



# L'innovation technologique, clef de l'entraînement de la puissance et de la vitesse

Robin Hager, Gaël Guilhem, Sylvain Dorel, Antoine Nordez

## ► To cite this version:

Robin Hager, Gaël Guilhem, Sylvain Dorel, Antoine Nordez. L'innovation technologique, clef de l'entraînement de la puissance et de la vitesse. *Réflexions Sport*, 2016, 14, pp.2-19. hal-01734538

**HAL Id: hal-01734538**

**<https://insep.hal.science/hal-01734538>**

Submitted on 15 Mar 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# 14  
Nov  
2016

# RéflexionsSport

La revue électronique de l'INSEP

**INSEP**  
*Terre de Champions*

# EXTRAIT

L'innovation  
technologique,  
clef de  
l'entraînement  
de la puissance  
et de la vitesse





# L'innovation technologique, clef de l'entraînement de la **puissance** et de la **vitesse**



Par Robin Hager  
Doctorant au lab. Sport,  
Expertise et Performance,  
SEP (EA 7370), département  
de la recherche à l'INSEP



**C**omment se fait-il qu'Usain Bolt soit l'athlète le plus rapide alors qu'il n'est pas le sprinteur disposant de la force maximale la plus importante ? Contrairement aux autres sprinteurs, il est le seul encore capable de produire de la force à des vitesses de 12 m/s. Cette capacité à produire de la force à un haut niveau de vitesse est souvent déterminante dans de nombreux sports. Les innovations technologiques permettent aujourd'hui d'évaluer précisément cette qualité et d'utiliser un type de résistance plus adéquat à son développement. Mode d'emploi de ces innovations au service de l'entraînement musculaire.



**Gaël Guilhem**  
Directeur du lab. Sport,  
Expertise et Performance,  
SEP (EA 7370), département  
de la recherche à l'INSEP



**Sylvain Dorel**  
Maître de conférences,  
université de Nantes



**Antoine Nordez**,  
Maître de conférences,  
université de Nantes

## Petit retour sur l'évaluation des capacités physiques ■

En France, les méthodes d'évaluation et d'entraînement musculaire ont été largement inspirées par les travaux de Gilles Cometti (Cometti *et al.* 1990). Les entraîneurs et préparateurs physiques ont longtemps évalué principalement la qualité de force grâce au test de la répétition maximale (1RM) qui représente la capacité à soulever une seule fois une charge la plus élevée possible. L'entraînement en musculation était ensuite calibré à partir de cette 1RM. Cependant, la capacité à produire une force élevée à vitesse faible (correspondant à 1RM) n'est pas nécessairement le facteur de performance musculaire prépondérant dans tous les sports, en particulier les activités explosives (badminton, basketball, taekwondo, sprint...). Dans ces disciplines, c'est la capacité de développer de la force avec une vitesse de mouvement importante qui est déterminante (Cf. Figure 1). Or, l'évaluation de la

1RM d'un sportif ne renseigne pas sur ses qualités de vitesse. L'analogie comparant les forces et les vitesses produites par un tracteur (fort, limité en vitesse) et une voiture (rapide, limitée en force) résume bien cette idée (Guilhem, 2014).

Conscients des limites inhérentes à l'évaluation de la force, les entraîneurs ont développé des tests de terrain permettant d'apprécier les capacités musculaires sur des tâches propres à l'activité (vitesse de tir au handball, sprint avec changements de direction, simulation d'actions spécifiques comme en rugby ou en football). Les tâches sont réalisées à haut niveau de vitesse et représentent la plupart du temps l'expression combinée de différentes qualités (coordination, rapidité d'exécution, précision). Ces évaluations ont permis d'identifier les points forts du sportif, afin d'individualiser les contenus d'entraînement en axant le développement de ses qualités musculaires plutôt vers la force ou plutôt vers la vitesse. Les innovations méthodologiques et technologiques ►

