

# Les effets immédiats des courses d'ultra-endurance : état des lieux et conséquences pour la santé

## Short-term effects of ultra-trail : state-of the art and consequences on health

GRÉGOIRE MILLET (PhD) <sup>(1)</sup>, PASCAL BALDUCCI (PhD) <sup>(2)</sup>

1 Institut des sciences du sport de l'Université de Lausanne (ISSUL), Université de Lausanne (UNIL), Lausanne, Suisse

2 Laboratoire Inter Universitaire de Biologie de la Motricité de Lyon (LIBM), Université Claude Bernard Lyon 1 et Université Jean Monnet Saint Etienne, Lyon, France

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêt en relation avec cet article.

### Keywords

Ultra-marathon, ultra-distance, fatigue, inflammation

### Mots clés

Ultra-marathon, ultra-distance, fatigue, inflammation

### Abstract

**Introduction:** the recent development of mountain ultra-marathon (MUM) competitions raises several questions to the health professionals, the runners and the sport scientists concerning the potentially deleterious short-, mid- or long-term consequences of these «extreme» events. This article aims to present an update on inflammatory and hematological responses to MUM, and their consequences on cardiac and neuromuscular fatigue and gastrointestinal disorders.

**Development:** a pragmatic review of the literature was conducted for this update, as the scientific body of knowledge remains fragmented in these areas. Only the acute responses will be addressed because the data on long-term effects are insufficient to date. Overall, it can be stated that ultra-endurance events induce a large inflammation with severe effects on several physiological functions.

**Discussion:** these results raise many issues concerning the prevention and the training management. While short-term effects are beginning to be better investigated, long-term health implications remain uncertain.

**Conclusion:** the physiological mechanisms associated to MUMs are very specific and widely different from those observed in shorter distance road running races (marathon for example). To date, it remains difficult to estimate how deleterious these events are on the runners' health. Paradoxically, the very low exercise intensity observed during very long races might limit some muscular or cardiac damages. Further longitudinal studies are needed to understand better the effects of MUMs on the runners' health, including also the osteo-joint system.

### Résumé

**Introduction:** le récent développement des compétitions d'ultra-trail en milieu montagnard s'accompagne de multiples questionnements relatifs aux conséquences potentiellement délétères à court, moyen ou long terme de ces formats «extrêmes» sur la santé des traileurs. Cet article a pour but de faire un état des lieux des connaissances actuelles sur les réponses inflammatoires et hématologiques induites par ces compétitions d'ultra-trail et les conséquences en termes de fatigue cardiaque, neuromusculaire ou de troubles gastro-intestinaux.

**Développement:** l'état des lieux est réalisé au moyen d'une revue pragmatique de la littérature, qui reste parcellaire dans ces domaines. Seules les réponses aiguës seront évoquées en raison du manque de recul actuel sur les effets à long terme. De manière générale, il s'avère que les efforts d'ultra-endurance s'accompagnent d'une forte inflammation qui a des effets importants sur plusieurs systèmes physiologiques de l'organisme.

**Discussion:** ces résultats soulèvent de nombreuses questions de prévention et de gestion de l'entraînement. Alors que les effets à court terme commencent à être mieux investigués, les implications sur la santé à long terme restent peu connues.

**Conclusion:** les réactions physiologiques associées à la course d'ultra-endurance en montagne sont très spécifiques à ce type d'effort et sont différentes de celles observés lors des courses sur route sur les distances traditionnelles (par exemple, marathon). La nocivité potentielle des effets observés reste à déterminer. Paradoxalement, la basse intensité de course observée lors des très longues épreuves semble de nature à limiter certains dommages musculaires ou cardiaques. Des études longitudinales devront investiguer les effets de l'ultra-endurance de montagne sur la santé des pratiquants, en particulier sur l'appareil ostéo-articulaire.



## Introduction

« Trail » est le terme le plus couramment utilisé en français pour désigner la course à pied en pleine nature. « Trail » désigne également un type de compétition sportive, dont la définition et la règle varient en fonction des différentes fédérations ou associations qui régissent la discipline. Cet anglicisme dérivant de l'expression américaine « trail running », signifiant littéralement « course à pied sur sentier », s'est tellement popularisé que l'oxymore « trail urbain » est pleinement admis pour désigner des courses populaires organisées au sein et à proximité des grandes villes, comme l'Ecotrail® de Paris (parcours péri-urbain et urbain, 13'000 coureurs en 2016).

L'athlète pratiquant ce sport est appelé traileur (traileuse au féminin). La croissance exponentielle du nombre de pratiquants (actuellement 350'000 à 500'000 pratiquants hors course sur route dont 100'000 traileurs assidus en Suisse) et d'épreuves (2500 courses officielles de trail en 2016) au cours des deux dernières décennies<sup>(1)</sup> nous interroge sur les fondements sociaux de ce phénomène : est-il associé à une saturation pour la course sur route, à un besoin de nature ressenti dans nos sociétés occidentales toujours plus industrialisées, à un besoin de repousser ses limites, à une quête de sens, à un effet de mode ? Les causes potentielles sont multiples. La course en nature comme mode de locomotion nous ramène à l'évolution singulière de l'espèce humaine, qui chassait ses proies par épuisement il y a 200'000 ans grâce à d'exceptionnelles capacités d'endurance<sup>(2)</sup>.

