

Quels sont les paramètres dynamiques et cinématiques utiles à l'entraîneur pour analyser l'appui de course du sprinter ?

Chantal Réga, Françoise Natta

▶ **To cite this version:**

Chantal Réga, Françoise Natta. Quels sont les paramètres dynamiques et cinématiques utiles à l'entraîneur pour analyser l'appui de course du sprinter ?. AEFA, 2002, 166, pp.7-13. hal-02058866

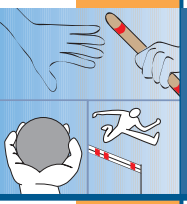
HAL Id: hal-02058866
https://insep.hal.science//hal-02058866

Submitted on 6 Mar 2019

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.

CHANTAL REGA[1] ET FRANÇOISE NATTA[2]



1 - Ex-recordwoman de France
et finaliste olympique en sprint.
DEA de Biomécanique et de Physiologique du Mouvement
INSEP, Département de la formation

2 - Docteur en Biomécanique et Physiologique du Mouvement
INSEP, Département des Sciences du Sport,
Laboratoire Mouvement Action et Performance

Quels sont les paramètres dynamiques et cinématiques utiles à l'entraîneur pour analyser l'appui de course du sprinter ?

Pour les plus jeunes de nos lecteurs nous rappellerons que Chantal REGA fait partie des meilleures sprinteuses que la France ait connues. Elle a détenu les records de France du 100 m (11"15) et du 200 m (22"72) et a terminé sa carrière sur 400 m haies avec le record de France (54"93) et une médaille de bronze aux championnats d'Europe.
Elle mène actuellement sa carrière professionnelle comme sa carrière sportive. Elle passe de l'enseignement de l'EPS, à la formation à l'Université et travaille parallèlement sur la pédagogie et la recherche en matière de course de vitesse. C'est dans ce cadre de chercheur associé au laboratoire Mouvement Action Performance de l'INSEP qu'elle nous présente ce travail avec sa complice Françoise NATTA.

Bruno Gajer

Introduction

Pour augmenter leur vitesse de course, les sprinters sont capables d'élever la fréquence et l'amplitude de leurs foulées en produisant des forces importantes dans un temps de contact très court, et les meilleurs se distinguent bien par la brièveté de leur appui au sol (Kunz et Kaufmann, 1981 ; Mero et coll., 1992). Quelle que soit l'allure de course, une baisse de la vitesse horizontale se produit au début de l'appui, lorsque le pied exerce une force de freinage selon l'axe antéro-postérieur. La principale cause de cette diminution de la vitesse est la distance horizontale entre le pied et la verticale du centre de masse lors du contact au sol (Kunz et Kaufmann, 1981 ; Mann et Herman, 1985 ; Mero et coll., 1992).

Ce freinage est compensé par une élévation de la vitesse dans la deuxième partie de l'appui, quand la force produite devient positive.

En même temps qu'il se propulse vers l'avant, le sprinter exerce des forces très élevées selon l'axe vertical, pour freiner la descente de son centre de masse et soutenir son poids du corps. Les courbes de réaction du sol enregistrées au cours de l'appui de course peuvent être très différentes d'un coureur à l'autre. Bien qu'elles reflètent le comportement global du sprinter (centre de masse), elles peuvent donner certaines informations sur ses adaptations segmentaires avant et au moment de la prise de contact au sol (Williams, 1985).

Dans notre étude, nous cherchons à décrire les phénomènes qui se produisent au cours de

GB

Which dynamic and kinematic parameters are of use to coaches in analysing sprinters' foot-to-ground contact?

1 - Former French record holder and Olympic sprint finalist.
Diploma in Biomechanics and Physiology of Movement
INSEP, Training Department

2 - Doctor in Biomechanics and Physiology of Movement
INSEP, Sciences of Sport Department, Movement,
Action and Performance Laboratory

Introduction

Sprinters are capable of reaching higher speeds by increasing the frequency and amplitude of their strides and by producing high levels of force with very short ground contact. Top sprinters can be characterised by the short duration of their foot-to-ground contact (Kunz and Kaufmann, 1981 ; Mero and coll., 1992).

Whatever the running speed, a drop in horizontal speed occurs at the beginning of the foot-to-ground contact when the foot applies a braking force in the anteroposterior axis.

The main reason for this drop in speed is the horizontal distance between the foot and the vertical axis of center of mass during the foot-to-ground contact (Kunz and Kaufmann, 1981 ; Mann and Herman, 1985 ; Mero and coll., 1992).

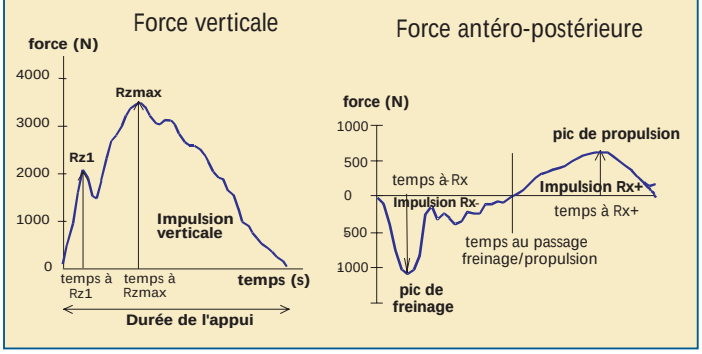
This reduction in speed is compensated by an increase in speed in the second phase of the foot-to-ground contact, when the force applied becomes positive.

