



***PARTICULARITÉS BIOMÉCANIQUES ET
PHYSIOLOGIQUES DE LA COURSE À PIED EN
PENTE***

Migy Thibault ; sous la direction de Cyril Besson

Stage « exploration fonctionnelle », juillet 2019



Introduction

Trois-cent trente kilomètres et vingt-quatre mille mètres de dénivelé positif. Voici la description du profil de course de l'ultra trail du « Tor des Géants ». Rien qu'à sa lecture, cette phrase donne mal aux jambes.

Et pourtant, cette course du Val d'Aoste ne cesse d'attirer l'intérêt d'un nombre croissant de coureurs. En effet, chaque année, le nombre de préinscrits augmente, et c'est un tirage au sort qui décide de la participation ou non des inscrits. Le nombre de participants est limité à huit cents. L'UTMB (ultra trail du Mont Blanc) avec ses cent soixante-six kilomètres de long et neuf mille cinq cents mètres de dénivelé positif fait également rêver les mordus de trails, mais le nombre de dossards y est également limité. A côté de ces deux géants, les petites courses de trail nationales et régionales connaissent également un grand essor. Chaque année, plusieurs nouvelles courses se rajoutent au calendrier.

La popularité grandissante qui a gagné cette discipline sportive durant les deux dernières décennies a incité les scientifiques à se pencher sur les particularités de ce sport. La littérature à ce sujet est donc vaste. Le but de ce travail est de rassembler les particularités biomécaniques et physiologiques qu'impose les différents types de pentes durant une

course. Car comme nous le savons, les traileurs sont gourmands de dénivelés, qu'il soit positif ou négatif. Alors qu'est-ce que cela implique comme changements par rapport à une course au plat ?



Course en pente sur tapis versus course à l'extérieur

L'avantage du tapis de course est qu'il permet la récolte de données sur différentes pentes et vitesses. Cependant, une course à l'extérieur n'est pas vraiment la même chose qu'une course sur tapis. En effet, l'ambiance stérile d'une course sur tapis n'a rien à voir avec l'environnement changeant d'une course à l'extérieur. Pourtant, à la lecture des articles scientifiques, nous nous rendons vite compte que les scientifiques se basent sur des expérimentations faites sur tapis pour vérifier leurs hypothèses sur la course à pied. Mais est-ce vraiment comparable ?

A plat, aucune différence significative n'apparaît au niveau biomécanique entre une course au plat sur tapis et à l'extérieur hormis la différence de sol et surtout l'absence de résistance de l'air (Van Ingen Schenau et al., 1980). Si besoin, le manque de résistance à l'air peut être compensé avec un angle d'inclinaison de 1% qui semble ainsi produire environ la même force contraire que la résistance à l'air dans une fourchette de vitesses correspondant aux sports de course (Jones et al., 1996).

Du coup les données récoltées sur tapis sont exploitables pour une course au plat à l'extérieur (Riley et al, 2008). Concernant les courses

en pente, des différences ont été relevées dans la comparaison de ces deux modes de course. Cependant, ces différences sont minimes. Il semblerait donc que les données récoltées au travers d'une course en pente sur tapis peuvent être transférées et utilisées pour la course à l'extérieur (Firminger et al., 2018).

Coût énergétique et course à pied

Le coût énergétique est défini par la formule suivante :

$$C = E/v$$

C=coût énergétique / E=énergie métabolique / v=vitesse moyenne sur une période donnée

Le coût énergétique correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour déplacer 1 kg de son poids de corps sur un kilomètre. En gros, le coût énergétique correspond à ce que coûte un déplacement. Un coureur qui arrive à maintenir une dépense énergétique basse avec une vitesse de course moyenne à rapide aura une bonne économie de course. Le coût énergétique est donc un facteur corrélé à la performance. Mais pourquoi mettre autant d'importance sur le coût énergétique durant une course en pente ?

