



> >

> >

> >

Laboratoire de Physiologie-PPEH - Faculté de Médecine,
Université de Saint-Etienne.
Jean.Benoit.Morin@univ-st-etienne.fr

|| Lors d'épreuves de sprint, des vitesses instantanées de plus de 12 m.s⁻¹ (43 km.h⁻¹) ont été mesurées, elles représentent les plus grandes vitesses de locomotion sans médiation matérielle chez l'Homme. Une analyse de la vitesse de course au cours du 100 m plat permet de distinguer 3 grandes phases caractéristiques (et ce chez tout coureur) (Delecluse et coll. 1995 ; Volkov et Lapin, 1979) : une phase d'accélération initiale (1) de 0 à 30 à 60 m selon les sujets ; une phase de course à vitesse maximale approximativement constante (2) qui se prolonge de 40 à 70m selon les sujets et enfin une phase de décélération (3) jusqu'à la ligne d'arrivée (Fig.1).

||

Etude des paramètres mécaniques de la performance en sprint sur 100 m chez des athlètes entraînés

> >

Au plan physiologique, l'énergie utilisée provient des stocks intra-musculaires d'ATP et de créatine-phosphate, puis progressivement de la dégradation anaérobie du glycogène, avec production de lactate.

D'un point de vue mécanique (envisagé dans cette étude), la performance en sprint correspond à l'expression de qualités musculaires des membres inférieurs principalement. Les études antérieures ont ainsi montré que les qualités déterminantes de la performances en sprint étaient la faculté à produire une force importante par les membres inférieurs (Mero et coll. 1992) où encore la raideur musculo-tendineuse (faculté à "rebondir" et restituer l'énergie élastique) (Cavagna et coll. 1971 ;

Chelly et Denis, 2001). Ces relations ont pris la forme de corrélations entre les qualités musculaires évaluées et les performances globales sur 30, 60 ou 100m, évaluées par cellules photo-électriques ou synchronisation vidéo.

Les études pré-citées ont ainsi étudié ces facteurs de performance de façon globale, et chez des sujets de tous niveaux, or l'existence de trois phases caractéristiques peut nous amener à formuler l'hypothèse d'une correspondance entre qualités musculaires spécifiques et performance pour chaque zone de course.

Notre but lors de cette étude a donc été d'explorer ces relations pour chaque zone spécifique, chez des sujets spécialistes et en évaluant leur performance en course

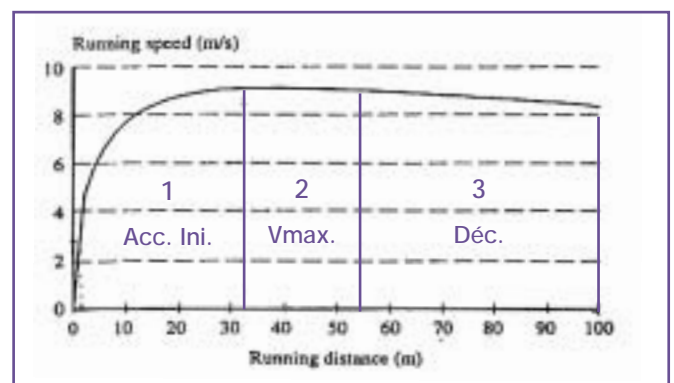


Figure 1 : Evolution typique de la vitesse de course en fonction du temps lors d'une course de 100 m et ses trois phases caractéristiques (Delecluse et coll. 1995)

de façon très précise grâce à un outil d'évaluation de la vitesse instantanées de course.

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'un mémoire de recherche de Diplôme d'Etudes Approfondies en Motricité Humaine à l'Université Jean Monnet de Saint-Etienne, en partenariat avec la Ligue d'Athlétisme du Lyonnais.

METHODOLOGIE

> Sujets

10 sujets masculins espoirs de niveau interrégional et national en sprint (100m à 400m haies) des clubs de Lyon et Saint-Etienne ont participé volontairement à cette étude. Cette population de spécialistes (au moins 4 ans de pratique en compétition) était homogène au vu du record personnel sur 100 m, et aucun des athlètes n'a déclaré présenter de contre-indication médicale à la pratique du sprint en compétition au jour de l'expérimentation.