As the runner propels himself forwards, he also applies very high levels of force in the vertical axis to prevent his center of mass from descending and to support the weight of his body. Ground reaction curves recorded during the foot-to-ground contact vary greatly from one sprinter to another. While these curves reflect the overall behaviour of the sprinter (center of mass), they also provide information about the segmental adaptation before and during the establishment of contact with the ground (Williams, 1985).

This study attempts to describe the phenomena that occur during foot-to-ground contact at full speed in an effort to help sprinters improve their performance. From both the dynamic and kinematic perspectives, we

l'appui de course à pleine vitesse, afin d'aider à l'amélioration de la performance du sprinter. Pour cela, nous associerons une étude dynamique et une analyse cinématique, en portant plus particulièrement notre attention sur certains des paramètres impliqués dans le freinage de la vitesse horizontale qui se produit au cours de l'appui au sol.

Figure 1 : Variables dynamiques mesurées au cours de l'appui
Wire frame representation of a complete cycle of leg movement



Techniques
et Protocole

11 sujets masculins sont présentés dans cette étude (performance sur 100 mètres de 10"19 à 11"04). Les données dynamiques sont obtenues grâce à une plate-forme de forces intégrée dans une piste d'athlétisme. Ce qui permet d'effectuer l'étude dans des conditions réelles d'entraînement.

L'épreuve consiste à effectuer cinq courses de 50 m à vitesse maximale. La plate-forme de forces est située après 40 mètres de course. Les données cinématiques sont recueillies en filmant à l'aide d'un camescope dans le plan sagittal du déplacement de la plate-forme. Le plan filmé est de 7 m afin d'enregistrer un cycle complet de jambe et de mesurer l'amplitude moyenne de deux foulées de course à pleine vitesse.

Les coureurs sont équipés de tenues sombres et moulantes et de cibles réfléchissantes placées aux différentes articulations selon le modèle anthropométrique de Winter. L'utilisation du logiciel de traitement «3D Vision» permet de reconstruire le sujet sous forme filaire et d'effectuer les différents calculs .

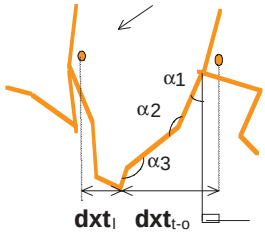
Variables dynamiques
(figure 1)

La plate-forme de forces permet la mesure des forces exercées dans les trois directions de l'espace ainsi que du temps pendant lequel le pied est en contact avec elle. Les variables dynamiques s'intéressent au paramètre global qu'est le centre de masse. Nous avons relevé les amplitudes des pics de force. Ces forces sont Rz dans l'axe vertical et Rx dans l'axe de progression (Rx- correspond au pic de freinage et Rx+ au pic de propulsion). Sont également mesurées les dates de ces pics et les impulsions qui sont matérialisées par les surfaces entre la courbe et la ligne de base (l'impulsion de freinage étant la partie négative de la courbe Rx). L'impulsion horizontale nette correspond à la différence entre les impulsions de propulsion et de freinage. Quand elle est positive, elle indique que le sprinter est encore en train d'accélérer.

Variables cinématiques
(figure 2)

La distance horizontale entre la verticale du centre de masse et le pied a été mesurée au début (dxt_i) et à la fin du contact au sol (dxt_{t-o}). L'addition de ces deux distances donne l'amplitude horizontale du centre de masse à l'appui (dGxA). Les valeurs de flexion et d'extension de la jambe d'appui sont calculées à partir des angles de l'articulation du genou ($\alpha 2$) et de la cheville ($\alpha 3$), mesurés au début, au milieu et en fin d'appui. Pour exprimer l'extension de la hanche au cours de l'appui, nous avons mesuré l'angle compris entre la cuisse et la verticale ($\alpha 1$), au début et à la fin du contact au sol.

Figure 2 : Variables cinématiques au cours de l'appui
Dynamic variables measured during foot-to-groun contact.



GB

Dynamic variables apply to the parameter known as the center of the mass. The peaks in amplitude were also recorded; Rz in the vertical axis and Rx in the direction of movement (Rx- is the peak in braking force and Rx+ is the peak in propulsion). The times of the peaks were also measured along with the impulses that are materialised by the surfaces between the curve and the base line (where the braking impulse is the negative part of the Rx curve). The net horizontal impulse is the difference between the propulsion and braking impulses. When this impulse is positive, the sprinter is accelerating.