La Suisse romande est un terrain de jeu exceptionnel pour la course à pied avec une histoire riche tant sur la route (Morat-Fribourg, 17 km, née en 1933) qu'en montagne (Sierre-Zinal, née en 1974, 31 km, doyenne des épreuves de montagne). En parallèle aux nombreuses courses populaires traditionnelles qui sont organisées de longue date, on a observé une grande augmentation des courses d'ultra-endurance : la course légendaire des « 100 km de Bienne », qui fête sa 59<sup>e</sup> édition en 2017, a été une course pionnière dans ce domaine. Le développement de l'ultra-trail en montagne (ou MUM, Mountain Ultra-Marathon) est paradoxalement plus récent en Suisse romande qu'en France voisine, mais il existe maintenant des épreuves prestigieuses telles que le X-Alpine Verbier-Saint Bernard, qui comprend 111 km avec 8400 m de dénivelé positif (D+), le Swiss peak Trail (170 km, 11'300 m D+, arrivée aux Bouverets) ou encore le MEXtrem 160 (165 km, 13'600 m D+ depuis Montreux).

L'apparition d'épreuves de course de ce nouveau genre s'est accompagnée de la création d'une classification capable de rendre compte du niveau d'endurance requis pour chacune des épreuves. En 2013, une fédération internationale, l'International Trail Running Association (I.T.R.A), a été créée et propose la classification suivante :

- Trail : Moins de 42 km
- Trail Ultra Medium (M) : 42 km à 69 km
- Trail Ultra Long (L) : 70 km à 99 km
- Trail Ultra X Long (XL) : plus de 100 km

Si les effets positifs de la course à pied sont largement reconnus pour les courses d'endurance classiques de moins de 42 km,<sup>(3, 4)</sup> il n'en va pas de même pour les courses d'ultra-endurance qualifiées d'extrêmes, pour lesquelles peu de données concernant les bienfaits et les risques sont disponibles. Par conséquent, ces nouvelles formes d'épreuves d'endurance posent aux personnes concernées par la pratique, la préparation et la santé des coureurs de nombreuses interrogations inédites.

Pour le corps médical, il s'agit de s'interroger sur :

- La façon de médicaliser et sécuriser des épreuves se déroulant en milieu alpin, parfois difficile d'accès, soumis aux aléas climatiques de la haute-montagne et avec des coureurs pouvant aller jusqu'à l'épuisement<sup>(5)</sup>.
- La nature des séquelles associées à ces pratiques sur l'appareil ostéo-articulaire à moyen et long-terme<sup>(6)</sup>
- Les risques de troubles ou d'incidents cardiaques (e.g. fibrillation ? dysfonction ventriculaire ?)<sup>(7, 8)</sup>
- La prévention et la régulation de l'automédication, notamment de la prise d'anti-inflammatoires, pour les adeptes de ces courses

Pour les coureurs et les entraîneurs, les questions à résoudre concernent essentiellement :

- Les déterminants de la performance en MUM<sup>(9, 10)</sup>
- Les facteurs de blessures<sup>(11)</sup>
- Les méthodes d'entraînement et de récupération<sup>(12)</sup>
- Les bonnes manières en termes d'alimentation et d'hydratation<sup>(13, 14)</sup>

Finalement, pour les scientifiques, l'ultra-trail est un modèle expérimental qui permet d'investiguer, chez des sujets sains, des mécanismes associés à des états extrêmes de fatigue et d'inflammation<sup>(15)</sup>, ainsi que les cinétiques d'adaptations ou d'altérations des principales fonctions physiologiques pendant la compétition et lors la récupération consécutive à l'épreuve.

Globalement, la question transversale à l'ensemble des acteurs consiste à estimer les risques à court, moyen et long terme pour la santé.

Afin de répondre à ces questions, des études scientifiques ont été principalement menées sur trois courses différentes :

- la Western States Endurance Run (WSER) aux Etats-Unis<sup>(16-19)</sup>
- l'Ultra Trail du Mont Blanc (UTMB®) en France<sup>(20-24)</sup>
- le Tor des Géants (TdG) en Italie<sup>(25-30)</sup>

Du fait du développement récent de ce type d'épreuve (l'UTMB® est apparu en 2003, le TdG en 2010), il n'est pas possible

d'avoir le recul suffisant pour répondre à la question des effets à long-terme. Seules des études épidémiologiques conduites sur des populations d'ultra-traileurs avec plusieurs décennies de pratique régulière permettront de le faire. Dans cet article, nous aborderons les effets observés à court et moyen terme sur les systèmes musculo-squelettique, cardio-vasculaire, neurologique et digestifs des traileurs. Nous ne traiterons pas en revanche dans ce volet de la question des blessures de l'appareil locomoteur en ultra-trail, qui relèvent de la pathologie du système musculo-squelettique et non pas des réactions physiologiques de l'organisme à l'effort extrême.

