne. La puissance, c'est leur dada!

Pourquoi prête-t-on tant d'importance à la puissance des athlètes? Dans la majorité des mouvements sportifs, le but final est d'accélérer une masse. Cette masse peut être le propre corps de l'athlète, c'est le cas lors d'un saut ou d'un départ de sprint. Ou il peut s'agir d'une masse extérieure: un disque, un javelot, une balle de foot ou de tennis. Les mouvements changent, mais l'objectif est le même: il faut toujours accélérer les masses. Il faut en outre que cela se fasse rapidement. Lors d'un sprint, par exemple, il faut atteindre sa vitesse maximale en quelques secondes seulement. Même problème pour le joueur de tennis. Avant de taper la balle, il n'a pas le temps de tourner trois fois sur lui-même comme un lanceur de marteau. Or qu'est-ce qui définit le rapport entre le temps (t) et l'énergie cinétique que l'on est capable d'insuffler à une masse (E)? C'est la puissance, précisément! La formule s'écrit: $P = E/t$. A partir de là, on comprend mieux qu'on considère la puissance comme le paramètre déterminant de la plupart des performances explosives.

Peut-on prédire une performance seulement sur la base de la puissance d'un athlète?

Il existe en effet des formules pour prédire par exemple les chronos des cyclistes dans les ascensions de cols en fonction de leur puissance (lire *Sport et Vie* n°109).

On sait aussi que la hauteur d'un saut vertical maximal sans contre-mouvement (ce que l'on appelle le *squat jump*) est fortement déterminée par la puissance maximale des membres inférieurs. Même chose pour le chrono sur les premiers mètres d'un sprint. Les meilleurs sprinteurs excellent d'ailleurs dans ce genre d'exercice. Pour autant, il ne faudrait pas croire que celui qui possède la meilleure

détente sèche au départ d'un 100 mètres sera forcément le premier à l'arrivée. D'autres paramètres entrent en ligne de compte.

De fait, on s'aperçoit que le gabarit des athlètes ne reflète pas toujours leur puissance intrinsèque. Je pense au joueur de tennis russe Nikolay Davydenko. Il fait 1,78 mètre pour 70 kilos, soit dix centimètres et une quinzaine de kilos en moins que la plupart de ses adversaires. Pourtant, il possède le coup droit le plus rapide du circuit.

C'est exact! Et on retrouve cela dans beaucoup d'autres sports. Prenons l'exemple de deux des meilleurs lanceurs de javelot en activité: le Norvégien Andreas Thorkildsen



Nicolay Davydenko, moins puissant que son coup droit!

(double champion olympique) et celui que tout le monde présente comme son dauphin, le Tchèque Petr Frydrych (meilleur performer de la saison). Thorkildsen pèse 90 kilos pour 1,88 mètre. C'est pas mal. Mais il paraît presque léger à côté de Frydrych qui, lui, fait 110 kilos pour une taille de 1,99 mètre, soit vingt kilos et onze centimètres de plus! Or ces deux athlètes se caractérisent vraisemblablement par un pourcentage de masse grasse très proche. Ce qui signifie que la différence de poids est essentiellement due à une musculature plus

développée chez Frydrych. Pourtant leurs performances sont équivalentes.

Comment l'expliquez-vous?

Parce que la puissance musculaire elle-même dépend de deux paramètres: la force et la vitesse. Or ces deux valeurs n'évoluent pas à l'unisson. Pour la force, c'est simple: elle dépend essentiellement du développement de la masse musculaire. Pour la vitesse, c'est un peu plus compliqué: il ne faut pas seulement l'interpréter comme la faculté d'aller vite, mais davantage comme la capacité de pouvoir continuer à produire de la force lorsque le mouvement est rapide. Prenons l'exemple du bobsleigh. Pour le pousser alors qu'il est encore immobile en haut de la piste, c'est assez facile. N'importe quel culturiste

peut le faire. En revanche, cela devient très difficile de continuer à lui insuffler de l'énergie alors qu'il gagne de la vitesse: 10, 20, 30 km/h. Il faut pour cela disposer de qualités athlétiques exceptionnelles. Celles-ci dépendent de nombreux facteurs physiologiques et morphologiques, et impliquent aussi une maîtrise parfaite de la commande nerveuse. Mais tout cela ne se voit pas de l'extérieur. Donc on peut estimer de façon assez fiable le niveau de force d'une personne rien qu'en regardant son gabarit. Mais on ne saura pas grand-chose de sa vitesse.