Kinematic variables (Figure 2)

The horizontal distance between the vertical axis of the center of the mass and the foot was measured at the beginning (dxt_i) and at the end of the foot-to-ground contact (dxt_{t-o}). Adding these two distances results in the horizontal amplitude of the center of the mass at the time of contact (dGxA). The values of flexion and extension of the supporting leg are calculated using the angles of articulation of the knee ($\alpha 2$) and ankle ($\alpha 3$) measured at the beginning, in the middle and at the end of the foot-to-ground contact. Extension of the hip during contact is expressed by measuring the angle between the thigh and the vertical axis ($\alpha 1$) at the beginning and the end of contact with the ground.

The angles and angular variations of the supporting leg are expressed in degrees, time is expressed in seconds and distances in metres.

Results
and Discussion

The average values and standard deviations for each parameter are shown in tables 1 and 2. The kinematic and dynamic variables are shown relative to one another.In the case of the a significant correlation, a coefficient followed by *, ** or *** indicates that the relation is significant at the leve p <0.05, p <0.02 and p <0.01 (meaningful to very meaningful).

Tableau 1 : Résultats des variables dynamiques, en valeurs absolues et normalisées
Dynamic variables in absolute and standardised values

	Valeurs absolues *Absolute values*		Valeurs normalisées *Standardised values*	
	Moyenne *Average*	E Type *Standard deviation*	**Moyenne** *Average*	E-type *Standard deviation*
Poids (N) - *Weight (N)*	**758,05**	94,98	**1**	
Durée de l'appui (s) - *Duration of contact (S)*	**0,098**	0,009	**1**	
1er pic de force verticale (Rz1) (N) - *1st peak in vertical force (Rz1) (N)*	**1820,08**	505,19	**2,42**	0,72
Temps à Rz1 (s) - *Time at Rz1 (s)*	**0,010**	0,006	**10,22**	5,74
Pic maximum de force verticale (Rzmax) (N) *Maximum peak in vertical force (Rzmax) (N)*	**3006,17**	422,49	**3,98**	0,41
Temps à Rzmax (s)- *Time at Rzmax (s)*	**0,034**	0,006	**34,84**	5,90
Impulsion verticale (N.s) - *Vertical impulse (N.s)*	**177,09**	29,12	**233,09**	16,99
Pic maximum de force de propulsion (Rx+) (N) *Maximum peak in propulsion force (Rx+) (N)*	**609,11**	97,06	**0,81**	0,10
Temps à Rx+ (s)- *Time at Rx+ (s)*	**0,074**	0,008	**75,06**	4,39
Pic maximum de force de freinage (Rx-) (N) *Maximum peak in braking force (Rx-) (N)*	**-1158,99**	207,45	**-1,54**	0,25
Temps à Rx- (s)- *Time at Rx- (s)*	**0,010**	0,002	**10,10**	2,03
Impulsion horizontale de propulsion (N.s) - *Horizontal propulsion impulse (N.s)*	**20,65**	3,82	**-27,21**	3,19
Impulsion horizontal de freinage (N.s) - *Horizontal braking impulse (N.s)*	**-14,67**	3,81	**-19,16**	3,04
Impulsion horizontal nette (N.s) - *Net horizontal impulse (N.s)*	**5,98**	2,11	**8,05**	3,13
Temps au passage freinage/propulsion (s) *Change from baking to propulsion (s)*	**-0,045**	0,006	**45,62**	3,07

Les valeurs d'angles et de variations angulaires de la jambe d'appui sont exprimées en degrés.

Les temps sont donnés en secondes et les distances en mètres.

Résultats
et Discussion

Les valeurs moyennes et les écart-types de chaque paramètre étudié figurent dans les tableaux 1 et 2. Les variables cinématiques et dynamiques ont été mises en relation. Quand une corrélation est significative, le coefficient suivi des signes *, ** ou ***, indique que la relation est significative au seuil p <0.05, p <0.02 et p <0.01 (de significatif à très significatif).

Dynamique de l'appui à pleine vitesse

Le tableau 1 présente les résultats des variables dynamiques avec les forces exprimées en valeurs absolues (Newton) et en valeur normalisées (en nombre de fois le poids du corps).

Les temps sont normalisés en pourcentage du temps d'appui. Les impulsions sont exprimées en N.s et normalisées en nombre de fois le poids du corps multiplié par 1000.

L'appui de course dure en moyenne 0.098s (± 0.009) et la transition entre le freinage et la propulsion horizontale se produit à 0.045s (± 0.006), ce qui représente en moyenne 45.62 % (± 3.07) de la durée de l'appui. Les trois sprinters les plus rapides présentent une durée d'appui plus courte (en moyenne : 0.090s ± 0.007). Au cours de l'appui, les coureurs exercent une force verticale qui atteint une valeur maximale proche de 4 fois le poids du corps (3006.17N ± 422.49).

Dans notre étude, nous constatons que la durée de l'appui est liée de façon significative à l'impulsion verticale (r = 0.61* pour la valeur absolue et r = 0.78*** pour la valeur normalisée) et non aux impulsions exercées dans le plan antéro-postérieur. Il ne semblerait donc pas souhaitable d'atteindre des valeurs élevées d'impulsion verticale, car

GB

Contact dynamics at full speed

Table 1 shows the results of the dynamic variables with forces expressed in absolute values (Newtons) and in standardised values (multiples of body weight).