Par rapport aux distances plus courtes (jusqu'au marathon), les épreuves d'ultra-distance de course à pied – que ce soit en montagne ou pas – se caractérisent principalement par trois mécanismes à la base de la majorité des altérations observées :

1. Premièrement, une très forte inflammation générale, induite en partie par la lyse musculaire. Celle-ci survient lors des parties de course en descente avec une forte contrainte excentrique au niveau des fléchisseurs plantaires (triceps sural principalement) ou des extenseurs du genou (quadriceps) <sup>(31-35)</sup>.
2. Deuxièmement, une intensité d'exercice très faible en termes de vitesse de course/marche, de fréquence cardiaque, de volume ventilé et de consommation d'oxygène. La vitesse est inversement proportionnelle à la distance parcourue <sup>(36)</sup>, et se situe entre 50 et 65 % de la vitesse maximale aérobie (VMA) selon les distances.
3. Enfin, une fatigue « générale » importante, induite par la course elle-même (distance, dénivelé, vitesse), ainsi que, par des facteurs « périphériques ». Dans certaines épreuves, la privation de sommeil, les conditions climatiques alpines, et l'altitude par exemple jouent un rôle prépondérant. <sup>(37-39)</sup>.

Ces trois mécanismes sont très particuliers et influencent de nombreuses fonctions physiologiques. Cet article, en s'appuyant sur les résultats d'études publiées dans les meilleures revues internationales à comité de lecture de physiologie du sport, vise à faire un état des lieux des effets immédiats qualifiés d'aigus (c'est-à-dire pendant et immédiatement après une épreuve de type MUM) ou à court-terme de ces trois mécanismes sur différentes fonctions physiologiques. En nous basant sur les paramètres qui ont été investigués à ce jour, nous présenterons les connaissances actuelles des effets des épreuves d'ultra-endurance sur les réponses inflammatoires, les modifications hématologiques, la fatigue cardiaque, la fatigue neuromusculaire et les troubles gastro-intestinaux.

## Développement

### Réponses inflammatoires

Les ultra-trails en montagne se caractérisent notamment par de nombreuses portions de course en descente. Celles-ci soumettent le quadriceps et le triceps sural à de très fortes contractions excentriques, en particulier au début des phases d'appui (phase de freinage immédiatement après le contact initial du pied au sol). Ces contractions musculaires servent à

absorber les contraintes, en ralentissant la vitesse de descente du centre de masse et en amortissant l'impact au moment du contact du pied avec le sol <sup>(40)</sup>. Ces contractions excentriques sont connues pour créer des lésions structurelles importantes au niveau des sarcomères. C'est la raison pour laquelle les marqueurs de dommages musculaires (comme par exemple la Myoglobine ou la Créatine Kinase) ou d'inflammation (CRP) sont très fortement augmentés au niveau plasmatique lors de n'importe quel MUM, et même après une simple et unique descente chez des sujets non spécialistes <sup>(41)</sup>.

Il semble que la distance ne soit pas le facteur le plus important de la lyse musculaire <sup>(20)</sup>. Les études montrent que ces réponses inflammatoires dépendent principalement de l'entraînement (part du travail excentrique dans la charge), de la proportion entre les parties marchées et les parties courues, ainsi que la vitesse de course. Ainsi, il a été montré que les marqueurs de lyse musculaire ou d'inflammation sont 2-3 fois plus élevés après l'ultra Trail du Mont Blanc comparativement au Tor des Géants qui est 2 fois plus long (CK : 3700 vs 13600 IU.L-1 pour le TdG et l'UTMB respectivement) <sup>(20, 26, 28)</sup>.

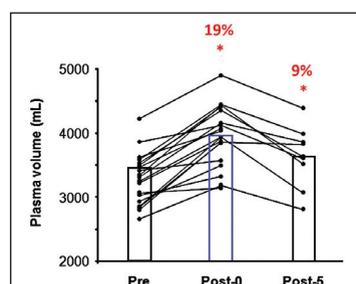
L'inflammation associée à la réalisation des épreuves d'ultra-endurance s'accompagne très souvent d'une augmentation importante des volumes hydriques et en particulier de l'eau extracellulaire, ce qui se traduit par des œdèmes observés au niveau de la face ou du membre inférieur (Figure 1).



› Figure 1 : exemples d'œdèmes faciaux ou distaux après le Tor des Géants (remerciement à Antoine Guillon, Christophe Le Saux et Guillaume Millet)

Ce transfert d'eau du milieu intra- vers le milieu extra-cellulaire est très spécifique des MUM. L'œdème résultant de cette inflammation semble altérer la contraction musculaire, en particulier au niveau des mollets, où il y peut y avoir des œdèmes très prononcés concomitamment à une baisse importante de la force des fléchisseurs plantaires (25 à 40% de baisse de la force volontaire, selon les MUM) <sup>(20, 26, 28)</sup>. Il semble que les mécanismes œdémateux soient maximaux 2-3 jours après le MUM.

En fait, on observe généralement soit une très légère perte de masse totale, sur les MUM les plus longs, soit une augmentation directement induite par cette augmentation des volumes hydriques résultant de l'œdème périphérique (Figure 2).