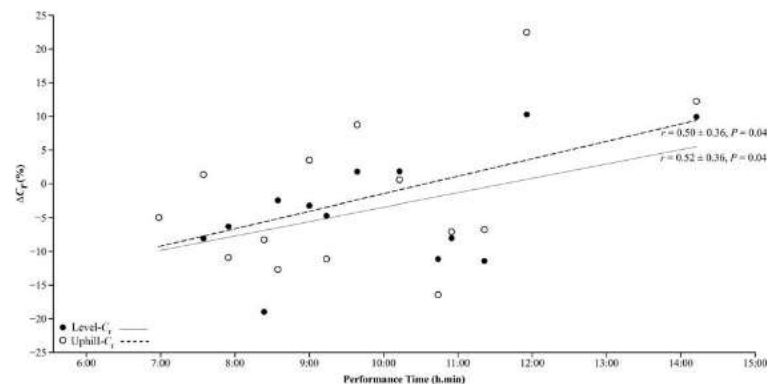


Figure 2. Relationships between the performance time of the MUM and differences in the energy cost of level and uphill running (ΔC_p) between PRE and POST-MUM measured at 10 km · h⁻¹, 0%, and +5%, respectively ($n = 14$). The 90% confidence intervals were omitted for clarity.

Figure 1 : relation entre le temps de performance au à l'ultratrail de Vigolana (IT) et la variation du coût énergétique de la course au plat et à la montée. Tiré de l'article de G. Vernillo et al., 2015.

Comme le décrit cette étude, le coût énergétique est déterminant pour une bonne performance sur un trail. Vernillo et al, ont montré un lien fort entre la variation du coût énergétique au plat et à la montée et la performance des coureurs sur l'ultratrail. L'expérimentation consistait à faire courir quatorze participants avant et après la course de montagne de Vigolana. Cette course de 65 kilomètres et 4000 mètres de dénivelés positifs a lieu dans le Nord de l'Italie, dans la région de Trentino. Les courses pré- et post-ultratrail consistaient en une série de trois courses de cinq minutes à 10 km/h. Pour chacune des courses, une inclinaison différente était imposée : plat (0%), montée (5%) et

descente (+5%). Le but était de mesurer la variation du coût énergétique entre la première et la deuxième course.

Les coureurs ayant fait le meilleur temps de course ont obtenu la plus petite variation de coût énergétique. Cette relation est encore plus forte pour le coût énergétique en montée. Il semblerait donc qu'être économe en montée est un facteur de performance essentiel en ultra trail (Willis et al., 2019).

Il est donc important d'étudier les aspects biomécaniques et physiologiques qui affectent le coût énergétique de la course à pied en pente, de sorte à relever quels sont les éléments sur lesquels il est possible de travailler pour diminuer le coût énergétique.



Facteurs affectant le coût énergétique

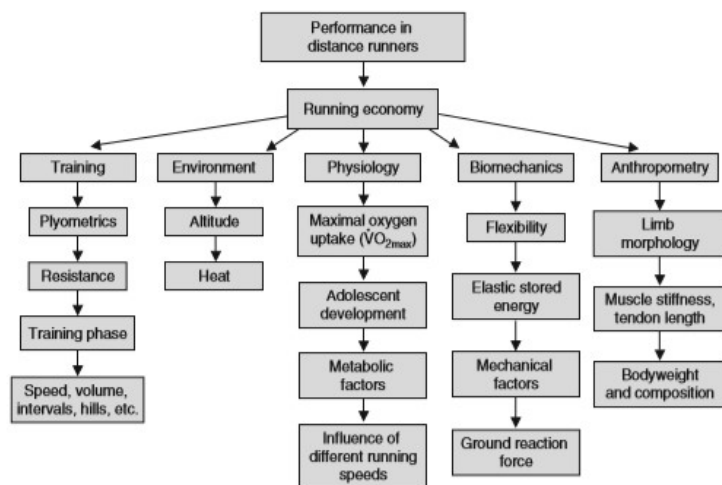


Figure 2. Tableau reflétant les différents facteurs influençant le coût énergétique (Saunders et al., 2004).