Est-il possible de mettre cela en équation?

Effectivement. Il existe une relation décroissante entre la force et la vitesse. Elle avait déjà fait l'objet d'observations *in vitro* sur des

muscles de grenouille dans les années 1930. Chez l'homme aussi, on peut illustrer cela assez facilement. Il suffit de changer les poids dans un exercice à la presse et d'enregistrer la vitesse maximale pour effectuer chaque mouvement. On obtient alors une relation force-vitesse (F-V) de type linéaire pour des mouvements pluri-articulaires impliquant différents groupes musculaires. En clair, plus ça va vite, moins nos muscles sont capables de produire de la force. On retrouve cela dans des mouvements plus complexes comme celui du pédalage (figure 1)

Qu'en est-il de la puissance?

Nous avons vu précédemment que la puissance était le produit de la force par la vitesse. Problème! Nos muscles sont incapables de



Athlète 1
86 kg
1,84 m

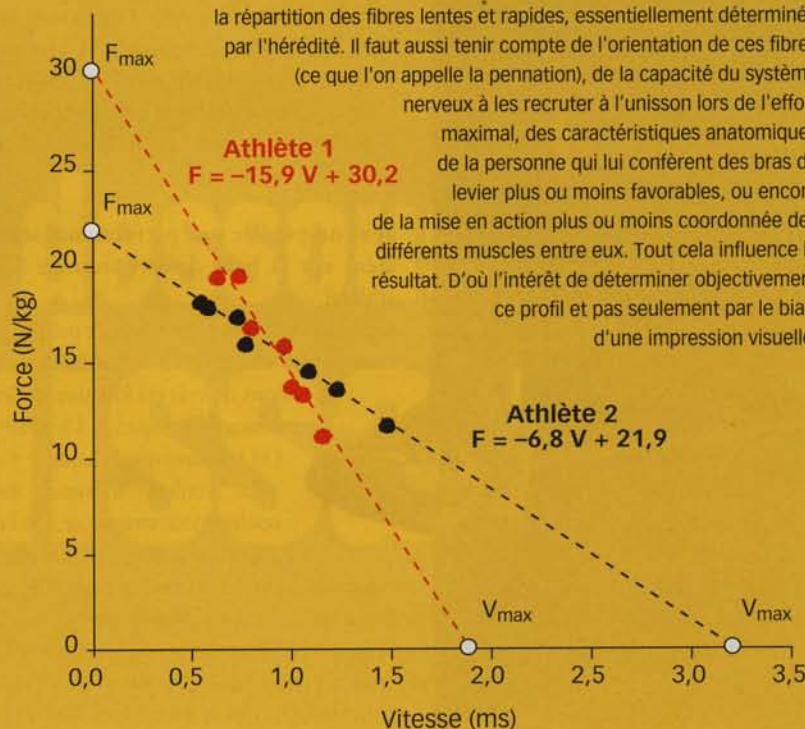


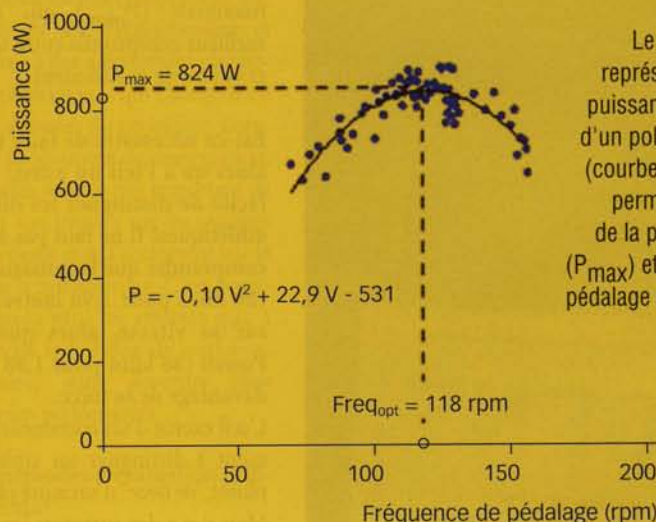
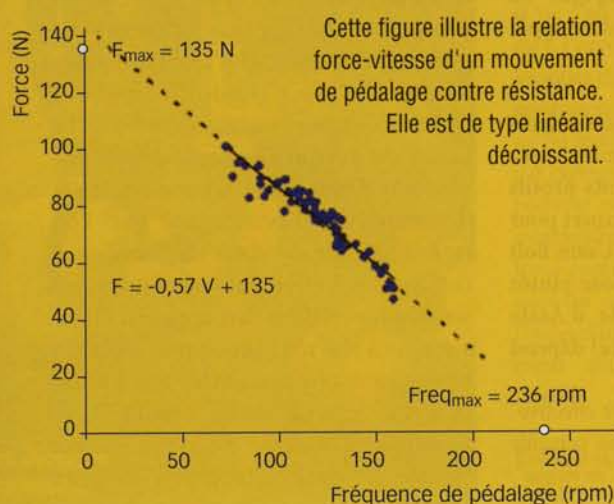
Athlète 2
102 kg
1,76 m

LES APPARENCES SONT PARFOIS TROMPEUSES!

