

COUT ENERGETIQUE ET PERFORMANCE EN SPRINT : MODELISATION

L. M. Arsac

Faculté des Sciences du Sport et de l'Education Physique, 12 avenue Camille Jullian, 33607 Pessac cedex, France.

Introduction

Dès 1984 un modèle énergétique de la performance en course à pied sur piste a été proposé par PE di Prampero sous la forme d'une équation différentielle où énergie métabolique et énergie mécanique sont équilibrées, au rendement près.

$$E_{aer} \cdot T^{-1} + E_{ana} \cdot T^{-1} = (C + \square^{-1} \cdot k \cdot v^2 + \square^{-1} \cdot \square \cdot v^2 \cdot d^{-1}) \cdot v \quad \text{avec } v = d \cdot T^{-1} \quad \text{équation (1)}$$

Dans laquelle $E_{aer} \cdot T^{-1}$ et $E_{ana} \cdot T^{-1}$ représentent le débit moyen d'énergie métabolique respectivement aérobie et anaérobie fournie ($J \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$) pour une course de durée T (s), C le coût énergétique métabolique mesuré sur tapis roulant à vitesse sous-maximale ($J \cdot kg^{-1} \cdot m^{-1}$), $k \cdot v^2$ le coût mécanique aérodynamique ($C_{aéro}$) affecté d'un rendement $\square = 0.50$ et $\square \cdot v^2 \cdot d^{-1}$ le coût mécanique lié à l'accélération horizontale (C_{cin}) de la masse du coureur ($J \cdot kg^{-1} \cdot m^{-1}$) affecté d'un rendement $\square = 0.25$; d est la distance à parcourir.

Ce modèle (**modèle d·T⁻¹**) a été appliqué avec succès pour comparer performance réelle et performance prédite chez des coureurs de 800m à 5000m (Di Prampero et al. 1993). Pour ce qui concerne les courses de demi-fond et les courses de fond, C représente au moins 85% (800m) voire 91% (5000m) du coût total tandis que $C_{aéro}$. (resp. 12% et 8%) et surtout C_{cin} . (resp. 3% et 0,01%) ont une importance bien moindre. Ceci explique que les auteurs se sont peu interrogés à ce jour sur l'expression théorique de $C_{aéro}$. ($\square^{-1} \cdot k \cdot v^2$) et C_{cin} . ($\square^{-1} \cdot \square \cdot v^2 \cdot d^{-1}$) en ce qui concerne la course à pied. Pourtant, dans les courses de sprint telles que l'on peut les appréhender en finale de championnat du Monde, $C_{aéro}$. mais surtout C_{cin} . prend une importance considérable : $C_{aéro}$. parce que les sprinters mâles passent plus de 70% de leur temps de course à une vitesse supérieure à 11 m·s⁻¹; C_{cin} . parce qu'ils passent de 0 à 9 m·s⁻¹ en moins de 1,8s et que la phase d'accélération représente 60% du temps total de course (Brüggemann et al. 1999).

Compte tenu des caractéristiques de la courbe de vitesse décrite pour le sprinter, il n'est pas convenable de considérer la vitesse moyenne ($d \cdot T^{-1}$) pour caractériser la performance car contrairement aux plus longues distances, $d \cdot T^{-1}$ est bien loin de caractériser la vitesse du sprinter à chaque instant. Il semble logique que C_{cin} . et $C_{aéro}$. soient calculés sur la base de la variation instantanée de la vitesse de course. Pour cela, un modèle itératif proposé par GJ van Ingen Schenau (1991) est plus approprié,

$$Paer_{(t)} + Pana_{(t)} = C \cdot v_{(t)} + \square^{-1} \cdot k \cdot v_{(t)}^3 + \square^{-1} \cdot \square \cdot v_{(t+1)}^2 - \square^{-1} \cdot \square \cdot v_{(t)}^2 \quad \text{équation (2)}$$

avec lequel une courbe théorique de vitesse peut être construite de façon itérative tous les 0,01s (**modèle V_(t)**), puis ajustée à la courbe observée (vidéo+laser) d'un sprinter.

L'objectif de ce travail est de montrer les différences de coût énergétique du sprint estimé par l'une ou l'autre des applications d'un même modèle énergétique et les conséquences sur la relation entre aptitude métabolique et performance prédite.