Time is standardised as a percentage of the duration of the foot-to-ground contact.

Impulses are expressed in N.s and are standardised in multiples of body weight multiplied by 1000.

The average duration of the foot-to-ground contact is 0.098s (±0.009) and the transition between braking and horizontal propulsion occurs at 0.045s (±0.006), which corresponds on average to 45.62 % (±3.07) of the duration of the contact. The three fastest runners achieved the three shortest contact times (0.090s ±0.007 on average). During the foot-to-ground contact, the runners apply a vertical force with a maximum value that reaches almost 4 times body weight (3006.17N ±422.49).

Our study showed that the duration of the contact is closely linked to the vertical impulse (r = 0.61* as an absolute value and r = 0.78*** as a standardised value) and not to the impulses in the anteroposterior plane. Therefore, high values of vertical impulse should be avoided, since they imply longer foot-to-ground contact which disadvantages the runner. This hypothesis is confirmed by other authors, who mention that the best sprinters limit their vertical impulse during the foot-to-ground contact (Mann and Herman, 1985).

The results also show the positive correlation between the vertical peak and vertical impulse and the amplitude of strides (r = 0.71** and r = 0.67* respectively). This correlation indicates that in order to propel himself over a long distance in the forward direction, the sprinter must also produce upward forces. However, reaching an optimal amplitude of stride should not result in an excessive increase in vertical impulse, as this would be detrimental to the

cela supposerait une durée d'appui plus longue au sol, ce qui n'est pas recherché par le sprinter. Cette hypothèse est soutenue par certains auteurs qui mentionnent que les meilleurs sprinters limitent leur impulsion verticale au cours de l'appui de course (Mann et Herman, 1985).

Par ailleurs, nos résultats montrent que le pic vertical et l'impulsion verticale sont corrélés positivement avec l'amplitude des foulées (respectivement, r = 0.71** et r = 0.67*). Ce qui laisse à penser que pour se projeter sur une grande distance vers l'avant, le sprinter devrait également produire des forces vers le haut. Toutefois, l'acquisition d'une amplitude de foulée optimale, ne devrait pas l'amener à augmenter de façon excessive son impulsion verticale ; ce qui pourrait nuire à la brièveté de l'appui.

La figure 3 montre la corrélation entre l'impulsion verticale normalisée et l'amplitude moyenne. Elle indique que pour développer une amplitude moyenne donnée, les sprinters devraient être capables de produire une impulsion verticale correspondant à un certain nombre de fois leur poids de corps.

Dans notre étude, l'amplitude moyenne des foulées, mesurée après 40 m de course à vitesse maximale, est de 2.29 m (± 0.08) pour l'ensemble des coureurs, soit en moyenne 2.11 fois (± 0.05) la longueur de leur jambe. Les trois meilleurs sprinters ne présentent pas une amplitude des foulées supérieure aux autres : 2.27 m en moyenne (2.11 ± 0.08 en valeur normalisée). La vitesse plus élevée de ces coureurs est due à une fréquence de foulées supérieure (3.96 Hz en moyenne pour ce groupe et 3.74 Hz pour les huit autres). Les sprinter les plus rapides de notre étude produisent également une impulsion verticale sensiblement inférieure à celle des autres (en valeur normalisée : 220.52 en moyenne pour les plus rapides, 237.80 pour les huit autres).

La durée de l'appui n'est pas le seul indicateur de la performance, l'allure des courbes de réaction du sol peut donner des indications sur le comportement en course. La figure 4 montre

Figure 3 : Corrélation entre l'amplitude moyenne des foulées et l'impulsion verticale (les 3 signes différents indiquent la position des sprinters les plus rapides)
Correlation between average stride amplitude and vertical impulse (the 3 different symbols represent the three fastest sprinters)

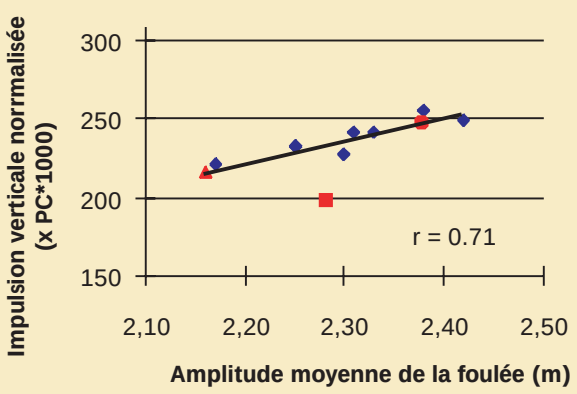
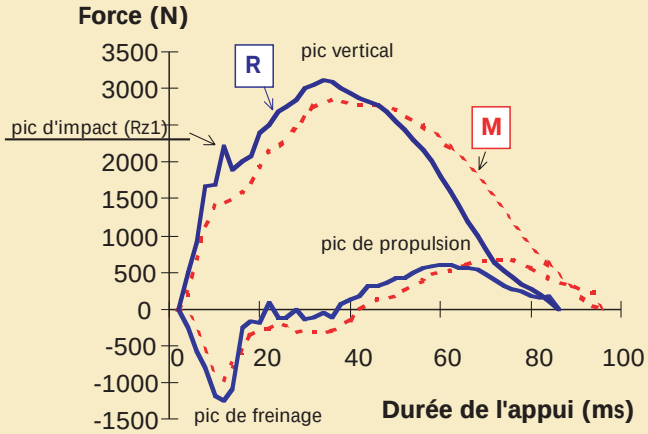