Lorsqu'on pointe la décroissance de la force en fonction de la vitesse sur un schéma, on obtient une droite plus ou moins décroissante qui traduit le profil musculaire de l'athlète. Si la pente est raide, celui-ci sera plutôt de type musculeux, ce qui indique une priorité donnée à la force. Si la pente est faible, on peut s'attendre à une morphologie plus légère et des propriétés musculaires qui privilégient plutôt la vitesse. Très souvent, les données scientifiques viennent confirmer les impressions visuelles. Mais pas toujours! Ci-après, vous trouverez les résultats des tests de deux joueurs de rugby de haut niveau dans un exercice d'extension des jambes contre résistance. En se fiant au gabarit, on s'attendrait à ce que le premier, plus longiligne, excelle en vitesse et à ce que le second, plus musculeux, lui soit supérieur en force. Or l'analyse des résultats montre exactement le contraire. Surprenant? Oui et non. Car, si la force dépend effectivement des masses musculaires mises en jeu et plus particulièrement de la surface de section des muscles, d'autres qualités, invisibles

à l'œil nu, exercent, elles aussi, leur influence comme, par exemple, la répartition des fibres lentes et rapides, essentiellement déterminée par l'hérédité. Il faut aussi tenir compte de l'orientation de ces fibres (ce que l'on appelle la pennation), de la capacité du système nerveux à les recruter à l'unisson lors de l'effort maximal, des caractéristiques anatomiques de la personne qui lui confèrent des bras de levier plus ou moins favorables, ou encore de la mise en action plus ou moins coordonnée des différents muscles entre eux. Tout cela influence le résultat. D'où l'intérêt de déterminer objectivement ce profil et pas seulement par le biais d'une impression visuelle.





développer leur force maximale à grande vitesse. Reprenons l'exemple du pédalage et calculons à présent les puissances développées en multipliant la force par la vitesse à chaque point de la courbe. On obtient alors

une parabole en forme de "U" inversé (figure 2). Cela signifie que la puissance baisse aux extrêmes, c'est-à-dire lorsque la vitesse est très grande et que la force est très faible, ou inversement. Dans le cas présent, on obtient

le meilleur compromis autour de 118 rotations par minute. C'est là que les coureurs produisent le maximum de puissance.

Est-ce toujours le cas ou bien cela change-t-il en fonction des individus?

C'est précisément l'objet de nos recherches. Lorsqu'on répète ce type de mesures pour divers mouvements exécutés par différents athlètes, on constate de fortes variations dans la pente de la relation F-V, ce qui constitue une indication très intéressante pour caractériser les propriétés mécaniques de l'individu en question. Si la pente est importante, cela signifie qu'il privilégie la force dans l'expression de sa puissance. Si la pente est faible, il brille surtout par ses qualités musculaires de vitesse. On regarde alors comment cette relation évolue en fonction de l'entraînement et comment on peut éventuellement aménager les séances pour grappiller encore un peu de puissance utile dans l'exécution d'un geste.

Quels sont les paramètres que vous observez?

Ils sont au nombre de trois que l'on détermine sur base des relations F-V et puissance-vitesse. Ainsi le point d'intersection de la droite déclinante avec l'axe de la force correspond à la force maximale théorique (F_{\max}) exprimée en Newton (ou Newton par kilo de masse corporelle). Pour les spécialistes de la musculation, cette force correspond grosso modo à la charge très lourde qui permet l'exécution d'un seul mouvement: le fameux "1 RM" des programmes d'entraînement. L'intersection de cette même droite avec l'axe de la vitesse correspond à la vitesse maximale théorique (V_{\max}) exprimée en mètre par seconde. Celle que l'on est capable de déployer lorsque le mouvement ne rencontre aucune contrainte extérieure. Quant à la troisième mesure –la plus

« On peut estimer de façon assez fiable le niveau de force d'une personne rien qu'en regardant son gabarit. Mais on ne saura pas grand-chose de sa vitesse. »



Courage!
Il ne faut pas se fier
aux apparences.