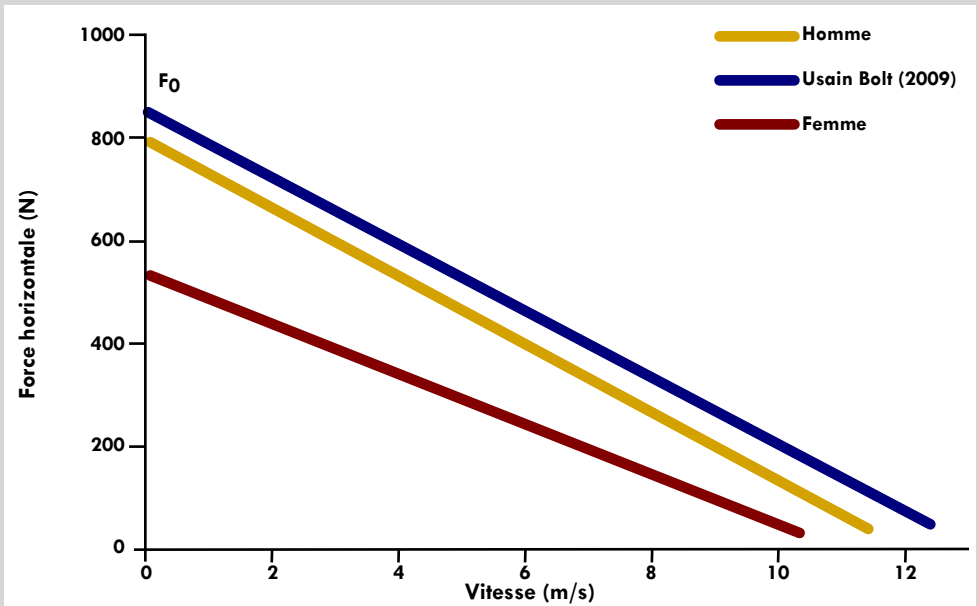


Figure 1 – Relations entre la force et la vitesse en sprint en course à pied (100 m) comparant le record du monde d'Usain Bolt en 2009 (en bleu) à 50 courses réalisées par des athlètes masculins (en jaune) et féminines (en rouge) lors des finales de Championnat du monde et des Jeux olympiques entre 1987 et 2012 (D'après Slawinski *et al.*, 2015).

permettent aujourd'hui de mieux renseigner sur la façon d'individualiser et de construire le contenu des séances de musculation pour développer la vitesse de chacun par la prise en compte des caractéristiques différentes des sportifs.

“... les entraîneurs ont développé des tests de terrain permettant d'apprécier les capacités musculaires sur des tâches propres à l'activité...”



## Individualiser son entraînement pour améliorer sa vitesse

Afin d'optimiser le contenu des séances de renforcement musculaire, il va être nécessaire d'appréhender les paramètres musculaires souvent déterminants de la performance : puissance et vitesse. Pour évaluer et entraîner ces qualités musculaires, l'entraîneur peut tracer la relation entre la vitesse maximale qu'est capable d'atteindre

son athlète à différents niveaux de charge. Cette évaluation peut être réalisée lors de mouvements mobilisant une (extension de jambe) ou plusieurs articulations (saut vertical), mais également lors d'exercices reproduisant le mouvement sportif comme le sprint ou le pédalage (Dorel *et al.* 2005). La puissance alors produite est obtenue en multipliant la force par la vitesse à chaque point de la courbe et se présente sous une fonction en forme de U inversé (Cf. Figure 2). ►

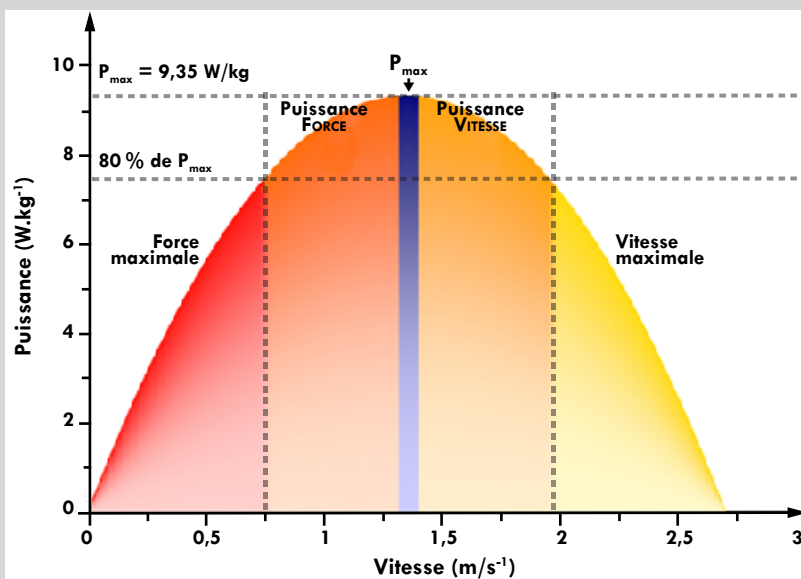


Figure 2 – Zones de travail définies à partir de la relation puissance-vitesse d'un sportif (Jidovtseff *et al.* 2009).