› Figure 2 : variation du volume plasmatique observée entre avant (Pre), immédiatement après (Post-0) ou 5 jours (Post-5) l'arrivée de l'UTMB <sup>(22)</sup>

En plus des œdèmes périphériques, les MUMs provoquent également une augmentation du volume plasmatique, c'est-à-dire du volume liquidien contenu dans le sang circulant hors cellules sanguines, qui subsiste pendant plusieurs jours (22). Cet œdème, résultat visible de l'inflammation, a des conséquences importantes au niveau cardiaque, musculaire et cérébral.

### Réponses cardiaques

Au niveau cardiaque, on observe (Figure 3) une augmentation des volumes cavitaires, phénomène à mettre en lien avec un meilleur remplissage des cavités cardiaques, qui va s'accompagner d'une augmentation du volume d'éjection systolique et d'une baisse de la fréquence cardiaque. Ainsi l'augmentation des volumes cavitaires permet de limiter la fatigue cardiaque sur la durée, car elle permet au muscle cardiaque de fonctionner à une fréquence de contraction plus basse que celle qui est attendue relativement à la vitesse de déplacement du coureur (42).

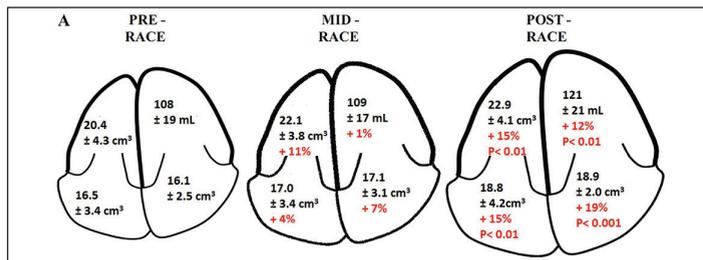


Figure 3 : variation des volumes myocardiens observée entre avant (Pre-Race), à mi-course (150<sup>e</sup> km; Mid-Race) et immédiatement après (Post-Race) l'arrivée du TdG (25)

Ces modifications hémodynamiques associées à la baisse de fréquence cardiaque se traduisent par une fatigue cardiaque beaucoup plus faible sur les MUM que sur des épreuves d'endurance plus courtes (marathon, triathlon Ironman) (25, 43). Ainsi, l'évaluation de la fonction cardiaque par ultra-sonographie (speckle tracking) montre que les épreuves de très longue durée s'accompagnent de faibles indicateurs de fatigue cardiaque (ex. dysfonction ventriculaire, moindre contractilité; déformation circconférentielle, rotationnelle ou longitudinale systolique).

### Réponses cérébrales

L'inflammation semble systémique puisque, comme illustré par la Figure 4, on observe une augmentation de l'eau extracellulaire au niveau cérébral (29). Il est encore trop tôt pour apprécier les conséquences cliniques de ces modifications au niveau cérébral. Y-a-t-il un lien avec les hallucinations fréquemment

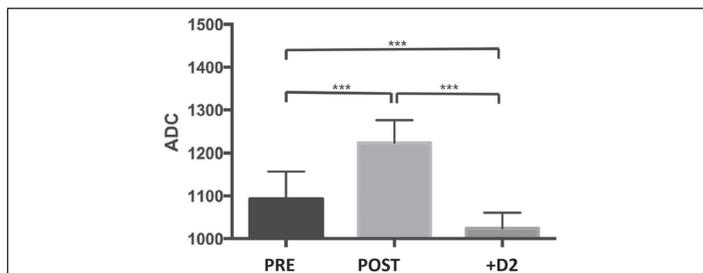


Figure 4 : variation de l'ADC (coefficient de diffusion de l'eau dans l'espace intercellulaire) au niveau cérébral observée entre avant (Pre), immédiatement après (Post) ou 2 jours (+D2) l'arrivée du TdG (29)

rapportées chez les ultra-traileurs en forte privation de sommeil? Influencent-elles les altérations cognitives illustrées par exemple par l'augmentation des temps de réaction? Est-ce un facteur de risque d'œdème cérébral en haute-altitude? Ces questions sont actuellement sans réponse.

### Réponses musculaires

L'inflammation généralisée s'accompagne d'augmentation du volume musculaire. Comme illustré par la Figure 5, il s'agit essentiellement d'un gonflement du tissu conjonctif avec une augmentation de l'épaisseur des fascias et de la couche cutanée après le TdG (44).

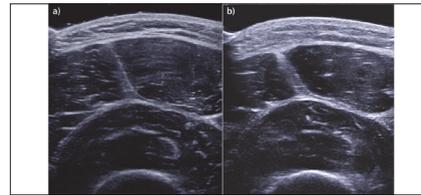


Figure 5 : variation du volume du quadriceps (image par ultrason) observée entre avant (a), immédiatement après (b) l'arrivée du TdG. (44) On observe l'augmentation de largeur des fascias musculaires liée à l'état œdémateux. (25)

Paradoxalement alors que ces épreuves avec de nombreuses parties de course en descente comportent de fortes contractions excentriques, les courbatures sont relativement faibles chez les ultra-traileurs (26, 28). Une des hypothèses est que l'in-