URGENT

JH PRATIQUANT TRAILS
ET COURSES NATURE,
SUITE DOULEURS AU
TENDON D'ACHILLE,
CHERCHE PROTEC-
TION EFFICACE ET QUI
NE GÊNE PAS POUR
PRÉVENIR TENDINITE !
URGENT CAUSE ENTRAÎ-
NEMENT POUR TRAIL
DES TEMPLIERS.
ENCORE RIEN TROUVÉ
DE TEL...

connue- elle vise à déterminer la puissance maximale (P_{max}) qui correspond au meilleur compromis entre force développée et vitesse de mouvement.

Est-ce nécessaire de faire tous ces calculs alors qu'à l'œil nu aussi, il semble assez facile de distinguer les différents profils athlétiques? Il ne faut pas être expert pour comprendre que la puissance d'Usain Bolt (86 kilos pour 1,98 mètre) repose plutôt sur sa vitesse, alors que celle d'Asafa Powell (88 kilos pour 1,88 mètre) dépend davantage de sa force.

L'œil exercé d'un entraîneur arrive effectivement à distinguer un athlète qui travaille plutôt "en force" d'un autre plutôt "en vitesse". Mais il y a des surprises (voir encadré). De plus, cette approche apporte une rigueur et des mesures objectives à quelque chose qui restait jusqu'à présent d'ordre intuitif. Nous pensons que cette quantification objective peut se révéler très utile dans la programmation de l'entraînement.

Dans la pratique, comment peut-on procéder pour déterminer ces paramètres? Depuis les années 80, différentes méthodologies ont été adoptées en laboratoire. Soit on demandait aux athlètes de produire des efforts relativement brefs mais très intenses sur un ergocycle et on

changeait les résistances. Soit on leur demandait de passer à la presse et on mesurait en continu tous les paramètres grâce à différents types d'appareils: plate-formes de force, codeurs optiques, capteurs de vitesse ou accéléromètres. Le travail est devenu plus facile depuis une vingtaine d'années avec la banalisation des dynamomètres isocinétiques que l'on trouve désormais dans de nombreux centres d'entraînement, laboratoires et services hospitaliers. Ces appareils où on s'oppose à une résistance qui se déplace à vitesse constante permettent une évaluation très précise de la relation F-V. Evidemment, ce type d'exercice est très éloigné des conditions réelles du geste sportif. De fait, on ne rencontre presque jamais ce genre de contraintes isocinétiques dans la pratique sportive. Sauf peut-être lors d'un bras de fer. C'est pourquoi il faut toujours veiller à ce que le choix de la méthode d'évaluation dépende de ce que l'on veut connaître. Si l'objectif est l'optimisation de la performance, il vaut mieux s'intéresser aux capacités musculaires des membres impliqués dans leur globalité et donc se tester dans des mouvements proches du geste sportif. Si on s'intéresse aux caractéristiques purement musculaires, on optera alors pour une exploration par les outils de l'isocinétisme.

« L'œil exercé
d'un entraîneur
arrive à
distinguer
un athlète qui
travaille plutôt
"en force" d'un
autre plutôt
"en vitesse".
Mais il y a
des surprises. »



Powell et Bolt à l'œil nu



L'homme découvre l'isocinétisme.

Le résultat devrait être le même, non?

Pas forcément. En fait, cela dépend beaucoup des groupes musculaires mis en jeu. Puis il faut tenir aussi compte des aspects techniques. Si vous êtes cycliste, on peut supposer que vous êtes plus efficace dans le mouvement de pédalage qu'un coureur à pied, par exemple. Cela signifie que les forces exercées sur le pédalier le seront au moment le plus opportun et selon une orientation optimisée. La performance s'en ressentira quand bien même cela ne révélerait aucune supériorité sur le plan musculaire. Et bien sûr, cet avantage sera différent dès lors qu'on procèdera aux tests sur tapis roulant. Le fait de disposer de données objectives aide parfois l'athlète à corriger son mouvement afin de le rendre plus efficace.

A-t-on vraiment besoin de cela? Ne pensez-vous pas qu'on trouve naturellement le style qui convient le mieux à sa morphologie?