Figure 4 : Forces exercées à l'appui par deux sprinters - Contact forces applied by two sprinters.



que l'allure des courbes de réaction du sol peut être différente d'un coureur à l'autre et riche d'enseignements. Nous constatons en effet que, bien que le sujet R présente une durée d'appui courte (0.082s), ce qui est un comportement recherché, il présente également un premier pic de force verticale de grande amplitude, ce qui témoigne d'un choc d'impact au moment du contact au sol. Selon certains auteurs, ce pic serait révélateur de la position et de la vitesse du pied au moment du contact (Payne, 1983 ; Williams, 1985). Or les sprinters présentent généralement une prise de contact au sol en position haute sur la plante des pieds qui tendrait à atténuer ce choc. (Mero et coll., 1992). Il serait intéressant de vérifier chez ce sprinter l'incidence de l'entraînement technique sur l'allure des courbes de réaction du sol. Pour lui, cet entraînement doit viser à

GB

on average for the 3 fastest runners and 3.74 Hz for the 8 others). The fastest sprinters in our study also produce a vertical impulse that is slightly lower-than that produced by the other runners (in standardised values: 220.52 on average for the 3 fastest runners and 237.80 for the 8 others).

The duration of the contact is not the only indicator of performance. The pattern of the ground reaction curves can also provide an indication of performance.

Figure 4 shows how ground reaction curves can differ from one athlete to another and gives an indication of the information they can provide.

The figure shows that, even if subject R has a short contact (0.082s), which is positive for the athlete, his first peak in vertical force is high, indicating a heavy impact when contact with the ground occurs. According to some authors, this peak is indicative of the position and the speed of the foot at the moment of contact with the ground (Payne, 1983 ; Williams, 1985).

Sprinters usually come into contact with the ground in a high position and on the ball of the foot, which would tend to attenuate this impact (Mero and coll., 1992). For the sprinter in question, it would be useful to check the effect of technical training on the pattern of the ground reaction curves.

This particular runner needs training to retain a short contact with the ground whilst reducing the force of the impact.

The vertical impulse is significantly correlated, both positively with the propulsion impulse (r=0.80***) and negatively with the braking impulse (r =0.86***), thus showing that the increase in an impulse in one axis impacts the impulse in the other axis and that the ratio between the vertical and horizontal impulses tends to remain constant.

Therefore, the runner has to find the right compromise between the impulses in the vertical and horizontal planes, an observation that confirms the earlier statement regarding stride length.

duration of the foot-to-ground contact.

Figure 3 shows the correlation between the standardised vertical impulse and average stride amplitude. The figure indicates that in order to reach a given average stride length, the runner must be able to produce a vertical impulse that corresponds to a given multiple of his body weight.

In our study, average stride length measured after 40m of running at full speed was 2.29m (±0.08) for all of the runners, which corresponds on average to 2.11 times (±0.05) the length of their legs.

The stride length of the three fastest sprinters (2.27 m on average, 2.11 ±0.08 as a standardised value) is no longer than that of the other runners.

The higher speeds achieved by these runners is the result of a higher stride frequency (3.96 Hz

conserver une durée d'appui courte tout en réduisant le choc de l'impact.

L'impulsion verticale est corrélée de façon significative, d'une part positivement avec l'impulsion de propulsion (r=0.80***), et d'autre part négativement avec l'impulsion de freinage (r =- 0.86***). Ce qui montre que l'élévation d'une impulsion dans un axe influe sur l'impulsion dans un autre axe et que le rapport entre les impulsions verticale et horizontales tend à rester constant. Le coureur doit donc trouver le juste compromis entre la production d'impulsion dans le plan vertical et dans le plan horizontal. Ce qui confirme ce qui a été mentionné précédemment à propos de l'amplitude des foulées.

Cinématique de l'appui à pleine vitesse
(figures 5 et 6)

Les valeurs segmentaires présentées dans le tableau 2 montrent que pendant l'appui de course, les variations angulaires au niveau du genou de la jambe d'appui sont de faible amplitude : en moyenne 13.91° pour la flexion et 12.64° pour l'extension.

Par ailleurs, les résultats de notre étude indiquent que les durées d'appui les plus brèves sont liées à une moindre extension de la jambe. En effet, un appui bref va dans le sens d'une moindre extension d'une part de la hanche (r = 0,65*) et d'autre part du genou (r = 0,67*).

Ce qui est conforme aux données de la littérature (Mann et Herman, 1985 ; Mann, 1986) qui indiquent que la brièveté de l'appui ne permet pas une extension complète de la jambe.