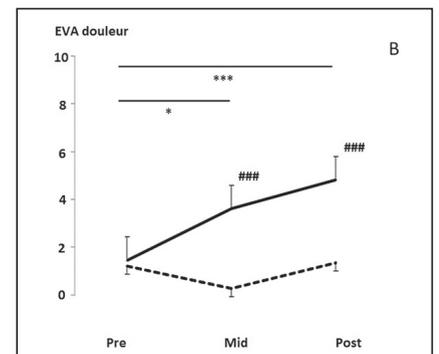
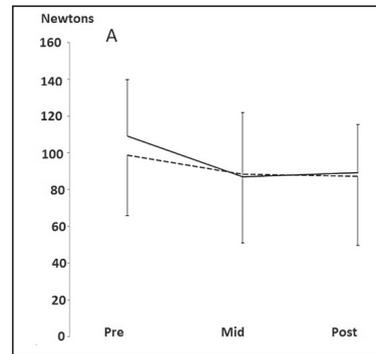


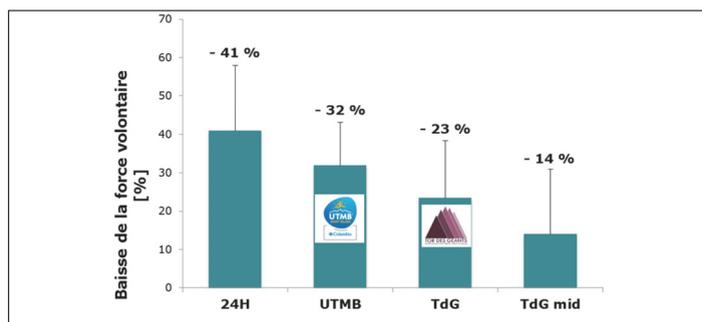
Figure 6 :

A / Seuil de douleur à la pression (en Newton; marqueurs de courbature) qui ne change pas; B / Douleur subjective des cuisses (score de 1 à 10; évaluée par échelle visuelle analogique observée avant (Pre) à mi-course (150<sup>e</sup> km; Mid-Race) et immédiatement après (Post-Race) l'arrivée du TdG. (Trait plein = coureurs; trait pointillé: groupe contrôle de non-coureurs). On observe une augmentation régulière de douleur en cuisses chez les coureurs (26, 28)

flammation périphérique s'accompagne d'une « désensibilisation » au niveau musculaire qui vient « masquer » les courbatures sur les MUM les plus longs. La course d'ultra-endurance induit une diminution des afférences III/IV au niveau spinal et supraspinal, en particulier en course à pied, ce qui explique pourquoi la force maximale volontaire est davantage altérée que dans des épreuves de cyclisme ou ski de fond de durée ou d'intensité similaires<sup>(45)</sup>. Cependant, ces feedbacks ne sont certainement pas la cause unique de la diminution de la commande centrale et sont probablement accompagnés de mécanismes inhibiteurs au niveau musculaire périphérique en situation de fatigue extrême<sup>(46)</sup>. Ainsi, le seuil de douleur à la pression (PPT, Pain Pressure Threshold), marqueur des courbatures, n'est pas modifié sur le TdG alors que les douleurs augmentent linéairement pendant la course<sup>(26, 28)</sup> (Figure 6). L'augmentation des douleurs durant la course serait donc causée essentiellement par des paramètres biomécaniques et inflammatoires, et non pas par une sensibilisation du système nociceptif durant l'épreuve.

On constate que de nombreux phénomènes sont liés à l'apparition de l'inflammation au cours des épreuves de MUM. Les micro-agressions sur les tissus musculaires et osseux par les milliers d'impacts lors de la course-à-pied s'ajoutent aux fortes contractions excentriques des muscles de la cuisse et du mollet lors de la course en descente. Ces contraintes répétées ont bien évidemment des conséquences en termes de blessures de l'appareil locomoteur. De manière générale, il apparaît que la prescription d'exercices préventifs visant à minimiser les traumatismes et les déséquilibres est importante pour retarder l'apparition de douleurs ou de blessures.

Une autre réponse paradoxale observée sur les MUM d'une durée supérieure à 15h concerne la fatigue neuromusculaire. La Figure 7 montre que le niveau de fatigue, estimé par la baisse du niveau de force maximale volontaire des extenseurs du genou, semble inversement corrélée à la durée de l'épreuve (24h sur tapis roulant<sup>(47)</sup>; UTMB, 20-46h<sup>(20, 24)</sup>; TdG 70-150h<sup>(26, 28)</sup>).



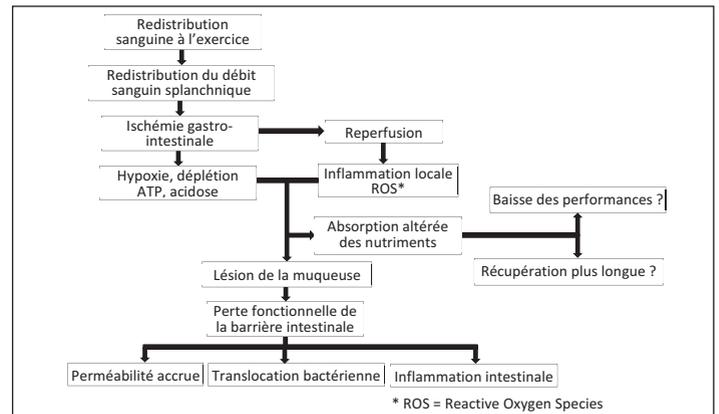
> Figure 7 : baisse de force maximale volontaire des extenseurs du genou (muscles du quadriceps) entre avant et immédiatement après une épreuve d'ultra-endurance<sup>(20, 24, 26, 28, 47)</sup>

