

Titre: Fatigue neuromusculaire induite par un ultra-trail de 340 km et 24000m de dénivelé positif

Auteurs: Jonas Saugy¹, Nicolas Place², Francis Degache¹, Guillaume Millet³, Grégoire Millet¹.

¹Institut des Sciences du Sport de l'Université de Lausanne, Suisse ; ²Institut des Sciences du Mouvement et de la Médecine du Sport de l'Université de Genève, Suisse ; ³Laboratoire de Physiologie de l'exercice de l'Université de Saint-Etienne, France.

Résumé: Cette étude visait à étudier la baisse de force maximale volontaire de coureurs au cours du « Tor des Géants », une course d'ultra-trail en montagne d'~340 km et ~24000 m de dénivelé positif. Des mesures de la force maximale volontaire isométrique, de force évoquée par des doublets potentialisés et des secousses ont été réalisées sur les extenseurs du genou chez les coureurs (TOR) avant (pre- ; n=25), au 150^{ème} km (mid- ; n=15) et après (post- ; n =15) la compétition ainsi que chez un groupe-contrôle (CO, n=8) soumis au même niveau de privation de sommeil (sommeil total : 9 à 12 h sur 4 nuits). La baisse de force maximale volontaire des extenseurs du genou n'était pas différente entre TOR et CO entre pre- et mid- (-16.1 ± 10.9 vs. -27.1 ± 11.2%, p=0.126). Cette baisse n'était pas non plus différente entre pre et post, mais devint plus importante chez les TOR (-28.9 ± 19.4 vs. -17.6 ± 8.7%, p=0.6). Une baisse de l'amplitude du doublet entre pre-mid et pre-post a été observée chez les TOR. Une différence entre mid-post et pre-post a été observée sur l'amplitude de la secousse. Une différence entre TOR et CO a été observée pour ces deux paramètres en post.

Les effets combinés de la fatigue induite par l'exercice prolongé et la privation de sommeil n'ont jamais été étudiés sur une durée aussi longue. Il semble que sur la première partie de l'épreuve, les coureurs limitent la fatigue neuromusculaire en ajustant leur vitesse de course (pacing). La fatigue neuromusculaire à la suite d'un effort aussi extrême semble plafonner lorsqu'on la compare à des ultramarathons plus courts.

Introduction: La course à pied en montagne a pris un essor considérable ces dernières années. Néanmoins, les informations disponibles sur la fatigue métabolique ou neuromusculaire engendrée au cours de telles épreuves ont été collectées sur des trails de durée inférieure à 50 h et donc réalisable avec une privation de sommeil limitée (Millet, Martin et al. 2003 ; Millet, Tomazin et al. 2011). De plus, aucune étude de ce type n'a permis d'effectuer des mesures durant la compétition. Une étude antérieure menée sur l'Ultra-trail du Mont-Blanc (UTMB,

166 km, 9500 m de dénivelé positif, D+) a mis en évidence une diminution de force maximale des extenseurs du genou de 35% partiellement imputable à des mécanismes contractiles (Millet, Tomazin et al. 2011). Le but de la présente étude était d'étudier l'altération de la fonction musculaire des extenseurs du genou (KE) induite par le « Tor des Géants », une course d'ultra-trail en montagne de ~340 km et ~24000 m de dénivelé positif réalisé entre 80 et 150 h en une seule étape.

Méthodes: 25 sujets volontaires ont pris part à cette étude (Tableau 1). Des mesures de la force maximale volontaire isométrique, du moment de force évoqué par des doublets potentialisés et des secousses sur les KE ont été réalisées chez les coureurs (TOR) avant (pre- ; n = 25), au 150^{ème} km (mid- ; n = 15) et après (post- ; n = 15) la compétition ainsi que chez un groupe contrôle (CO, n = 8) soumis au même régime de privation de sommeil (Tableau 1). Neuf sujets coureurs ont effectué la totalité des tests.

La fatigue périphérique était évaluée par stimulations électriques supra-maximales évoquées au niveau du nerf fémoral immédiatement après une contraction maximale volontaire (CMV). Les sujets devaient effectuer 2 CMVs sans stimulations, suivies de deux CMVs, chacune étant suivie par un doublet haute fréquence (100 Hz) et par une secousse musculaire.