Chez les sprinters, nous avons constaté qu'il existait une relation significative entre le déplacement horizontal du centre de masse (dGxA) et la durée du contact au sol (r = 0.67*).

Ainsi, l'appui bref recherché ne peut permettre de produire un grand déplacement du centre de masse.

Cette variable (dGxA) est également liée de façon significative à l'impulsion verticale (r = 0.63*), et à l'impulsion de freinage (r = -0.63*).

Tableau 2 : Résultats des variables cinématiques
Kinematic variables

	Moyenne *Average*	Ecart-Type *Std Deviation*
Amplitude moyenne (m) *Average amplitude (m)*	**2,29**	0,08
Amplitude / taille *Amplitude / size*	**1,26**	0,05
Amplitude / longueur jambe *Average / leg length*	**2,11**	0,05
Distance de contact (dxt_1) *Contact distance (dxt_1)*	**0,33**	0,05
Distance de décollage ($dxt_{1\text{-}0}$) *Take-off distance ($dxt_{1\text{-}0}$)*	**0,51**	0,07
Amplitude de CM à l'appui (dxGA) *CM amplitude upon contact (dxGA)*	**0,85**	0,10
Angle cuisse/verticale au contact ($\alpha 1$) *Thigh vertical angle upon contact ($\alpha 1$)*	**-28,45**	4,84
Angle cuisse/verticale en fin d'appui *Thigh-vertical angle at end of contact*	**17,91**	6,73
Extension de hanche à l'appui *Hip extension upon contact ($\alpha 2$)*	**46,36**	6,19
Angle du genou au contact ($\alpha 2$) *Knee angle upon contact ($\alpha 2$)*	**155,82**	7,44
Angle minimum du genou *Minimum knee angle*	**141,91**	6,83
Angle du genou en fin d'appui *Knee angle at end of contact*	**154,55**	7,20
Flexion du genou à l'appui *Knee flexion upon contact*	**13,91**	3,70
Extension du genou à l'appui *Knee extension upon contact*	**12,64**	5,80
Angle de la cheville au contact ($\alpha 3$) *Ankle angle upon contact ($\alpha 3$)*	**128,09**	10,18
Angle minimum de la cheville *Minimum ankle angle*	**105,36**	8,46
Angle de la cheville en fin d'appui *Ankle angle at end of contact*	**133,36**	10,41
Flexion de la cheville *Ankle flexion*	**22,73**	4,86
Extension de la cheville *Ankle extension*	**28,00**	8,07

Figure 5 : Distances de contact et de décollement (valeurs moyennes)
Contact and take-off distances (average values)

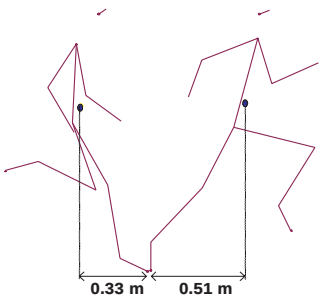
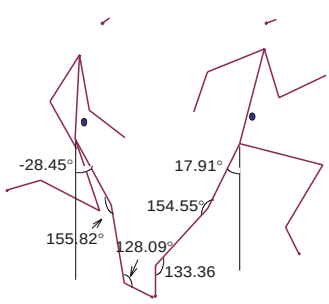


Figure 6 : Angles articulaires au contact et au décollement (valeurs moyennes)
Joint angles upon contact and take-off (average values)



Contact kinematics at full speed
(Figures 5 and 6)

The segmental values shown in Table 2 show that angular variations in the knee of the stance leg are minor during foot-to-ground contact (on average, 13.91° for flexion and 12.64° for extension).

The results of our study also show that short contact periods are linked to reduced leg extension. The shorter the contact, the smaller the extension of both the hip (r = 0.65*) and the knee (r = 0.67*).

These findings correspond to the published data (Man and Herman, 1985 ; Mann, 1986) indicating that the short duration of the contact prevents the leg from extending fully.

We observed that sprinters demonstrate a significant relationship between the horizontal movement of the center of mass (dGxA) and the duration of ground contact (r = 0.67*).

A short contact prevents any major displacements of the center of mass. This variable (dGxA) is also significantly related to the vertical impulse (r = 0.63*), and the braking impulse (r = -0.63*).

Furthermore, the movement of the mass centre upon contact is correlated with the extension of the hip (r = 0.76***), flexion of the knee (r = 0.72**) and flexion of the ankle (r=0.82***) (Figure 7).

These results further underline the need to limit angular variations of the leg during foot-to-ground contact at full speed in order to control both the duration of the contact and the amplitude of the movement of the center of mass, despite the fact that variations in the articulation of the ankle are greater than those of the knee (see Table 2).

Looking closely at the correlations reveals that the contact distance is related to ankle flexion (r = 0.74***).

The further ahead of the body the contact occurs, the greater the flexion of the ankle. The ankle articulation appears to play a complex role, both in the kinematics and the dynamics of foot-to-ground contact at full speed.

D'autre part, le déplacement du centre de masse à l'appui est en relation avec l'extension de la hanche (r = 0.76***), la flexion du genou (r=0.72**) et la flexion de la cheville (r =0.82***) (figure 7).