### Troubles gastro-intestinaux

L'écosystème intestinal est fragilisé chez le sportif d'endurance<sup>(48)</sup>, et ce phénomène s'accroît en course à pieds en raison des chocs excentriques. La redistribution à l'exercice du flux sanguin provoque une ischémie splanchnique (système digestif sous-irrigué) amplifiée, par la déshydratation. Les consé-

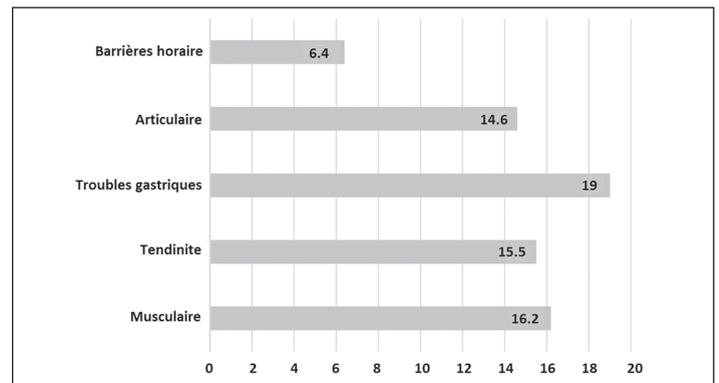
quences de ce phénomène ont été présentées de manière très complète par Van Wijck et al.<sup>(48)</sup> (Figure 8). Les conclusions apportées par leur travail permettent d'associer l'exercice physique à une hypoperfusion splanchnique et à des lésions de l'épithélium iléal. Ces modifications entraînent une inflammation générale, des dommages cellulaires intestinaux et une souffrance hépatique.

En 2012, Van Wijck et al.<sup>(48)</sup> proposent un diagramme synthétique des processus jouant un rôle dans le développement des lésions gastro-intestinales et leurs conséquences sur la performance (Figure 8).



> Figure 8 : processus impliqués dans les lésions gastro-intestinales et troubles gastriques induits par l'exercice<sup>(48)</sup>

Concrètement, sur le terrain, les troubles (maux de ventre, vomissements, diarrhées) se traduisent par des ralentissements et des arrêts, donc une baisse de la performance, ainsi que par



> Figure 9 : causes invoquées d'abandons lors de l'UTMB® en 2009 (en % du nombre d'abandon total)

de nombreux abandons. Comme illustré dans la Figure 9, les troubles gastriques sont à l'origine de près d'un abandon sur 5.

Lors du TdG, la quasi-totalité des troubles gastriques survient lors des 30 premières heures. Plusieurs hypothèses, en plus de la redistribution sanguine à l'effort et des chocs excentriques de la course, peuvent être avancées. Ces troubles pourraient s'expliquer par l'influence du stress précompétitif, par une ration alimentaire précompétitive trop importante et/ou trop glucidique, par un départ trop rapide (en particulier lors de 5-6 premières heures), par une alternance chaud (journée en fond de vallée) - froid (cols > 2500 m) de nuit, par un effet de l'altitude, ou enfin par la consistance, la qualité et la quantité des rations alimentaires de course.

## Discussion

Les études menées à ce jour démontrent que les courses d'ultra-endurance ont des effets manifestes sur plusieurs systèmes physiologiques du corps humain. Ces constatations sont intéressantes pour mieux comprendre le fonctionnement du corps humain et ses limites lors des efforts de très longue durée. Elles soulèvent également de nombreuses questions relatives à l'impact de ces effets physiologiques sur la santé des coureurs. La prise en compte des effets de l'inflammation sur l'organisme alimente la réflexion sur la manière de gérer l'entraînement et la compétition, afin de maximiser la performance et de prévenir les dommages éventuels causés par les efforts de très longue durée.

## Risques en termes de santé

Les effets de l'ultra-endurance recensés à ce jour sont nombreux. Malgré le fait qu'ils ne soient pas anodins, les accidents et défaillances graves sont rares en compétition <sup>(49)</sup>. Les coureurs les moins entraînés risquent avant tout l'abandon, causé par la souffrance et la baisse de performance au fur et à mesure des kilomètres parcourus.

Par contre, force est de constater que les risques encourus sur le long terme ou lors de la répétition des épreuves sont encore mal connus. On peut néanmoins spéculer que la participation trop fréquente à des compétitions d'ultra-trail pourrait s'accompagner d'un état inflammatoire chronique, dont on sait qu'il est délétère et accompagné d'un vieillissement tissulaire plus précoce <sup>(50)</sup>.

Si l'état actuel des connaissances ne permet pas de formuler des recommandations fondées pour préserver la santé des coureurs sur le long terme, les résultats constatés sur les effets aigus permettent d'esquisser quelques éléments de prévention capables de prévenir les effets indésirables mentionnés ci-dessus.