Comme le montre la figure 2, le coût énergétique est influencé par plusieurs variables physiologiques et biomécanique. Dans ce petit travail, ce qui nous intéresse, ce sont les modifications de ces paramètres lors des courses en pente.

Modifications biomécaniques à la montée et à la descente

Durant la montée, les réponses biomécaniques changent par rapport à la course au plat. La fréquence de pas augmente, ce qui raccourcit la phase aérienne de foulée. Cette modification engendre un travail mécanique interne plus élevé (Vernillo et al., 2016). Ici, le travail mécanique correspond à l'énergie nécessaire pour déplacer son propre corps sur une distance donnée.

En descente, le phénomène inverse a lieu : la fréquence de pas baisse et la phase aérienne de foulée est plus élevée. Le travail mécanique est donc moins grand. Le besoin en énergie pour se déplacer en descente est donc moindre qu'en montée.

Durant une course de trail, les traileurs ne devraient donc pas adapter un seul type de foulée. En effet, en montée la pose du pied va se faire majoritairement sur l'avant. Une foulée sur l'avant du pied permet la réduction de l'impact sur l'axe transversale du tibia. Lors d'une descente, la foulée prendra une forme différente. La pose des pieds va se faire plus sur l'arrière du pied, ce qui va diminuer le choc dans la direction de l'axe tibial. De ce fait, il semble important pour un coureur de trail de s'entraîner sur différents types de pentes pour habituer sa foulée à tout type de terrains (Giandolini M et al., 2013).

Changements physiologiques imposés par une montée et une descente

Avec la pente, il y a un développement plus important de la force de réaction au sol ainsi que de la force de propulsion. Il y a donc un travail musculaire plus important imposé par la montée. Ce qui provoque un accroissement du coût énergétique lorsque nous passons du plat à la montée (Vernillo et al., 2016).

Mais les dénivelés négatifs imposent également une adaptation musculaire non négligeable. Il s'agit de la force d'impacte au sol. Celle-ci est bien plus élevée en descente qu'au plat. De plus, cela va induire une force de freinage plus grande (Gottschall et Kram, 2005). Durant la phase de freinage, l'absorption de la force par la chaîne articulaire cheville-genou-hanche augmente elle aussi fortement. Une fatigue articulaire s'installe et le risque de blessure augmente.

Cet impact négatif qu'impose la descente au niveau articulaire peut être atténué par une plus grande flexion des genoux. Cela réduit la longueur des pas et induit une baisse des chocs dans l'articulation des genoux durant la descente (Gottschall and Kram, 2005).

Un gros travail excentrique est produit lors de la descente. Les pentes négatives induisent de la fatigue musculaire et altèrent la raideur

musculaire. Cette perte de raideur musculaire va pousser le coureur à adapter une foulée moins économique, ce qui va augmenter son coût énergétique (Vernillo et al., 2015). Le coût restera moins élevé que pour une course au plat, mais cette perte d'efficacité musculaire en pente négative montre l'importance d'incorporer des courses en descente dans ses entraînements ainsi que des exercices de force excentrique pour les membres inférieurs.

Au niveau physiologique, il a également été démontré que les ultra traileurs d'élites ont une consommation nette d'oxygène au plat et en pente très fortement liée (Willis et al., 2019). Cette relation montre que ces athlètes sont particulièrement bien entraînés pour les courses en montée. L'entraînement en pente est donc une composante clef de la performance en ultra trail.

Conclusion

Sur la base des informations synthétisées dans ce travail, nous remarquons l'importance de l'intégration d'entraînements sur des terrains variés, que ce soit en pente ou en descente pour un traileur.

Une adaptation au niveau locomoteur et musculaire permettra alors un abaissement du coût énergétique et une meilleure performance. L'hiver, lorsque les conditions ne permettent pas de s'entraîner à l'extérieur, il est possible de courir sur un tapis en rajoutant de la pente. En effet, nous avons constaté que les mêmes qualités biomécaniques et physiologiques étaient travaillées en courant sur un tapis ou à l'extérieur. Il est également possible de pratiquer d'autres sports, comme le ski de fond ou le ski de randonnée.