Ces résultats confirment la nécessité déjà mentionnée de limiter les variations angulaires de la jambe au cours de l'appui à pleine vitesse, de façon à agir à la fois sur la durée de l'appui et sur l'amplitude du déplacement du centre de masse, et ceci bien que les valeurs du tableau 2 montrent que l'articulation de la cheville présente de plus grandes variations que celles du genou.

L'étude des corrélations nous indique que c'est la distance de contact qui est liée à la flexion de la cheville (r = 0.74***).

Ainsi, plus le contact se fait en avant du corps et plus la cheville se fléchit. L'articulation de la cheville semble jouer un rôle complexe autant dans la cinématique que dans la dynamique de l'appui à vitesse maximale. Nous avons également pu mettre en évidence par des corrélations significatives, que plus la cheville se fléchit pendant l'appui, plus les impulsions exercées au sol sont élevées et plus la transition entre le freinage et la propulsion se fait tardivement, ce qui est à éviter chez le sprinter.

En sprint, il est reconnu que l'augmentation de la distance de contact (dxtl) est à l'origine d'une élévation de l'impulsion de freinage produite au cours de l'appui et donc d'une baisse de la vitesse horizontale. Notre étude confirme cet aspect et met en évidence des corrélations significatives entre la distance de contact et les impulsions verticale (r = 0.82***) et de freinage (r = -0.73***) (figure 8). Nous avons également pu relever qu'avec une augmentation de la distance de contact, l'impulsion de propulsion s'élève aussi (r = 0.72**).

Ce résultat renforce la notion d'interactions existant entre les paramètres et indique que le sprinter doit trouver une distance de contact optimale ; celle qui lui permettrait d'agir sur son impulsion de propulsion en limitant le freinage horizontal.

Figure 7 : Relation entre l'amplitude de CM à l'appui et la flexion de la cheville - CM amplitude upon contact versus ankle flexion

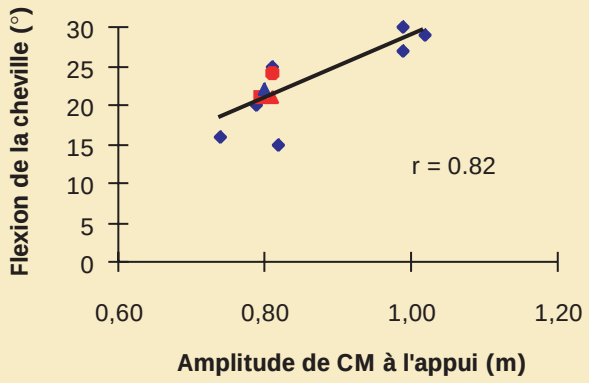
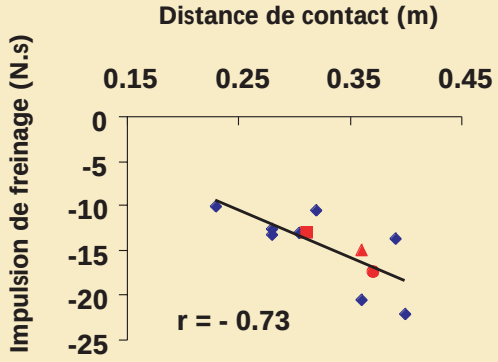


Figure 8 : Relation entre la distance de contact et l'impulsion de freinage - Contact distance versus braking impulse



Conclusion

L'analyse faite dans cette étude confirme certains résultats donnés par la littérature sur les variables segmentaires liées à la durée de l'appui et sur celles qui sont impliquées dans le freinage de la vitesse horizontale en sprint.

Notre étude indique qu'au cours de l'appui de sprint le déplacement horizontal du centre de masse est lié à la durée de l'appui et que plus ce déplacement augmente et plus les impulsions verticale et de freinage horizontal s'élèvent.

Elle montre également que la valeur de cette variable dépend d'une part de la valeur de flexion du genou et de la cheville et d'autre part de la valeur d'extension de la hanche.

Cette étude tend à renforcer l'attention portée dans l'entraînement du sprinter, sur une prise de contact proche de la verticale du centre de masse et sur la nécessité d'une certaine raideur de la jambe d'appui.

Le sprinter doit par ailleurs, optimiser l'impulsion verticale pro-

GB

Conclusion

The results of this study confirm results found in existing literature on the segmental variables impacting the duration of contact and the variables that affect the reduction of horizontal speed in sprinting.

Our study shows that the movement of the center of mass during foot-to-ground contact is determined by the duration of the contact and that as the movement of the center of mass increases, the vertical impulses and horizontal braking also increase. The study also shows how the value of this variable depends on both knee and ankle flexion and on hip extension.

The study confirms the attention that must be paid in training for sprints to achieving a point of contact that is close to the vertical axis of the center of mass and to the need of a good stiffness of the supporting leg to remain relatively straight.The sprinter must also optimise vertical impulse in order to achieve a satisfactory stride length without increasing the duration of the foot-to-ground contact.