À partir de ces relations, le but de l'entraîneur va être de mettre en place une planification pour augmenter la performance du sportif dans sa discipline. Si le but est d'améliorer les qualités de vitesse, va-t-il falloir privilégier le développement des qualités de force, de vitesse ou de puissance ? Pour produire une performance explosive comme sauter haut ou courir vite, le sportif doit appliquer le plus de force possible pour augmenter sa vitesse, et donc sa puissance. Paradoxalement, plus sa vitesse augmente, plus il lui sera difficile de produire une force importante (Cf. Figure 3).

**“ ... le but de l'entraîneur va être de mettre en place une planification pour augmenter la performance du sportif dans sa discipline. ”**



Figure 3 – L'augmentation de la vitesse de mouvement (accélération) nécessite une augmentation de la production de force. Cependant plus la vitesse augmente, moins le sportif est capable de produire de la force.

Deux sportifs peuvent ainsi produire la même puissance sans pour autant développer les mêmes niveaux de force et de vitesse. L'un pourra privilégier la force dans l'expression de sa puissance tandis que l'autre privilégiera la vitesse. Pour savoir quelle qualité développer pour chaque sportif, le concept de profil optimal a été développé. Il consiste à déterminer l'équilibre le plus adéquat ►



entre les qualités de force et de vitesse pour produire une performance maximale (Samozino *et al.* 2012). Cette méthode permet d'évaluer les déficits de force ou de vitesse et d'individualiser de façon très précise l'entraînement musculaire du sportif afin de corriger ces éventuels déficits (Cf. Figure 4).

Pour augmenter la détente verticale du sportif, l'entraînement doit être axé sur le développement de la vitesse, si la pente de sa relation force-vitesse est plus inclinée que la pente du profil optimal (Cf. Figure 4A).

Inversement, si la pente de la relation force-vitesse est moins inclinée que la pente du profil optimal (Cf. Figure 4B), alors l'entraînement doit être axé sur le développement de la force.

L'approche apparaît comme vraiment novatrice, car elle offre la possibilité d'ajuster les capacités musculaires d'un point de vue qualitatif. Elle constitue une alternative complémentaire aux programmes visant un déplacement général de la courbe force-vitesse vers des valeurs plus élevées («vers le haut»), particulièrement adaptée chez des sportifs déjà très entraînés pour lesquels les marges de progression sont parfois limitées (Giroux *et al.* 2016).

Néanmoins, l'évaluation et le développement des capacités de force à haut niveau de vitesse voire de la vitesse maximale ►

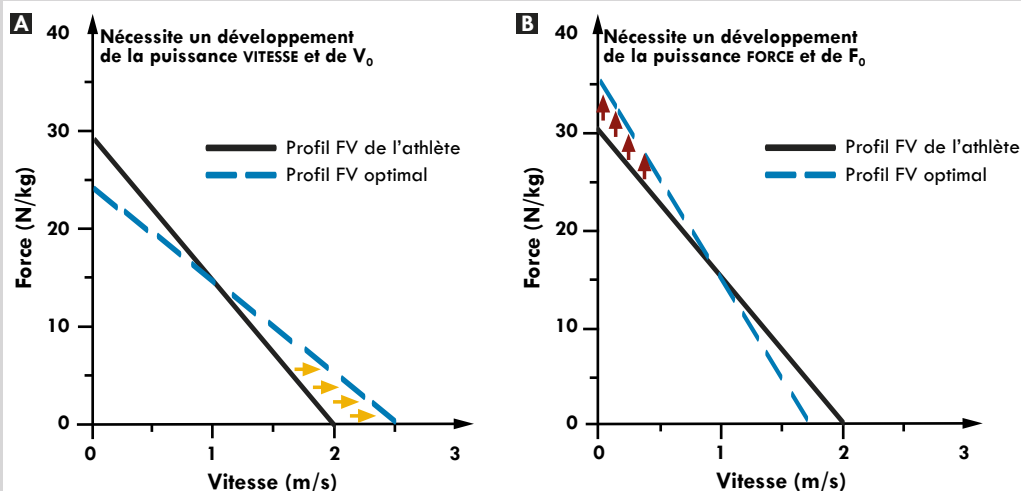


Figure 4 – Stratégie de développement visant à optimiser la vitesse ou la force en fonction du profil optimal (Samozino, 2014).