C'est possible. Beaucoup d'études montrent que nous possédons en nous cette forme d'intelligence gestuelle. Et c'est vrai aussi pour les animaux. Lorsqu'on met un cheval sur un tapis roulant, on s'aperçoit qu'il change d'allure au moment le plus propice. Lorsque, pour une vitesse donnée, le trot lui coûte moins d'énergie que le pas, il se met à trotter. Et on observe la même chose entre le trot et le galop. L'intuition est donc importante en biomécanique. Elle nous aide à trouver spontanément le meilleur

compromis. Il faut toutefois comprendre que la vie d'un athlète est faite d'entraînements et qu'il s'expose ainsi à des adaptations physiologiques et morphologiques qui changent en permanence les données du problème. Lorsqu'on établit un programme de musculation, par exemple, il nous semble très important de pouvoir estimer son impact sur les qualités musculaires de vitesse et pas seulement sur la force comme on le fait souvent. C'est pourquoi on ne compte plus les athlètes qui, à l'issue d'un travail spécifique de renforcement musculaire, sont devenus plus musclés... et moins performants.

Existe-t-il des méthodes d'évaluation utilisables sur le terrain?

La plupart des analyses impliquent effectivement de se déplacer en laboratoire. Il faut disposer d'un matériel de pointe assez coûteux et du personnel compétent pour le faire fonctionner et en interpréter les résultats. Cela limite les applications. Mais il existe aussi des méthodes d'évaluation utilisables sur le terrain comme la montée d'escaliers mise au point par Margaria ou le test de puissance de Bosco (lire encadré). Elles sont moins précises évidemment et surtout elles ne donnent que des informations sur la puissance de l'athlète et rien sur son profil F-V. Or on sait que ces deux paramètres ne varient pas forcément à l'unisson. Autrement dit, deux athlètes peuvent présenter la même P_{max} et avoir des profils F-V radicalement différents. Conscient de cette carence, le chercheur italien Carmelo Bosco (Université de Rome et également Docteur de l'université de Saint-Étienne) a proposé de caractériser cette notion de profil F-V en faisant le rapport de hauteurs atteintes lors de deux sauts réalisés l'un avec charge (100% de la masse corporelle), l'autre sans charge. Mais à notre connaissance, ce test est très peu utilisé. Pour les besoins de nos recherches, nous avons mis au point un protocole un peu différent mais qui vise le même objectif au même but (voir encadré).

Il s'agit toujours d'un test de détente.

Oui. Cet exercice est parfait parce qu'il implique tous les paramètres que nous cherchons à évaluer. Pour les amoureux du genre, voici, ci-dessous, la formule que nous avons obtenue.

$$h_{max} = \frac{h_{po}^2}{2g} \left(\sqrt{\frac{1}{4} \text{ pente}^2 + \frac{2}{h_{po}} (2\sqrt{-P_{max} \text{Pente} - g}) + \frac{1}{2} \text{ pente}} \right)^2$$

NE CHERCHEZ PLUS !

ZAMST est N°1*
des orthèses sportives
dynamiques !

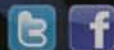


NOUVEAU Orthèse ZAMST AT-1

- Guide et stabilise le tendon d'Achille
- Réduit les sollicitations
- Confort total dans la chaussure
- Matières anti-transpirantes
- Système anti-glisse



Retrouvez nos produits en magasins de sport



ZAMST ATHLETE SAVER
www.zamst.com

« Nos derniers travaux permettent de prédire la performance avec une précision de l'ordre de 94%. »

Rassurez-vous. Il ne s'agit pas de retenir cette formule par cœur. Il faut simplement voir que cette hauteur maximum (h_{max}) dépend en définitive de trois caractéristiques: la puissance maximale des muscles des jambes (P_{max}), le profil athlétique F-V du sauteur (pente de la relation F-V) et l'amplitude du mouvement (h_{PO}). A noter que ce que l'on appelle l'amplitude du mouvement désigne en fait la distance verticale sur laquelle s'effectue la poussée. Elle est propre à chaque individu. Certains partent d'une position très fléchie (genoux pliés à plus de 90 degrés) pour bondir le plus haut possible. D'autres restent plus droits. Tout dépend là encore des qualités musculaires et morphologiques de chacun. Quant au "g" de la formule, il s'agit évidemment de la gravité soit $9,81 \text{ m/s}^2$.

L'équation se vérifie-t-elle sur le terrain? En d'autres termes, êtes-vous capable de prédire la performance d'un athlète en fonction de ses paramètres?