Ce protocole a consisté en deux sessions de tests espacées de 7 jours : une session d'évaluation des qualités physiques et une évaluation de performance en sprint sur 100m.

> Evaluation des qualités physiques

• Sprint sur bicyclette ergométrique :

Cette épreuve a consisté après échauffement à réaliser deux sprints de 12s (avec 6min de récupération) départ arrêté sur une bicyclette ergométrique. Cet outil développé par L. Arzac (1996) (Fig.2) permet à partir d'une "bicyclette d'appartement" de mesurer divers paramètres mécaniques. En effet, une courroie frotte sur le volant d'inertie déplacé lors

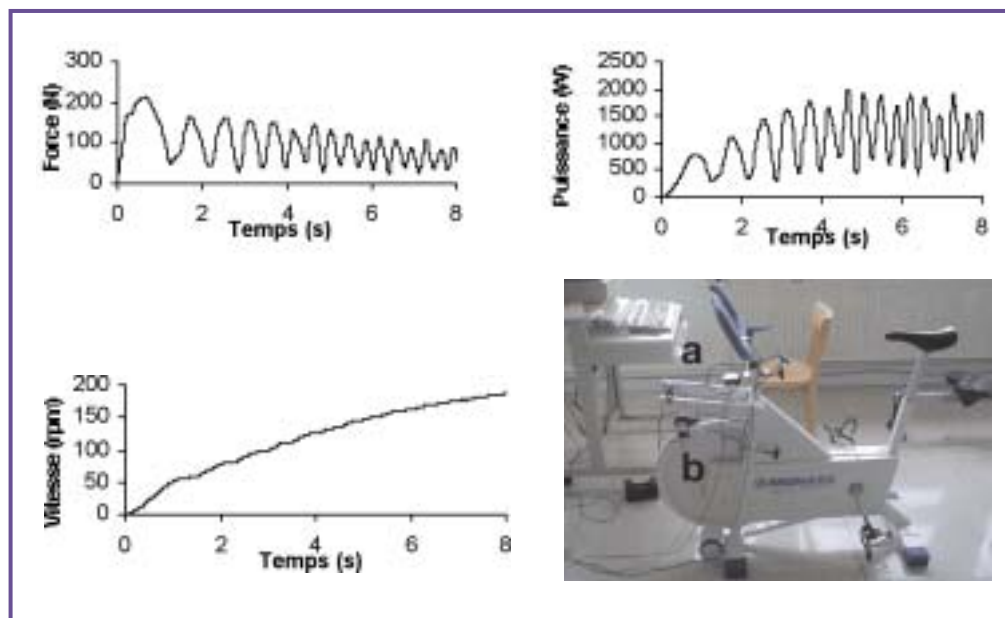


Figure 2 : Evolution typique de force, vitesse et puissance instantanée (8 premières secondes) et vue de profil de la bicyclette munie d'une jauge de contrainte (a) et d'un codeur incremental (b) (Arsac, 1996)

du pédalage, et un capteur de contrainte mesure la tension de cette courroie (réglable) et donc la force appliquée par le sujet lors du sprint (F en Newtons). Un capteur optique est en contact avec ce même volant et mesure le déplacement de ce volant et donc sa vitesse de rotation, permettant d'obtenir la vitesse de pédalage en rotations par minute, convertie en mètres par seconde de déplacement linéaire (V en $m.s^{-1}$).

La puissance des sujets est quant à elle le produit de la force par la vitesse produites à chaque instant, elle est ramenée à la masse des sujets (P en $W.kg^{-1}$).