Les CMVs étaient effectuées sur une chaise-ergomètre équipée d'une jauge de contrainte (STS 250 kg, SWJ, China). Les sujets étaient assis sur la chaise formant un angle de genou de 90° et un angle au niveau du tronc de 100°. Des sangles placées sur le torse et le bassin empêchaient tout mouvement compensatoire. Le capteur de force était attaché à la chaise et relié aux athlètes par la cheville solidement fixée au dispositif. Le signal de force a été échantillonné à 1000 Hz en utilisant un système de conversion AD (MP150; Biopac, Goleta, CA).

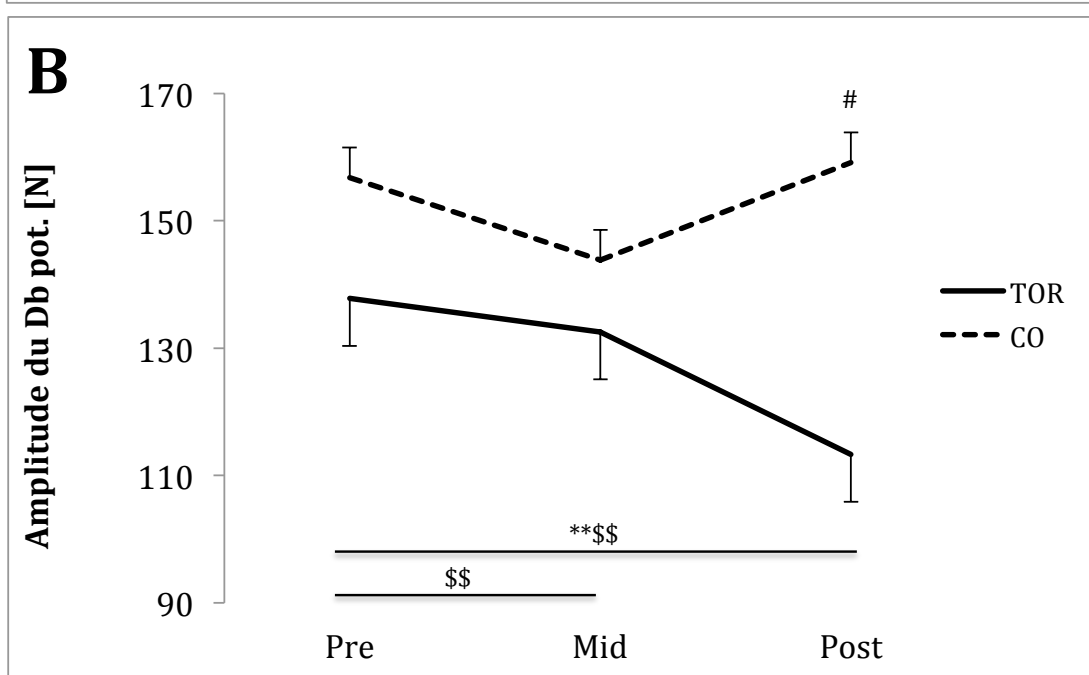
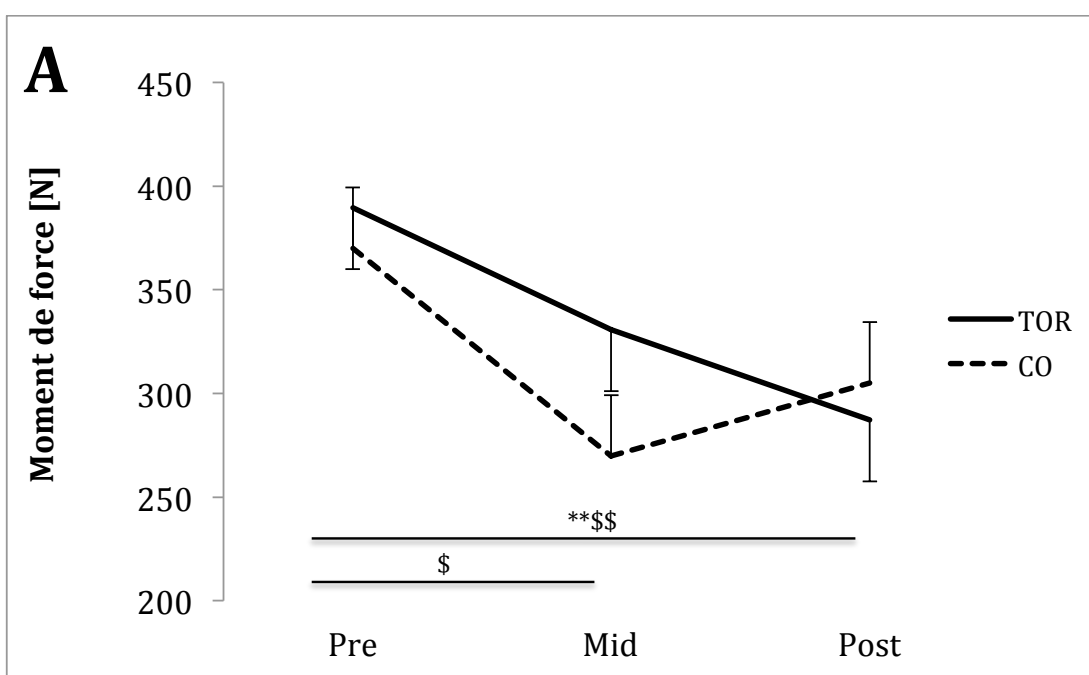
Résultats:

La baisse de force maximale volontaire des extenseurs du genou n'était pas différente entre TOR et CO entre pre- et mid- (-16.1 ± 10.9 vs. $-27.1 \pm 11.2\%$, $p=0.126$) Cette baisse n'était pas non plus différente entre pre et post, mais devint plus importante chez les TOR (-28.9 ± 19.4 vs. $-17.6 \pm 8.7\%$, $p=0.6$, figure 1A). La baisse du doublet potentialisé était différente entre chaque période pour TOR (pre-mid : $-7.5 \pm 6.2\%$, $p=0.048$; pre-post : $-17.9 \pm 17.5\%$, $p<0.001$, figure 1B). Une différence entre TOR et CO a été observée sur ce paramètre en post-test (Figure 1B). Une baisse de la secousse musculaire a été observée entre les trois périodes chez TOR (pre-post : $-28.7 \pm 3.8\%$, $p<0.001$; mid-post $-24.1 \pm 8.9\%$, $p<0.001$) et entre les deux groupes en post-test (63.1 ± 18.9 vs. 95.2 ± 11.5 N, $p=0.002$, pour TOR et CO, respectivement, Figure 1C).

Tableau 1 – Caractéristiques (moyenne ± écart-type) des coureurs (n=9) et des sujets contrôle (n=8).

Groupe	Age [année]	Poids [kg]	Taille [cm]	Sommeil à Donnas (Mid) [h]	Sommeil à la fin (Post) [h]
Coureurs	45.4 ± 10.3	69.8 ± 5.9	173.6 ± 5.5	1.2 ± 1.6	8.6 ± 5.2
Contrôles	29.3 ± 8.1 #	70.9 ± 9.3	174.1 ± 5.6	1.2 ± 1.8	12.3 ± 5.4