Oui, nos derniers travaux permettent de prédire la performance avec une précision de l'ordre de 94%. Mais ce n'est pas le principal objectif de ce genre d'équation. Il s'agit plutôt de comprendre et d'anticiper les bénéfices des

différents types d'entraînement que l'on peut proposer à un athlète. Or on peut mesurer, grâce à cette équation, l'impact d'une variation de chaque paramètre sur le résultat final. Plus intéressant encore: on peut déterminer grâce à ce travail le profil F-V qui permet de maximiser la performance. Curieusement, on s'aperçoit alors que la puissance maximale ne constitue pas, à elle toute seule, un bon indice de prédiction. Il n'est pas rare d'enregistrer des écarts de performances de plus de 20% chez des sujets qui développent pourtant la même puissance maximale. La différence réside en fait pour beaucoup dans le profil F-V. Les athlètes qui privilégient trop la force ou la vitesse verront leurs performances décliner quand bien même leur puissance maximale resterait inchangée. Voilà ce que montrent nos travaux.

Quelles conclusions peut-on en tirer?

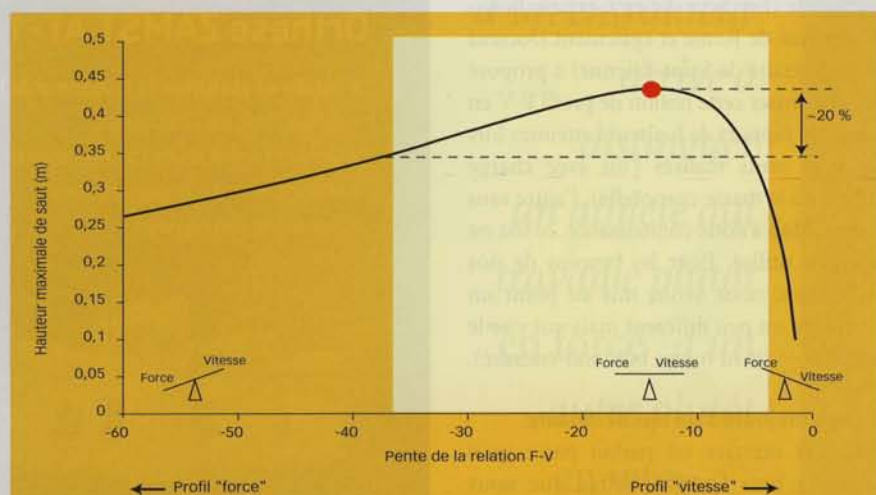
A nos yeux ces résultats sont importants dans la mesure où ils démontrent l'influence déterminante du profil F-V dans la réalisation d'une performance avec possibilité de corriger un éventuel déséquilibre par un programme spécifique d'entraînement. Et il ne s'agit pas seulement de sauter haut. Nos travaux montrent que cela se passe de la

même manière pour d'autres exercices comme la poussée inclinée d'un départ en sprint. En clair, on dispose là d'un nouveau paramètre pour évaluer des qualités physiques déterminantes en termes de performance et qui permet aussi de mieux comprendre ce qui se passe dans le muscle à l'intersection des données plus classiques de force, de vitesse et de puissance. L'avenir nous dira quel sort on lui réserve.