## Éléments de prévention

Dans un contexte où l'inflammation joue un rôle considérable, toutes les interventions médico-sportives permettant de diminuer ou de contenir les inflammations articulaires ou musculaires sont à priori efficaces. On pense en particulier au glaçage <sup>(51, 52)</sup> et aux différentes techniques de contention <sup>(53)</sup>.

Attention toutefois à la prise d'anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS), qui est à proscrire complètement pendant la course car elle s'accompagne d'une augmentation du risque de rhabdomyolyse – destruction du muscle strié – aux conséquences pouvant être graves <sup>(54)</sup>. Ainsi, au cours de l'UTMB 2008, un coureur a présenté une rhabdomyolyse favorisée par une déshydratation (diarrhées) et une prise d'AINS, qui a nécessité une hémodialyse en urgence <sup>(55)</sup>. A noter aussi que sur la plupart des MUMs, le règlement interdit la présence de professionnels médicaux au sein de l'assistance personnelle des traileurs afin de limiter la « professionnalisation » des équipes et garantir une certaine équité entre les coureurs. Il est important que les coureurs soient informés de ces risques afin de prévenir toute prise inconsidérée d'anti-inflammatoire durant les épreuves.

La charge spécifique des MUMs implique d'avoir une préparation ciblée à ce type d'épreuve. La préparation doit en premier lieu respecter les niveaux d'intensité et de dénivelé que le coureur va rencontrer.

Ensuite, du fait de l'impact des troubles digestifs sur la performance et sur le risque d'abandon, il semble important de préparer des stratégies personnalisées en termes de nutrition, d'hydratation et d'allure de course. On peut faire l'hypothèse que ces éléments de prévention limiteront les phénomènes inflammatoires.

Le suivi par du personnel de santé qualifié durant la préparation peut contribuer à contrôler les niveaux de « fraîcheur » générale et musculaire. Ceci, en particulier, lors des 2-3 semaines de préparation qui précèdent un ultra-trail, au cours desquelles il est important de mettre l'accent sur la récupération musculaire et la résorption des inflammations résiduelles induites par l'entraînement.

Pendant la phase de récupération, un suivi peut contribuer à vérifier qu'il n'y a pas de blessures résiduelles et que la régénération est effective. Enfin, étant donné l'intensité, la nature extrême des efforts, et l'ignorance relative des conséquences biologiques des épreuves d'ultra-endurance sur le long terme, il paraît judicieux de conseiller de modérer les coureurs qui veulent enchaîner trop souvent des ultra-trails.

## Maîtrise des risques environnementaux

Nous avons relevé que des facteurs environnementaux comme la température, la nature du terrain, et la météo peuvent fortement modifier la difficulté d'une course d'ultra-trail. Par conséquent, la prévention oblige les organisateurs à respecter certains standards de sécurité afin de minimiser les risques inhérents à ce type d'épreuve. C'est à cette fin que l'ITRA (International Trail Running Association) a rédigé un « guide de sécurité », accessible en ligne pour les personnes intéressées <sup>(56)</sup>.

Ce guide recommande notamment de tracer en continu la progression pluriannuelle des coureurs, de les informer sur les risques liés à la prise d'anti-inflammatoires pendant l'épreuve, et d'assurer la couverture médicale avec des professionnels de l'assistance en montagne ou en milieu inhospitalier (par exemple Dokever). Il est également recommandé aux organisateurs de favoriser la recherche médicale lors des épreuves d'ultra-trail, (par exemple, en soutenant les initiatives de l'Ultra Sport Science Fondation (<http://ultrasportsscience.org/>)). Les résultats tirés de ces recherches qui permettent de mieux comprendre les réactions du corps aux situations d'effort et de fatigue extrême sont de première importance pour améliorer l'état des connaissances sur les risques encourus lors de la pratique d'un ultra-trail et les moyens de les prévenir, car les connaissances en la matière restent lacunaires à ce jour.

## Conclusions

Globalement, il semble que les mécanismes associés à la course d'ultra-endurance en milieu alpin soient très spécifiques. Ils ne sont en rien comparables à ceux rapportés sur des épreuves de course à pied plus courtes ou sans dénivelé,

comme la plupart des courses sur route. Le niveau inflammatoire très élevé observé lors des ultra-trails semble influencer de nombreuses fonctions physiologiques (hémodynamique, cardiaque, cérébrale, musculaire) sans qu'il soit possible d'en évaluer actuellement les effets à long terme.

En résumé, les contraintes sur l'organisme sont très spécifiques et s'accompagnent d'importants niveaux de fatigue et d'inflammation générale. La préparation physique et l'entraînement pour un ultra-trail en montagne sont donc très différents que pour une course sur route. La fatigue cardiaque est aussi relativement faible, car impactée par l'augmentation du volume plasmatique. La fréquence cardiaque tend à diminuer progressivement. L'utilisation de la fréquence cardiaque comme témoin de l'intensité de course est donc problématique.

La modération de l'intensité de course par la distance et le dénivelé semble paradoxalement de nature à limiter certains dommages sur la santé du coureur d'ultra-trail. Lorsque la vitesse de course est faible, la fatigue musculaire n'est pas proportionnelle à la distance, mais plutôt dépendante des mécanismes inflammatoires. Des études longitudinales devront investir les effets de l'ultra-endurance de montagne sur la santé des pratiquants, notamment en ce qui concerne les effets à long terme qui restent encore largement inconnus à ce jour.