Nevertheless, we also observed that even the fastest subjects may have behaviours that are different from those that are scientifically recognised as the most efficient. By way of example, two of the fastest runners establish contact further in front of their center of mass than the other athletes and demonstrate a high first peak in vertical force, which is indicative of sharp shock with the ground.

It would be useful to take other measurements to check whether these behaviours change as a result of technical preparation and whether the segmental changes resulting from training have any repercussions on their dynamics.

The protocol we used should be able to assess how the multijoint pattern in sprinters is designed for a foot-to-ground contact optimal at full speed.

This protocol should provide coaches with reference data that are reliable enough to track changes in a number of variables during the athletes' training programmes.

We also established significant correlations indicating that the greater the flexion of the ankle during contact, the higher the impulses applied to the ground and the later the switch from braking to propulsion, which is to be avoided by sprinters.

In sprinting, it is known fact that an increase in the contact distance (dxtl) causes the braking impulse produced during ground contact to rise, thus resulting in a drop in horizontal speed.

This observation is confirmed by our study, which establishes significant correlations between contact distance and vertical impulse (r=0.82***) and braking impulse (r=-0.73***) (Figure 8).

We also observed that an increase in the contact distance causes the propulsion impulse to rise (r = 0.72**), an observation that confirms the notion of interaction existing between the different parameters and indicates that the sprinter must find the optimal contact distance.

Finding this optimal distance will enable the sprinter to improve his propulsion impulse, while limiting horizontal braking.

duite, afin d'atteindre une amplitude de foulée suffisante sans nuire à la brièveté de son appui au sol.

Cependant, nous avons constaté que même les sujets les plus rapides pouvaient présenter des comportements différents de ceux dont l'efficacité est scientifiquement reconnue.

Par exemple, deux d'entre eux prennent contact en avant de leur centre de masse, à une distance supérieure à celle des autres sprinters, et présentent un premier pic de force verticale élevé, signe d'un choc important lors du contact au sol.

Il serait intéressant de vérifier par d'autres mesures, si ces comportements évoluent avec la préparation technique et si les modifications segmentaires induites par l'entraînement ont des répercussions au plan dynamique.

Le protocole que nous avons mis en place devrait permettre d'apprécier comment le sprinter s'organise pour optimiser son appui de course à pleine vitesse. Il devrait donner aux entraîneurs des éléments de référence et de comparaison suffisamment fiables pour suivre l'évolution de certaines variables au cours de l'entraînement de leurs athlètes.

Bibliographie restreinte

- **Kunz H. & Kaufmann D.A. (1981) :**
  Biomechanical analysis of sprinting : Decathletes versus champions. British Journal of Sports Medicine, 15 : 177-181.
- **Mann R.V. & Herman J. (1985) :**
  Kinematic analysis of olympic sprint performance : men's 200meters. International Journal of Sport Biomechanics, 1 : 151-162.
- **Mann R.V. (1986) :**
  The biomechanical analysis of sprinters. Track technique, 94 : 3000-3003.
- **Mero A. , Komi V. & Gregor R. J. (1992) :**
  Biomechanics of sprint running. A review. Sports Med 13, 6, 376-392.
- **Natta F. & Réga C. (2001).**
  Analyse cinétique et cinématique du départ de sprint en starting-blocks et de la foulée de course à vitesse maximale. Rapport de recherche auprès du Ministère de la Jeunesse et des Sports. Avenants n°10 et 11 à la convention INSEP/FFA.
- **Payne A. H. (1983) :**
  Foot to ground contact forces of elite runners. Matsui H. & Kabayashi K. (Eds). Biome-chanics VIII-B, Human Kinetics Publishers, Champaign ILL, 746-753.
- **Williams (1985) :**
  Biomechanics of running. Ex. Sports Sciences Review, 13, 389-441.

Restricted bibliography

- **Kunz H. & Kaufmann D.A. (1981) :**
  Biomechanical analysis of sprinting : Decathletes versus champions. British Journal of Sports Medicine, 15 : 177-181.
- **Mann R.V. & Herman J. (1985) :**
  Kinematic analysis of olympic sprint performance : men's 200meters. International Journal of Sport Biomechanics, 1 : 151-162.
- **Mann R.V. (1986) :**
  The biomechanical analysis of sprinters. Track technique, 94 : 3000-3003.
- **Mero A. , Komi V. & Gregor R. J. (1992) :**
  Biomechanics of sprint running. A review. Sports Med 13, 6, 376-392.
- **Natta F. & Réga C. (2001).**
  Analyse cinétique et cinématique du départ de sprint en starting-blocks et de la foulée de course à vitesse maximale. Rapport de recherche auprès du Ministère de la Jeunesse et des Sports. Avenants n°10 et 11 à la convention INSEP/FFA.
- **Payne A. H. (1983) :**
  Foot to ground contact forces of elite runners. Matsui H. & Kabayashi K. (Eds). Biome-chanics VIII-B, Human Kinetics Publishers, Champaign ILL, 746-753.
- **Williams (1985) :**
  Biomechanics of running. Ex. Sports Sciences Review, 13, 389-441.