présente des limites importantes. Premièrement, ce type d'évaluation utilise de manière quasi exclusive des résistances (charges) constantes. Pour les exercices comme le saut vertical, il est techniquement difficile d'alléger le poids de corps, et donc d'atteindre des hauts niveaux de vitesse, ce qui peut rendre le travail à des vitesses élevées délicat. Deuxièmement, les barres ou les haltères sont inadaptées pour induire des gains de force à vitesse élevée (Frost *et al.* 2010). Enfin, ces évaluations sont très souvent réalisées sur des exercices concentriques classiques sans projection de la barre. L'athlète doit alors freiner la charge, parfois sur une partie importante du mouvement, notamment lors d'exercices réalisés avec des charges faibles (Frost *et al.* 2010), ce qui entre en contradiction avec de nombreuses disciplines sportives (tir, saut, lancer).

L'utilisation des nouvelles technologies peut aujourd'hui contribuer à lever certains verrous liés à l'évaluation et l'entraînement des capacités de puissance et de vitesse. ►

**“ L'utilisation des nouvelles technologies peut aujourd'hui contribuer à lever certains verrous... ”**



“ *La capacité à produire de la force à vitesse élevée sera primordiale en début de mouvement...* ”

## La technologie au service de la puissance et de la vitesse

Afin de permettre aux entraîneurs d'évaluer les sportifs, le marché des outils de métrologie dédiés au sport a vu naître différents types d'accéléromètres ou de capteurs filaires permettant de mesurer les variables de vitesse, de force et de puissance sur le terrain (Cf. Tableau 1). Dernièrement, des applications pour Smartphones et tablettes permettent d'effectuer ces mesures en filmant simplement le mouvement (Balsalobre *et al.* 2015).

| Système          | Applications Smartphones                                                                                              |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Avantages</b> |                                                                                                                       |
| ■                | Coût plus faible comparativement aux outils de recherche classiques.                                                  |
| ■                | Simplicité d'utilisation.                                                                                             |
| <b>Limites</b>   |                                                                                                                       |
| ■                | Pas de retour d'information sur les mouvements intégrant une autre forme de résistance (élastique, pneumatique, etc.) |
| ■                | Les capteurs ne sont pas intégrés au système de musculation                                                           |

| Système          | Accéléromètres et/ou capteurs filaires                       |
|------------------|--------------------------------------------------------------|
| <b>Avantages</b> |                                                              |
| ■                | Simplicité d'utilisation.                                    |
| ■                | Retour d'information en direct sur le niveau de puissance.   |
| ■                | Utilisation autonome par l'athlète.                          |
| ■                | Applicable à tout mouvement linéaire.                        |
| <b>Limites</b>   |                                                              |
| ■                | Coût relativement élevé.                                     |
| ■                | Les capteurs ne sont pas intégrés au système de musculation. |

Tableau 1 – Avantages et limites des applications Smartphones, accéléromètres et capteurs filaires dans l'évaluation et l'entraînement des qualités musculaires.

## Une astuce simple : modifier le type de résistance

Pour permettre de surmonter les inconvénients de l'inertie ou d'alléger le poids du corps, les entraîneurs utilisent aujourd'hui des résistances variables basées sur l'utilisation de chaînes ou ►





de bandes élastiques combinées ou non à la charge. Le sportif travaille ainsi de manière fonctionnelle en réalisant des mouvements propres à sa discipline (coup droit au tennis, tir au football, sprint en athlétisme...). De plus en plus d'accessoires permettent d'accrocher l'élastique à une partie du corps (pieds, main, bassin) ou à un accessoire spécifique à la discipline (raquette en tennis, épée en escrime...). Cependant, la résistance élastique augmente en fonction de son étirement rendant l'évaluation et le développement

d'une qualité cible plus complexe. La capacité à produire de la force à vitesse élevée sera primordiale en début de mouvement tandis qu'en fin de mouvement c'est la qualité à produire une force élevée à vitesse faible qui sera prépondérante. L'utilisation de la résistance élastique est ainsi intéressante à utiliser sur un cycle de force, obligeant l'athlète à développer des niveaux de force importants en fin de mouvement (Cf. Tableau 2). Sur des cycles plus spécifiques, cela peut rentrer en contradiction avec certains gestes sportifs (lancé de javelot, tir au handball, smash au volley, etc.) où le but est de projeter à une vitesse maximum un objet (i.e. mouvement balistique) de masse très faible. Afin de répondre à cette problématique, les entraîneurs innovent en utilisant l'élastique pour alléger le poids de corps ou effectuer du travail de survitesse. Ces exercices allégés ont permis d'augmenter la performance en saut chez des rugbymen professionnels avec des effets supérieurs à des exercices à poids de corps ou utilisant l'élastique pour augmenter la résistance (Argus *et al.* 2011). ►

## Système Élastiques

### Avantages

- Permet d'effectuer des gestes proches de la discipline sportive avec une résistance.
- Permet de travailler avec différentes résistances sans l'inconvénient de l'inertie.
- Permet d'alléger le poids de corps et de travailler en survitesse.
- Applicable à tout mouvement linéaire.