L'entraînement de force est également un outil pouvant influencer le coût énergétique. En effet, de nombreuses études ont démontré l'efficacité d'un entraînement de force chez les athlètes d'endurance (G. Millet et al. 2002). Il permet de développer la force de propulsion essentielle en montée ou encore d'augmenter la raideur musculaire qui permet une plus grande économie de mouvement en descente. Tant pour abaisser le coût énergétique ou pour prévenir des blessures, l'entraînement de force est un bon outil complémentaire pour améliorer ses performances en trail.

Bibliographie

- Firminger, Colin R., Gianluca Vernillo, Aldo Savoldelli, Darren J. Stefanyshyn, Guillaume Y. Millet, et W. Brent Edwards. 2018. « Joint Kinematics and Ground Reaction Forces in Overground versus Treadmill Graded Running ». *Gait & Posture* 63:109-13.
- Giandolini, Marlene, Gianluca Vernillo, Pierre Samozino, Nicolas Horvais, W. Brent Edwards, Jean-Benoît Morin, et Guillaume Y. Millet. 2016. « Fatigue Associated with Prolonged Graded Running ». *European Journal of Applied Physiology* 116(10):1859-73.
- Gottschall, Jinger S. et Rodger Kram. 2005. « Ground Reaction Forces during Downhill and Uphill Running ». *Journal of Biomechanics* 38(3):445-52.
- Jones, A.M. & Doust, J.H. A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running. *J Sports Sci* 14, 321–327 (1996).
- Millet, Gregoire P., Bernard Jaouen, Fabio Borrani, et Robin Candau. 2002. « Effects of Concurrent Endurance and Strength Training on Running Economy and .VO(2) Kinetics ». *Medicine and Science in Sports and Exercise* 34(8):1351-59.
- Riley, Patrick O., Jay Dicharry, Jason Franz, Ugo Della Croce, Robert P. Wilder, et D. Casey Kerrigan. 2008. « A Kinematics and Kinetic Comparison of Overground and Treadmill Running ». *Medicine and Science in Sports and Exercise* 40(6):1093-1100.
- vVan Ingen Schenau, G.J. Some fundamental aspects of the biomechanics of overground versus treadmill locomotion. *Med Sci Sports Exerc* 12, 257–261 (1980).

- Vernillo, Gianluca, Matheus Aguiar, Aldo Savoldelli, Aaron Martinez, Marlene Giandolini, Nicolas Horvais, W. Brent Edwards, et Guillaume Y. Millet. 2019. « Regular Changes in Foot Strike Pattern during Prolonged Downhill Running Do Not Influence Neuromuscular, Energetics, or Biomechanical Parameters ». *European Journal of Sport Science* 1-10.
- Vernillo, Gianluca, Marlène Giandolini, W. Brent Edwards, Jean-Benoît Morin, Pierre Samozino, Nicolas Horvais, et Guillaume Y. Millet. 2017. « Biomechanics and Physiology of Uphill and Downhill Running ». *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)* 47(4):615-29.
- Vernillo, Gianluca, Aldo Savoldelli, Andrea Zignoli, Spyros Skafidas, Alessandro Fornasiero, Antonio La Torre, Lorenzo Bortolan, Barbara Pellegrini, et Federico Schena. 2015. « Energy Cost and Kinematics of Level, Uphill and Downhill Running: Fatigue-Induced Changes after a Mountain Ultramarathon ». *Journal of Sports Sciences* 33(19):1998-2005.
- Willis, Sarah J., Jules Gellaerts, Benoît Mariani, Patrick Basset, Fabio Borrani, et Grégoire P. Millet. 2019. « Level Versus Uphill Economy and Mechanical Responses in Elite Ultra-Trail Runners ». *International Journal of Sports Physiology and Performance* 14(7):1001–1005.