: p < 0.001 pour les différences entre Contrôles et Coureurs



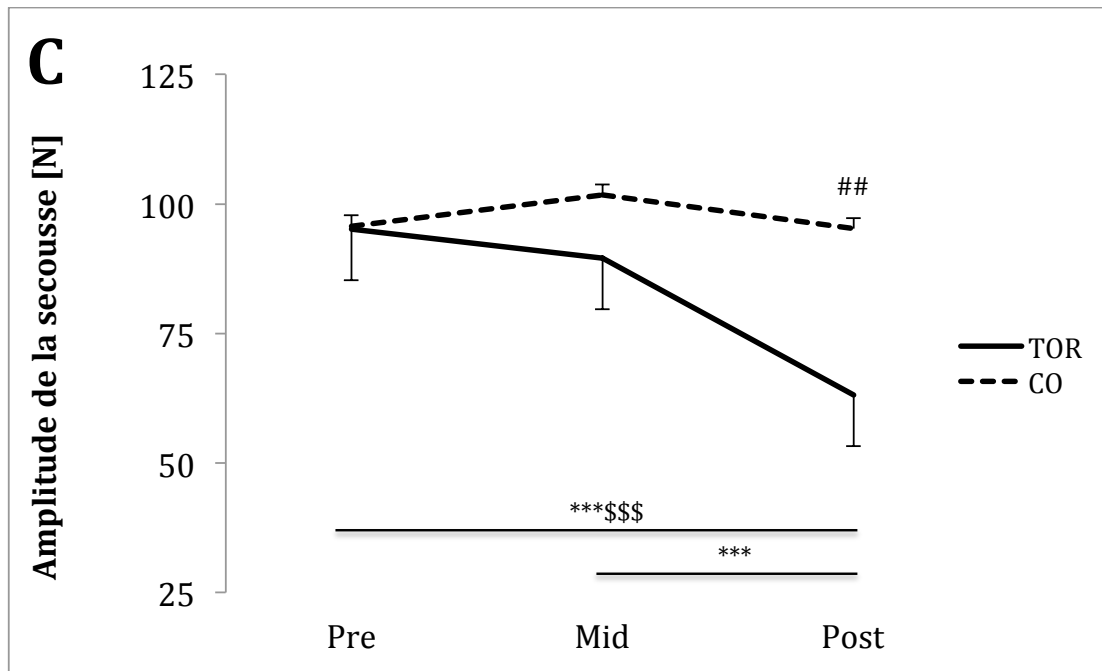


Figure 1 – Altérations de la fonction neuromusculaire sur les extenseurs du genou : A/ contraction maximale volontaire isométrique; B/ Doublet 100 Hz potentialisé et C/ Secousse avant (Pre), à mi-course (Mid) et après (Post) l'épreuve chez les coureurs (n = 9) et les sujets contrôle (contrôles ; n = 8). **P<0.01 ; ***P<0.001 pour les différences entre les mesures chez les coureurs (n=9) ou sujets-contrôle (n=8) ; \$\$, P<0.01 ; \$\$\$, P<0.001 pour les différences entre les mesures chez les coureurs (n=15) et # P<0.05 ; ## P<0.01 pour les différences entre les groupes coureurs et sujets-contrôle.

Discussion/Conclusion:

Les résultats de cette étude montrent la présence d'une fatigue périphérique pour le groupe des coureurs confirmant des résultats précédents (Millet, Tomazin et al. 2011). Pour une distance et un dénivelé équivalent (Mid), la diminution de ces paramètres est plus faible comparée à l'UTMB (-16 vs. -35% pour la CMV, -3 vs. -12% pour le doublet potentialisé et -6 vs. -22% pour la secousse, pour le Tor des Géants et l'UTMB, respectivement). Ces différences peuvent être expliquées par la composante anticipatrice de régulation de l'allure (« pacing ») (Tucker 2009). A l'arrivée des deux compétitions, les altérations neuromusculaires étaient similaires entre le Tor des Géants et l'UTMB (-29% pour les CMV, -18% pour le Db100 et -29% pour la secousse). Ceci confirme l'apparition d'un plateau de fatigue lors d'épreuves d'endurance de longue durée en course à pied (Millet 2011).

Les altérations observées chez le groupe contrôle confirment que la privation de sommeil induit une diminution de la force volontaire (Bulbulian, Heaney et al. 1996). Puisqu'il n'y a pas de différence entre coureurs et sujets-contrôle lors de la première période de course (Pre-Mid), la privation de sommeil engendrerait l'essentiel des

altérations neuromusculaires. Les différences existent entre les deux groupes sur la deuxième partie. La restauration partielle du sommeil (Tableau 1) permettrait ainsi aux sujets contrôle de stabiliser leur force musculaire alors que les effets combinés de la fatigue induite par l'exercice prolongé et la privation de sommeil induiraient une diminution de la force chez les coureurs.

En conclusion, il semblerait que la performance sur ce type d'épreuve se déroulant sur plusieurs jours non-stop (80-150 h) soit fortement influencée par la gestion de l'allure de course et la gestion du sommeil. En ce sens, cette épreuve semble très différente d'ultra-trails de distance plus courte pouvant se dérouler en moins de 50h.

Nom / Date de naissance du premier auteur: Saugy Jonas / 24.07.1984

Bibliographie

- Bulbulian, R., J. H. Heaney, et al. (1996).** "The effect of sleep deprivation and exercise load on isokinetic leg strength and endurance." European journal of applied physiology and occupational physiology 73(3-4): 273-277.
- Millet, G. Y. (2011).** "Can neuromuscular fatigue explain running strategies and performance in ultra-marathons? The flush model." Sports medicine 41(6): 489-506.
- Millet, G. Y., V. Martin, et al. (2003).** "Mechanisms contributing to knee extensor strength loss after prolonged running exercise." Journal of applied physiology 94(1): 193-198.
- Millet, G. Y., K. Tomazin, et al. (2011).** "Neuromuscular consequences of an extreme mountain ultra-marathon." PloS one 6(2): e17059.
- Tucker, R. (2009).** "The anticipatory regulation of performance: the physiological basis for pacing strategies and the development of a perception-based model for exercise performance." British Journal of Sports Medicine 43(6): 392-400.