### Limites

- La résistance augmente ou diminue au cours du mouvement, à l'inverse des mouvements naturels.
- La force produite lors de mouvements réalisés avec élastique est plus complexe à évaluer sur le terrain.
- Les outils d'évaluation ou de mesure en direct sont plus rares que pour les exercices à charge constante.

Tableau 2 – Avantages et limites de la résistance élastique.

## Rapide comme l'air

Afin de maximiser le développement des qualités de puissance, la résistance pneumatique est très utilisée dans les pays anglo-saxons mais encore peu généralisée en Europe. En France, son utilisation tend à se développer notamment au sein de structures professionnelles en football et en rugby (PSG, AS Monaco, ASM Clermont-Ferrand, LOU Rugby...) [Hager, 2016: [http://www.dailymotion.com/video/x4k28ow\\_rencontres-the-matiques-10-explosivite-inno-ver-pour-aller-plus-vite\\_sport](http://www.dailymotion.com/video/x4k28ow_rencontres-the-matiques-10-explosivite-inno-ver-pour-aller-plus-vite_sport)]. ►



“ *... la résistance pneumatique permet de produire des vitesses et des puissances plus importantes qu'en résistance constante.* ”

Les appareils pneumatiques permettent de s'affranchir des effets de l'inertie en utilisant la compression de l'air dans un vérin. L'absence d'inertie permet de produire des accélérations significativement plus importantes et ainsi de solliciter le muscle à de plus grandes vitesses, en particulier à l'initiation du mouvement (Frost *et al.* 2008) [Cf. Figure 5]. Cette spécificité répond aux problématiques de nombreuses disciplines où la production de hauts niveaux de vitesse en début de mouvement va être déterminante notamment sur les sports de duel où le but va être d'effacer son adversaire sur le premier appui comme des 1 contre 1 au football, une esquive en boxe, ou surprendre son adversaire en cyclisme sur piste. Une des autres spécificités du pneumatique est de permettre à l'athlète de générer des forces et des vitesses plus élevées en fin

de mouvement par rapport aux exercices classiques où il mobilise une charge externe, notamment pour des charges modérées à lourdes (de 60 à 90 % 1RM). Cela répond aux contraintes de la plupart des sports de combat comme la lutte ou le judo, où à la fin d'une prise il faut encore être capable de produire une force élevée pour projeter et/ou immobiliser son adversaire (Aurélien Broussal-Derval, 2014); idem pour un plaquage au rugby, une neutralisation au handball, etc. Enfin, la résistance pneumatique permet de produire des vitesses et des puissances plus importantes qu'en résistance constante. L'équipe de Frost (2016) a comparé deux groupes de sportifs lors d'un programme de renforcement musculaire général de 3 séances par semaine sur une durée de 8 semaines. Les exercices étaient identiques excepté le développé ►

couché qui était réalisé en pneumatique par le premier groupe et avec des poids pour le second groupe. Le groupe utilisant la résistance pneumatique en développé couché a montré des gains de vitesse maximale de 1,7 % et de puissance maximale de 10,9 % plus importants comparé au groupe utilisant des poids. Ainsi, les exercices pneumatiques pourraient avoir tout intérêt à être utilisés par les entraîneurs lors de cycles de développement de la puissance ou de la vitesse.