• Sauts verticaux :

Après échauffement et habitude, les sujets ont réalisé un test de sauts verticaux sur un tapis Ergojump® qui permet, à partir des temps de contact et de vol de déterminer la hauteur de sauts lors de saut sans élan

(h_{Sj} en cm), la puissance de saut développée lors d'une épreuve de 15s de sauts répétés (rebonds jambes tendues en cherchant à être le plus dynamique à l'impact) (P_{RJ} en $W.kg^{-1}$), ainsi que la raideur musculo-tendineuse des membres inférieurs lors de ces mêmes sauts répétés (K en $N.m^{-1}.kg^{-1}$).

> Evaluation des performances sur 100 m

Cette évaluation a été réalisée sous forme d'une course de 100m en pointes et sur piste en Tartan®, avec départ en starting-blocks et signal sonore. La vitesse de course a été mesurée par un système radar (ATS Stalker System, Radar Sales, Mineapolis), placé derrière l'athlète et qui fournissait une valeur de vitesse 30 à 35 fois par seconde, avec une précision de 0,2 $km.h^{-1}$ (données constructeur). Cet outil a été validé

en comparant les temps délivrés par le radar et ceux donnés par des cellules et en obtenant une relation parfaite entre ces deux mesures pour les 10 sujets, confirmant la validité du radar. A partir des courbes vitesse-temps obtenues (Fig.3), la vitesse maximale (V_{Cmax} en $m.s^{-1}$), son temps d'atteinte (T_{VCmax} en s) ainsi que les vitesses moyennes tous les 20 m ont été calculées.

> Analyses statistiques

Des analyses de corrélations ont été réalisées entre les paramètres mécaniques musculaires et les paramètres de performance mesurés lors des différents tests. Le seuil de significativité des résultats a été fixé à 0,05 (les corrélations significatives obtenues étant dues à 95% aux hypothèses initiales de lien entre les facteurs) et le coefficient de corrélation était ici noté « r ».

RESULTATS ET DISCUSSION

Le tableau ci-dessous montre les valeurs des principaux paramètres mesurés lors des tests. Pour des raisons de commodité et de concision de notre propos, les relations significatives obtenues entre les paramètres mécaniques et de performance en sprint seront exposées et discutées en trois parties, correspondant aux trois phases du 100 m précédemment décrites.

> Phase initiale de course, accélération et atteinte de vitesse maximale

Cette phase s'étend de 39 à 67m et dure de 5,2 à 8,6s environ.

Cette étendue est importante, renvoyant aux différentes tactiques de courses évoquées par Van Ingen Schenau et coll. (1994). L'accélération produite par les athlètes lors de cette phase est le résultat d'une application importante de force sur les blocks puis sur le sol (des valeurs de plus de 1500N sont relevées dans la revue de littérature de Mero et coll. 1992). Notre étude montre cette relation significative entre la force maximale F_{max} mesurée sur bicyclette ergométrique et les vitesses moyennes à 20 et 60m ($r = 0,67$ et $0,63$) et confirme l'hypothèse de l'importance de la force maximale lors de l'accélération en sprint. La relation significative entre la détente verticale et les vitesses moyennes à 20, 40 et

60m ($0,66 < r < 0,69$), renforce cette prévalence.

Par ailleurs la relation entre V_{max} et les vitesses moyennes à 20 et 60m (respectivement $r = 0,67$ et $0,63$) souligne l'importance de cette qualité musculaire lors de l'atteinte de la vitesse maximale de course en sprint. V_{max} est ici mesurée lors de sprints où le mouvement de pédalage se déroule à une fréquence similaire à celle atteinte en sprint en course à pied (3Hz en pédalage à 18 m.s⁻¹ contre 3 à 5Hz en sprint en course à pied à vitesse maximale (Mero et coll. 1992).

Les deux qualités musculaires de force et de vitesse sont les composantes de la puissance mécanique musculaire. Les résultats de notre étude montrent le lien significatif entre P_{max} et T_{VCmax} ($r = - 0,69$). La puissance mesurée lors de sprints sur bicyclette ergométrique semble donc jouer un rôle important dans l'atteinte de la vitesse maximale en sprint en course à pied. En effet, les sujets présentant la plus grande puissance mesurée sur bicyclette ergométrique ont aussi le plus court délai d'atteinte de vitesse maximale sur 100m et donc la plus grande explosivité.