Propos recueillis par Gilles Goetghebuer

RÉFÉRENCES

- Hill A V. (1938). *The heat of shortening and the dynamic constants of muscle*. Proc R Soc Lond B Biol Sci 126B: 136-195.
- Bosco C, Belli A, Astrua M, Tihanyi J, Pozzo R, Kellis S, Tsarpela O, Foti C, Manno R and Tranquilli C. (1995). *A dynamometer for evaluation of dynamic muscle work*, Eur J Appl Physiol Occup Physiol 70: 379-386.
- Rahmani A, Viale F, Dalleau G and Lacour JR. (2001). *Force/velocity and power/velocity relationships in squat exercise*. Eur J Appl Physiol 84: 227-232.
- Yamauchi J and Ishii N. (2007). *Relations between force-velocity characteristics of the knee-hip extension movement and vertical jump performance*. J Strength Cond Res 21: 703-709.
- Vandewalle H, Peres G, Heller J, Panel J and Monod H. (1987). *Force-velocity relationship and maximal power on a cycle ergometer. Correlation with the height of a vertical jump*. Eur J Appl Physiol Occup Physiol 56: 650-656.
- Rambaud O, Rahmani A, Moya B and Bourdin M. (2008). *Importance of upper-limb inertia in calculating concentric bench press force*. J Strength Cond Res 22: 383-389.
- Martin JC, Wagner BM and Coyle EF. (1997). *Inertial-load method determines maximal cycling power in a single exercise bout*. Med Sci Sports Exerc 29: 1505-1512.
- Dorel S, Couturier A, Lacour JR, Vandewalle H, Hautier C, Hug F. (2010). *Force-velocity relationship in cycling revisited: benefit of two-dimensional pedal forces analysis*. Med Sci Sports Exerc 42: 1174-1183.
- 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.
- Bosco C, Luhtanen P and Komi PV. (1983). *A simple method for measurement of mechanical power in jumping*. Eur J Appl Physiol Occup Physiol 50: 273-282.
- Bosco C. (1992). *L'évaluation de la force par le test de Bosco*. Roma: Società Sampa Sportiva.
- Samozino P, Morin JB, Hintzy F, Belli A. (2008). *A simple method for measuring force, velocity and power output during squat jump*. J Biomech. 41: 2940-2945.
- Driss T, Vandewalle H and Monod H. (1998). *Maximal power and force-velocity relationships during cycling and cranking exercises in volleyball players. Correlation with the vertical jump test*. J Sports Med Phys Fitness 38: 286-293.
- Morin JB, Hintzy F, Belli A, Grappe F. (2002). *Relations force-vitesse et performances en sprint chez des athlètes entraînés*. Sci Sport. 17: 78-85.
- Cronin J, Hansen KT. (2005). *Strength and power predictors of sports speed*. J Strength Cond Res. 19: 349-357.
- Cronin J and Sleivert G. (2005). *Challenges in understanding the influence of maximal power training on improving athletic performance*. Sports Med. 35: 213-234.
- Frost DM, Cronin J and Newton RU. (2010). *A biomechanical evaluation of resistance: fundamental concepts for training and sports performance*. Sports Med. 40: 303-326.
- Samozino P, Morin JB, Hintzy F and Belli A. (2010). *Jumping ability: A theoretical integrative approach*. J Theor Biol. 264: 11-18.
- Samozino P. (2009). *Capacités mécaniques des membres inférieurs et mouvements explosifs. Approches théoriques intégratives appliquées au saut vertical*. Thèse de Doctorat. Université Jean Monnet, Saint-Etienne



Cette courbe montre l'évolution (prédite à partir de l'équation) de la hauteur maximale de saut en fonction de la pente de la relation F-V pour des athlètes ayant une P_{max} de 30 W/kg et une amplitude de déploiement des membres inférieurs (h_{PO}) de $0,4 \text{ mètre}$. La performance est maximisée pour un profil F-V optimal (point rose) caractérisant un juste équilibre entre les capacités musculaires de force et de vitesse. Cette performance décline sévèrement lorsque la relation F-V est déséquilibrée, que ce soit vers la force ou vers la vitesse.

A VOS CALCULETTES

Au fil du temps, les auteurs ont développé plusieurs méthodes pour déterminer sur le terrain les qualités de puissance musculaire des jambes et parfois même de faire la distinction des composantes de force et de vitesse dans l'expression de cette puissance.

Test de Margaria (1966)

Le test de puissance de Margaria consiste à effectuer une montée d'escaliers à vitesse maximale. Après une course d'élan horizontale de 5-6 mètres, il faut gravir les marches trois par trois et mesurer le temps mis entre la 3^{ème} et la 9^{ème} marche. La puissance développée (en Watts) par les jambes est alors obtenue par l'équation:

$$P = \frac{9,81 \times m \times h}{t}$$

avec m , la masse de l'athlète (en kg), h , la hauteur entre la 3^{ème} et la 9^{ème} marche (soit 6 fois la hauteur d'une marche) et t , (en secondes) le temps mesuré. Ce temps peut être obtenu soit grâce à un simple chronomètre, soit plus précisément en utilisant des cellules photoélectriques ou des capteurs de pression disposés sur les marches. Le nombre de marches à enjamber à chaque pas peut être ajusté en fonction du niveau ou de l'âge de l'athlète, l'important étant que la vitesse de montée soit constante.