“ *Les faibles variations de résistance au cours du mouvement limitent également les contraintes articulaires et diminuent le risque de blessure.* ”

©iStockphoto

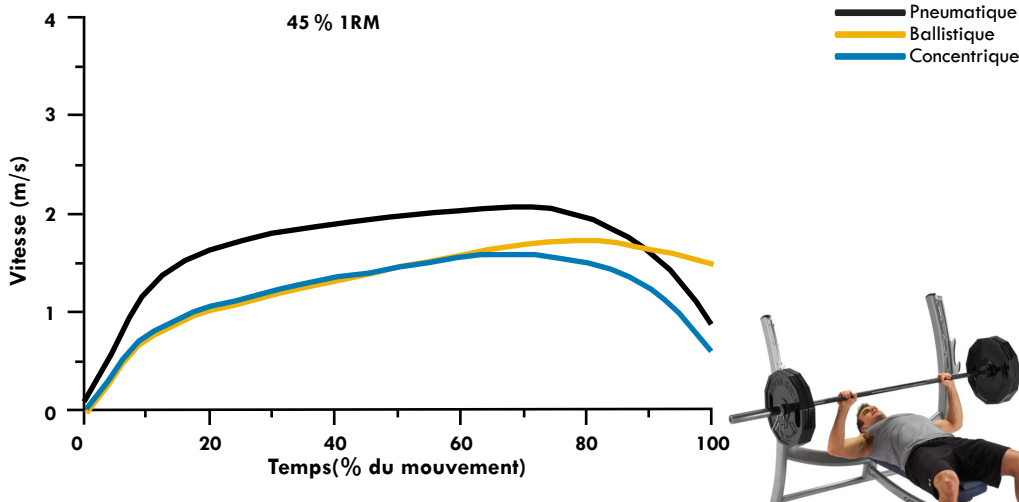


Figure 5 – Vitesse produite lors d’un mouvement de développé-couché réalisé avec une résistance pneumatique (en noir), avec une charge constante et avec projection (en rouge) et sans projection (en bleu, d’après Frost *et al.* 2008). Le temps est exprimé en pourcentage de l’amplitude de mouvement.



Comme pour la résistance élastique, les ergomètres pneumatiques permettent d'effectuer des mouvements proches du geste sportif à l'aide d'un système spécialement conçu pour l'entraînement fonctionnel (Cf. Figure 6). Ces appareils offrent la possibilité d'ajouter de la résistance ou au contraire d'en enlever en se servant du système pour assister le mouvement et ainsi atteindre des hautes vitesses.

Contrairement à la résistance élastique, l'utilisateur a la

possibilité de modifier simplement la résistance à l'aide de boutons-poussoirs (+ et -), ce qui rend plus simple l'utilisation de charges lourdes. Les faibles variations de résistance au cours du mouvement limitent également les contraintes articulaires et diminuent le risque de blessure. Ainsi, la technologie pneumatique est très utilisée dans le milieu de la rééducation et dans la prise en charge de certaines pathologies musculaires (Hurley *et al.* 2000 ; Frontera *et al.* 2000). ►



Figure 6 – Exemple de mouvements fonctionnels réalisés avec une résistance pneumatique. La console du Fonctionnal Trainer renseigne sur le nombre de répétitions, le pic de puissance maximale de la série et le pic de puissance de l'essai en cours.

(Photos : I. Amaudry).

“... maximiser le développement des qualités de puissance et de vitesse...”

Les innovations technologiques liées à ces appareils présentent l'avantage d'avoir un retour direct sur le niveau de puissance maximale produit, permettant d'individualiser l'entraînement en fonction de la puissance du sportif (Cf. Figure 6). La possibilité de connecter ces appareils pneumatiques à un ordinateur permet également une mesure en direct et une gestion complète des données de force, vitesse, puissance, accélération et travail. Il est ainsi possible d'étudier les relations force-vitesse et puissance-vitesse via un programme spécialement dédié. L'une des dernières innovations apportées aux ergomètres pneumatiques est de pouvoir effectuer des mouvements en dissociant les côtés droit et gauche. Cette innovation informe l'entraîneur sur de potentiels déséquilibres

bilatéraux de force ou de puissance, ce qui peut contribuer à la prévention du risque de blessure (Cf. Tableau 3).

| Système                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Pneumatique |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>Avantages</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |             |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Limite les inconvénients liés à l'utilisation exclusive de l'inertie.</li> <li>■ Permet de travailler sur l'ensemble de l'amplitude de mouvement et de manière fonctionnelle avec des mouvements similaires au geste sportif.</li> <li>■ Possibilité d'alléger le poids de corps ou de travailler en survitesse.</li> <li>■ Permet de générer des niveaux de vitesse et de puissance moyenne supérieurs aux exercices à charge constante.</li> <li>■ Retour d'information en direct sur le niveau de puissance maximale produit.</li> <li>■ Enregistrement des niveaux de force, vitesse et puissance (possibilité de dissocier les côtés droit et gauche).</li> <li>■ Évaluation des relations force-vitesse et puissance-vitesse pour chaque côté et/ou de manière bilatérale.</li> <li>■ Production de force plus élevée qu'avec des poids en fin de mouvement pour des charges supérieures à 60 % de 1RM.</li> </ul> |             |
| <b>Limites</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |             |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Production de force moyenne inférieure aux exercices effectués à charge constante.</li> <li>■ Modalité de résistance peu naturelle et donc non spécifique.</li> <li>■ Vitesse en fin de mouvement inférieure aux mouvements balistiques à faibles charges (&gt; 45 %).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |             |

Tableau 3 – Avantages et limites de la résistance pneumatique.