> Phase de course à vitesse maximale

Les paramètres de la performance caractérisant cette phase sont les temps dans les intervalles de 40 à 60 ou 80m, ainsi que la vitesse maximale de course atteinte par les sujets. Aucun des paramètres mécaniques évalués lors de cette étude n'a montré de relation significative avec les paramètres de performance dans cette zone du sprint. Une relation entre la raideur musculo-tendineuse des membres

inférieurs et la vitesse maximale de course était attendue au vu des études de Chelly et Denis 2001 ou de Mero et coll. 1986 montrant pour les premiers une relation entre la raideur des membres inférieurs mesurée lors de sauts verticaux et la vitesse maximale de course chez de jeunes joueurs de handball, et pour les seconds une augmentation de la constante de raideur des membres inférieurs avec une augmentation de la vitesse de course chez des sprinters. Cette qualité de raideur des structures musculo-tendineuses des membres inférieurs permet une ré-utilisation améliorée en phase concentrique de l'énergie stockée lors de la phase excentrique de la foulée. Cette absence de lien significatif peut être due à l'homogénéité de cette population, la raideur pouvant être un facteur déterminant de la performance à vitesse maximale en sprint pour des populations hétérogènes ou non spécialistes de sprint comme pour les études précitées sans présenter le même pouvoir de discrimination au sein d'une population de sprinters de niveau homogène.

> Phase de décélération

Comme une relation significative a été établie entre l'accélération et la production de force, vitesse et puissance des sujets, une relation aurait pu être attendue à l'inverse entre la perte de force, de vitesse et de puissance sur bicyclette ergométrique ou lors des sauts et la décélération sur 100m. Or aucun facteur n'était lié avec cette décélération. Ce manque de corrélation pose le problème de la mise en évidence d'un facteur explicatif de la perte

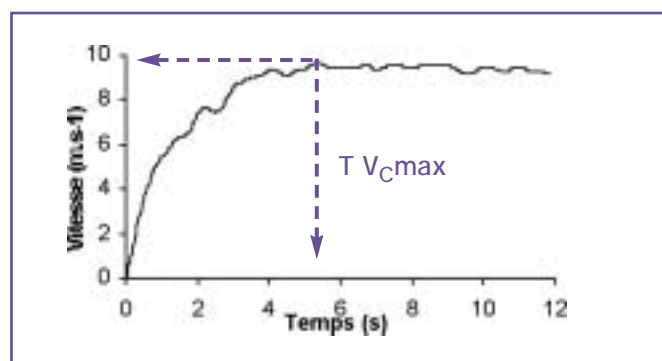


Figure 3 : Evolution typique de la vitesse de course en fonction du temps lors d'un 100 m permettant d'obtenir V_{Cmax} et $T_{V_{Cmax}}$.

Sprint sur bicyclette ergométrique		Sauts Verticaux	
V_{max} (m.s ⁻¹)	19,4 ± 1,8	h_{sj} (cm)	45,5 ± 3,9
F_{max} (N)	180,6 ± 23,4	P_{RJ} (W.kg ⁻¹)	53,4 ± 2,6
P_{max} (W.kg ⁻¹)	14,2 ± 1,4	K (N.m ⁻¹ .kg ⁻¹)	499,7 ± 101,5
Sprint en course à pied			
V_{20} (m.s ⁻¹)	5,93 ± 0,18	V_{Cmax} (m.s ⁻¹)	9,81 ± 0,36
V_{60} (m.s ⁻¹)	7,91 ± 0,23	$T_{V_{Cmax}}$ (s)	6,5 ± 1,22
V_{100} (m.s ⁻¹)	8,47 ± 0,26		