Test de Samozino et collaborateurs (2008)

Ce test repose également sur des bonds verticaux, mais un seul saut permet déjà d'obtenir des valeurs de force (en Newton), de vitesse (en m/s) et de puissance (en W):

$$F = m \times 9,81 \times \left(\frac{h}{h_{po}} + 1 \right)$$

$$V = \sqrt{\frac{9,81 \times h}{2}}$$

$$P = m \times 9,81 \times \left(\frac{h}{h_{po}} + 1 \right) \times \sqrt{\frac{9,81 \times h}{2}}$$

avec m , la masse de l'athlète (en kg), h , la hauteur de saut atteinte (en mètres) et h_{po} , la distance verticale sur laquelle s'effectue la poussée (en mètres). Cette valeur peut s'obtenir facilement avant le test en soustrayant la hauteur verticale de départ du saut (par exemple entre la crête iliaque et le sol, h_i) de la longueur des membres inférieurs tendus (distance entre la crête iliaque et le bout des orteils avec les pieds en hyperextension). Cette dernière position correspond à la configuration des membres inférieurs au moment du décollage du saut. Pour la hauteur de saut, il existe de nombreux tests et dispositifs de terrain permettant de la déterminer, que ce soit le test de Sargent (différence de hauteur d'empreintes laissées sur un mur par la main tendue entre le point culminant du saut et la position debout), le test d'Abalokov (déroulement d'un ruban attaché à la taille) ou encore la mesure du temps resté en l'air grâce à un Ergopower® ou

Test de Bosco (1983)

Carmelo Bosco a proposé un test simple pour mesurer la puissance développée par les jambes lors de séries de rebonds verticaux sur une durée variable entre 5 et 60 secondes. La puissance moyenne développée lors de chaque saut (P en W/kg) est égale à:

$$P = 24,06 \times \frac{t_v \times (t_c + t_v)}{t_c}$$

avec t_c , le temps de contact moyen des pieds au sol entre deux sauts et t_v , le temps moyen resté en l'air lors d'un saut. Ces deux valeurs peuvent être obtenues avec un tapis de contact "chronométrateur" (de type Ergopower®) ou des barres photoélectriques posées sur le sol (de type Optojump®), ces deux dispositifs étant facilement utilisables sur le terrain. Plus la durée des séries de rebonds est courte, plus la valeur mesurée est proche de la puissance maximale des membres inférieurs.



un Optojump®. Le schéma suivant récapitule les différentes étapes de cette méthode.

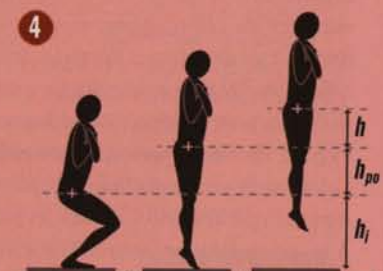
Pour estimer la puissance maximale des membres inférieurs, la consigne est évidemment de sauter le plus haut possible. Pour identifier le



Mesure de la hauteur de départ h_i fixée ici à un angle de genou de 90° grâce à une équerre

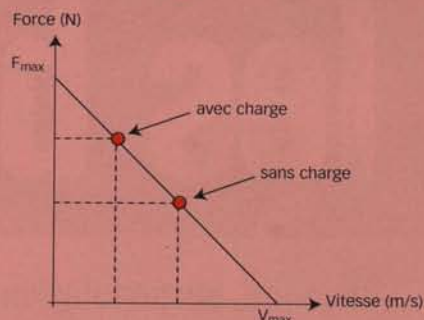


Mise en position de départ de saut en utilisant la hauteur h_i mesurée précédemment



Position de départ décollage sommet du saut

Réalisation du saut vertical (sans phase d'élan) et mesure de la hauteur de saut h



profil musculaire F-V de l'athlète, la réalisation d'un saut supplémentaire avec une charge sur les épaules (d'au moins 75% de la masse) est alors nécessaire. Il suffit ensuite de tracer la relation F-V sur un graphique (la force en ordonnée et la vitesse en abscisses) en reliant par une droite les deux points correspondant aux deux sauts (chargés et non chargés, voir figure). Même si l'ajout de sauts supplémentaires contre d'autres charges augmentera le nombre de points, des mesures récentes montrent qu'on ne perd pas beaucoup de précision en utilisant uniquement ces deux sauts (non chargé et chargé avec au moins 75% de la masse corporelle). L'intersection de la droite obtenue avec l'axe de la force donne alors la force maximale théorique des jambes. L'intersection avec l'axe de la vitesse donne leur vitesse maximale théorique d'extension.

Le profil F-V est quant à lui donné par la pente de la relation F-V que l'on peut obtenir en calculant:

$$\text{pente} = \frac{F_{\text{sans charge}} - F_{\text{avec charge}}}{V_{\text{sans charge}} - V_{\text{avec charge}}}$$

Ces trois valeurs pourront alors servir à quantifier les effets de l'entraînement sur les capacités mécaniques de vos muscles.