La résistance pneumatique permet ainsi de répondre aux désavantages liés à l'inertie, maximisant ainsi les possibilités de développement des qualités de vitesses et de puissance, alliant analyse précise de la puissance et de la vitesse, même sur des mouvements proches du geste sportif. Elle n'est cependant pas la plus adaptée au développement de la force maximale, pour lequel la charge constante reste très efficace.

## Vers une planification intégrant le type de résistance

Afin de faire progresser les qualités physiques de ses sportifs, l'entraîneur doit ajuster finement le contenu et la charge de sa séance. Si le but était d'améliorer une qualité précise, comme augmenter la force maximale, l'entraîneur du <sup>xx</sup>e siècle ajustait son entraînement musculaire à partir des variables présentées en figure 7 (Kraemer *et al.* 2002).

Cependant, si le but recherché était le développement de

la vitesse ou de la puissance, les choix de l'entraîneur restaient limités par les appareils de musculation à sa disposition. Le développement de nouvelles résistances permet à l'entraîneur d'envisager de lever certains de ces freins technologiques et de pouvoir maximiser le développement des qualités de puissance et de vitesse de ses sportifs. En fonction du type d'action à réaliser et des qualités musculaires nécessaires au sportif, le choix de la résistance s'avère ainsi être une variable à prendre en considération dans la planification ►

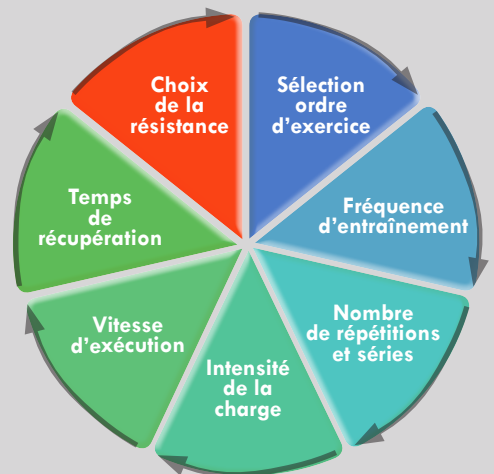


Figure 7 – Variables de l'entraînement musculaire permettant une planification individualisée de qualité (Kraemer *et al.* 2002) intégrant le choix de la résistance pour maximiser le développement d'une qualité cible (Frost *et al.* 2010).

de l'entraînement musculaire. Sur le terrain, l'utilisation de la résistance pneumatique semble être actuellement le «gold standard» pour travailler les qualités de puissance. Cependant, même avec une résistance pneumatique, l'entraînement de la vitesse maximale reste limité notamment en fin de mouvement.

Dans le but de permettre un développement optimal de cette qualité, notre équipe de recherche continue de travailler sur de nouvelles technologies innovantes permettant de modifier la résistance. Dans ce cadre, le laboratoire de l'INSEP co-développe un ergomètre mécatronique avec la société ERACLES (<http://www.eracles-technology.com/>) afin d'évaluer et tenter d'optimiser les limites musculaires.

## À retenir

- La capacité à produire de la force à un haut niveau de vitesse est primordiale dans de nombreuses activités sportives.

- L'évaluation de la 1RM ne renseigne pas sur les capacités de puissance ou de vitesse du sportif, souvent essentielles à la performance.
- Des tests simples permettent d'évaluer ces qualités à l'aide d'outils innovants et accessibles au cours de mouvements de musculation classiques.
- Les méthodes de musculation utilisant des charges (poids) comme résistance ne sont pas nécessairement optimales pour développer les qualités de puissance et de vitesse.
- Des méthodes simples basées sur l'utilisation d'élastiques permettent de mieux cibler l'entraînement de la puissance.
- La résistance pneumatique permet un développement plus efficace des qualités de puissance et de vitesse.
- Le choix du type de résistance peut constituer une nouvelle composante de la planification de l'entraînement musculaire.