Méthode

En finale des championnats du monde d'Athènes 1997, M Greene court le 100m en 9,86s ou 9,73s hors temps de réaction; $d \cdot T^{-1}$ de l'équation (1) devient donc 10,28m·s⁻¹. **C, C_{aéro}. et C_{cin}. du modèle d·T⁻¹ peuvent être calculés.**

La course est enregistrée avec des moyens vidéo et un système laser permettant de connaître le déplacement du coureur en fonction du temps toutes les 0,02s. Cette cinétique a servi de référence pour ajuster le modèle décrit dans l'équation (2) par la méthode des moindres carrés. Ainsi, le modèle ajusté à la courbe de M. Greene compte tenu de sa morphologie et des conditions environnementales de la course devient :

$$18,38 \cdot (1 - e^{-0,0384t}) + 125,6 \cdot e^{-0,126t} = 3,98 \cdot v_{(t)} + \square^{-1} \cdot 0,0036 \cdot v_{(t)}^3 + \square^{-1} \cdot \square \cdot v_{(t+1)}^2 - \square^{-1} \cdot \square \cdot v_{(t)}^2$$

Dans cette nouvelle expression de l'équation 2, cinq paramètres ont des valeurs fixées arbitrairement sur la base de résultats publiés dans la littérature, il s'agit : des caractéristiques du métabolisme aérobie, de C ($3,98 J \cdot kg^{-1} \cdot m^{-1}$), et du rendement (0.5 et 0.25). La constante aérodynamique ($0,0036 kg^{-1} \cdot m^{-1}$) est calculée en fonction de la masse volumique de l'air, de la taille et de la masse du coureur. La puissance maximale anaérobie ($125,6 W \cdot kg^{-1}$) et la constante caractérisant sa décroissance en fonction du temps ($-0,1254 s^{-1}$) sont les paramètres libres que le modèle calcule pour le meilleur ajustement de la courbe de vitesse du sprinter (figure 1).

C, C_{aéro}. et C_{cin}. du modèle V_(t) peuvent être calculés à chaque instant et moyennés sur 100m pour être comparés aux résultats obtenus avec l'équation (1) du modèle d·T⁻¹.

Résultats

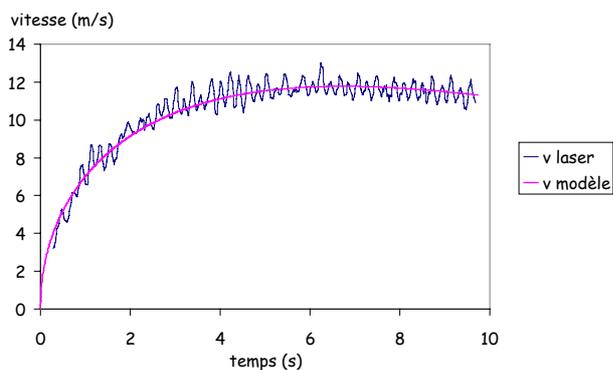


Figure 1. Evolution de la vitesse en fonction du temps : mesure laser et modèle (équation 2) ajusté à la mesure.

Modèle d·T ⁻¹	C=3,98 (56%)	C _{aéro} .=0,84 (12%)	C _{cin} .= 2,35 (33%)	perf. prédite 9,23s
Modèle V _(t)	C=3,98 (43%)	C _{aéro} .=0,80 (09%)	C _{cin} .= 4,42 (48%)	perf. prédite 9,73s

Tableau 1. Coûts énergétiques exprimés en $J \cdot kg^{-1} \cdot m^{-1}$ et en % du coût total du sprint.

Discussion

La relation établie entre la performance au cours du sprint et les propriétés métaboliques du sprinter dépend du coût énergétique. $C_{aéro}$. calculé par méthode d·T⁻¹ ou V_(t) et procédure itérative est assez semblable, soit $\pm 10\%$ du coût total. Il semble plus raisonnable de calculer C_{cin} . par méthode V_(t). Avec ce choix, le coût énergétique lié à la phase d'accélération représente la moitié du coût total. La méthode « classique » d·T⁻¹ estime que C_{cin} . représente seulement le tiers du coût total et conduit à une surestimation de la performance du sprinter : 9,23s vs. 9,73s hors temps de réaction. Une autre utilisation du modèle V_(t) négligeant le rendement affecté à C_{cin} . et $C_{aéro}$. (Ward-Smith 1999) prédit un pic de vitesse de 16,5m·s⁻¹, C_{cin} . = 2,02 $J \cdot kg^{-1} \cdot m^{-1}$ et 6,79s au 100m !

Références

- BRÜGGEMANN GP, KOSZEWSKI D, MULLER H (1999) Biomechanical research project Athens 1997 final report. Oxford :Meyer & Meyer Sport (UK) Ltd.
- DI PRAMPERO PE, CAPELLI C, PAGLIARO P, ANTONUTTO G, GIRARDIS M, ZAMPARO P, SOULE RG (1993) Energetics of best performances in middle-distance running. *J Appl Physiol* 74: 5 2318-2324.
- VAN INGEN SCHENAU GJ, JACOBS R, DE KONING JJ (1991) Can cycle power predict sprint running performance ? *Eur J Appl Physiol* 63: 255-260.
- WARD-SMITH AJ (1999) The bioenergetics of optimal performances in middle-distance and long-distance track running. *J Biomech* 32: 461-465.