de vitesse en fin de 100m . En effet la fatigue sur 100m et la perte de puissance, force ou vitesse lors de sprints sur bicyclette ergométrique n'étaient pas liées pour cette population. De plus, les études s'attachant à explorer l'influence de la production de lactate sur la diminution de vitesse en fin de 100 m chez des sprinters ont pour la plupart montré l'absence de lien entre ces deux phénomènes (Hirvonen et coll. 1986 ; Hautier et coll. 1994) même si récemment des résultats semblent contredire ce fait (Bret et coll. 2001). Si l'hypothèse d'une fatigue métabolique ne peut être étayée, il peut être mis en avant une explication faisant intervenir le principal phénomène spécifique de la course à pied à vitesse maximale, et absent de la motricité de pédalage à vitesse maximale, le cycle étirement-détente. En effet, la perte de vitesse en fin de 100m peut être due à une diminution de l'efficacité de ce cycle, ceci est illustré dans la présente étude par la tendance (non significative) liant le pourcentage de puissance maximale maintenu en fin de test de 15s de sauts répétés et la perte de vitesse en fin de 100m. Ainsi le lien entre cette perte et la décélération de fin de course en sprint sur 100 m permet de formuler l'hypothèse d'une décélération en fin de 100m contemporaine d'une diminution de l'efficacité du cycle étirement-détente chez les sprinters.



CONCLUSION

Cette étude a permis de mettre en avant les conclusions suivantes :

I - La puissance mécanique développée lors de sauts verticaux ou de sprints sur bicyclette ergométrique et ses composantes de force et de vitesse sont des facteurs clés de la mise en action dans la phase d'accélération en sprint.

II - Aucune variable mécanique mesurée n'est liée significativement à la performance dans la phase de course à vitesse maximale.

III - La performance dans la phase de décélération n'est pas liée à la perte de force, vitesse, puissance ou raideur musculo-tendineuse de ces sujets spécialistes, seule une tendance la lie à la perte de puissance lors des sauts répétés.



Références :

Arsac L M, Belli A and Lacour J-R. : *Muscle function during brief maximal exercise : accurate measurements on a friction-loaded cycle ergometer.* Eur J Appl Physiol 1996 ; 74 : 100-6.

Bret C, Rahmani A, Messonnier L, Bourdin M, Bedu E, Lacou J-R. : *Relation entre la concentration sanguine de lactate mesurée en fin de compétition et la performance sur 100m.* Science et motricité 2001 ; 42 : 24-28.

Cavagna G A, Komarek L, Mazzoleni S. : *The mechanics of sprint running.* J Physiol 1971 ; 217 : 709-21.

Chelly S M and Denis C. : *Leg power and hopping stiffness : relationship with sprint running performance.* Med Sci Sports Exerc 2001 ; 33(2) : 326-33.

Delecluse C, Van Coppenolle H, Willems E, Diels R, Goris M, Van Leemputte M, Vuylsteke M. : *Analysis of 100 meter sprint performance as a multidimensional skill.* J Hum Movement Stud 1995 ; 28 : 87-101.

Hautier C A, Wouassi D, Arzac L M, Bitanga E, Thiriet P and Lacour J-R. : *Relationships between postcompetition blood lactate concentration and average running velocity over 100-m and 200-m races.* Eur J Appl Physiol 1994 ; 68 : 508-13.

Hirvonen J, Rehnunen S, Rusko H, Härkönen M. : *Breakdown of high-energy phosphate compounds and lactate accumulation during short supramaximal exercise.* Eur J Appl Physiol 1987 ; 56 : 253-9.

Mero A and Komi P V. : *Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters.* Eur J Appl Physiol 1986 ; 55 : 553-61.

Mero A, Komi P V, Gregor R J. : *Biomechanics of sprint running.* Sports Med 1992 ; 13 (6) : 376-92.

Van Ingen Schenau G J, De Koning J J, De Groot G. : *Optimisation of sprinting performance in running, cycling and speed skating.* Sports Med 1994 ; 17 (4) : 259-75.

Volkov N I and Lapin V I. : *Analysis of the force-velocity curve in sprint running.* Med Sci Sports 1979 ; 11(4) : 332-7.