## Bibliographie

- ARGUS C K, GILL N D, KEOGH J W, BLAZEVOICH A J, HOPKINS W G, «Kinetic and training comparisons between assisted, resisted, and free countermovement jump», *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 2011, 25(8), 2219–2227.
- BALSALOBRE-FERNÁNDEZ C, GLAISTER M, LOCKEY R A, «The validity and reliability of an iPhone app for measuring vertical jump performance», *Journal of Sports Sciences*, 2015, 33(15), 1574–1579.
- BROUSSAL-DEVAL L, «Approche spécifique des qualités musculaires du judoka : l'exemple de la vitesse», *Entretiens de l'INSEP*, 2014.
- COMETTI G, JOLY B, *Les méthodes modernes de musculation*, UFR STAPS Dijon : université de Dijon (université de Bourgogne), 1990.
- DOREL S, HAUTIER C A, RAMBAUD O, ROUFFET D, VAN PRAAGH E, LACOUR J-R, BOURDIN M, «Torque and Power-Velocity Relationships in Cycling: Relevance to Track Sprint Performance in World-Class Cyclists», *International Journal of Sports Medicine*, 2005, 26(9), 739–746.
- FLEISHMAN EDWIN A, «The structure and measurement of physical fitness», Prentice-Hall, Oxford, England, *The structure and measurement of physical fitness*, 1964.
- FRONTERA W R, HUGHES V A, FIELDING R A, FIATARONE M.A, EVANS W J, ROUBENOFF R, «Aging of skeletal muscle: a 12-yr longitudinal study», *Journal of Applied Physiology*, 2000, 88(4), 1321–1326.
- FROST D M, CRONIN J B, NEWTON R U, «A comparison of the kinematics, kinetics and muscle activity between pneumatic and free weight resistance», *European Journal of Applied Physiology*, 2008, 104(6), 937–956.
- FROST D M, CRONIN J, NEWTON R U, «A biomechanical evaluation of resistance», *Sports Medicine*, 2010, 40(4), 303–326.
- FROST D M, BRONSON S, CRONIN J B, NEWTON R U, «Changes in Maximal Strength, Velocity, and Power After 8 Weeks of Training With Pneumatic or Free Weight Resistance», *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2016, 30(4), 934–944.
- GIROUX C, RABITA G, CHOLLET D, GUILHEM G, «Optimal balance between force and velocity differs among world-class athletes», *Journal of Applied Biomechanics*, 2016, 32(1), 59–68.
- GUILHEM G, «L'entraînement musculaire à la croisée des chemins», *Réflexions Sport* #9, 2014, 58–80.
- HAGER R, DEL MORAL B, GUILHEM G, «Explosivité, Innover pour aller plus vite», *Les rencontres thématiques de la préparation physique*, 2016, 10, INSEP.
- JIDOVTSSEFF B, QUIÈVRE J, HANON C, CRIELAARD J-M, «Les profils musculaires inertiels permettent une définition plus précise des charges d'entraînement», *Science & Sports*, 2009, 24(2), 91–96.
- KRAEMER W J, RATAMESS N A, FRENCH D N, «Resistance training for health and performance», *Current Sports Medicine Reports*, 2002, 1(3), 165–171.
- SAMOZINO P, REJC E, DI PRAMPERO P E, BELLI A, MORIN J-B, «Optimal Force-Velocity Profile in Ballistic Movements—Altius», *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2012, 44(2), 313–322.
- SAMOZINO P, «Profils force-vitesse-puissance : nouvelles méthodes simples d'évaluation de terrain, effets sur la performance et applications originales», *Les Entretiens de l'INSEP*, 2014.
- SLAWINSKI J, TERMOZ N, RABITA G, GUILHEM G, DOREL S, MORIN J-B, SAMOZINO P, «How 100-m event analyses improve our understanding of world-class men's and women's sprint performance», *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 2015, n/a/n/a.
- STIEVENART JH, «L'œil du maquignon et la détection de potentiels», *Entretiens de l'INSEP*, 2012.
- ZATSIORSKY V M, *Les qualités physiques du sportif : bases de la théorie et de la méthodologie de l'éducation*, Éd. Culture Physique et Sport, Paris, 1966.



# INSEP

INSTITUT NATIONAL DU SPORT, DE L'EXPERTISE ET DE LA PERFORMANCE  
11, AVENUE DU TREMBLAY - 75 012 PARIS - TÉL. 01 41 74 41 00

WWW.INSEP.FR



PlayStation®



**L'EQUIPE**