Les efforts d'ultra-endurance s'accompagnent d'une forte inflammation à l'origine de perturbations des systèmes digestifs, cérébral, cardiaque et musculaire. Si les effets aigus commencent à être bien documentés, les effets à long terme sont largement ignorés et imposent le principe de précaution.

## Implications pour la pratique

- Gérer les charges de travail (aspects externes et internes) pour prévenir le surentraînement.
- Travailler régulièrement en excentrique (descentes) afin de limiter les phénomènes inflammatoires.
- Espacer les épreuves pour favoriser les phénomènes de récupération et de régénération tissulaire.
- Prévoir une coupure annuelle (sans course) d'un mois minimum

## Contact

Grégoire Millet  
gregoire.millet@unil.ch

## Références

1. FIFAS. Etude Running/Trail [Internet]. France : Fédération Française des Industries Sports & Loisirs; 2015 Sept [cited 2017 May 15]. Available from: www.fifas.com
2. Bramble DM, Lieberman DE. Endurance running and the evolution of Homo. *Nature*. 2004; Nov 18;432(7015):345-52.
3. Dyer III JB, Crouch JG. Effects of running and other activities on moods. *Perceptual and Motor Skills*. 1988;67(1):43-50.
4. Hillman CH, Erickson KI, Kramer AF. Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition. *Nature reviews neuroscience*. 2008;9(1):58-65.
5. Hoffman MD, Pasternak A, Rogers IR, Khodae M, Hill JC, Townes DA, et al. Medical services at ultra-endurance foot races in remote environments: medical issues and consensus guidelines. *Sports Med*. 2014;44(8):1055-69.
6. Zingg MA, Pazahr S, Morsbach F, Gutzeit A, Wiesner W, Lutz B, et al. No damage of joint cartilage of the lower limbs in an ultra-endurance athlete--an MRI-study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2013; Dec 05;14:343.
7. Lord R, George K, Somauroo J, Stembridge M, Jain N, Hoffman MD, et al. Alterations in Cardiac Mechanics Following Ultra-Endurance Exercise: Insights from Left and Right Ventricular Area-Deformation Loops. *J Am Soc Echocardiogr*. 2016; Sep;29(9):879-87 e1.
8. Lord R, Somauroo J, Stembridge M, Jain N, Hoffman MD, George K, et al. The right ventricle following ultra-endurance exercise: insights from novel echocardiography and 12-lead electrocardiography. *European journal of applied physiology*. 2015; Jan;115(1):71-80.
9. Vernillo G, Giandolini M, Edwards WB, Morin JB, Samozino P, Horvais N, et al. Biomechanics and Physiology of Uphill and Downhill Running. *Sports Med*. 2017;47(4):615-29.
10. Millet GP. Economy is not sacrificed in ultramarathon runners. *J Appl Physiol*. 2012;113(4):686.
11. Vernillo G, Savoldelli A, La Torre A, Skafidas S, Bortolan L, Schena F. Injury and Illness Rates During Ultratrail Running. *International journal of sports medicine*. 2016;37(7):565-9.
12. Balducci P, Clemenccon M, Morel B, Quiniou G, Saboul D, Hautier CA. Comparison of Level and Graded Treadmill Tests to Evaluate Endurance Mountain Runners. *Journal of sports science & medicine*. 2016;15(2):239-46.
13. Williamson E. Nutritional implications for ultra-endurance walking and running events. *Extreme physiology & medicine*. 2016;5:13.
14. Volek JS, Freidenreich DJ, Saenz C, Kunces LJ, Creighton BC, Bartley JM, et al. Metabolic characteristics of keto-adapted ultra-endurance runners. *Metabolism*. 2016 Mar;65(3):100-10.
15. Millet GP, Millet GY. Ultramarathon is an outstanding model for the study of adaptive responses to extreme load and stress. *BMC medicine*. 2012; Jul 19;10(1):77.
16. Bruso JR, Hoffman MD, Rogers IR, Lee L, Towle G, Hew-Butler T. Rhabdomyolysis and hyponatremia: a cluster of five cases at the 161-km 2009 Western States Endurance Run. *Wilderness Environ Med*. 2010; Dec;21(4):303-8.
17. Hoffman MD, Wegelin JA. The Western States 100-Mile Endurance Run: participation and performance trends. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41(12):2191-8.
18. Hoffman MD, Stuempfle KJ. Hydration strategies, weight change and performance in a 161 km ultramarathon. *Res Sports Med*. 2014;22(3):213-25.
19. Stuempfle KJ, Hoffman MD. Gastrointestinal distress is common during a 161-km ultramarathon. *J Sports Sci*. 2015;33(17):1814-21.
20. Millet GY, Tomazin K, Verges S, Vincent C, Bonnefoy R, Boisson RC, et al. Neuromuscular consequences of an extreme mountain ultra-marathon. *PLoS ONE*. 2011;6(2):e17059.
21. Morin JB, Tomazin K, Edouard P, Millet GY. Changes in running mechanics and spring-mass behavior induced by a mountain ultra-marathon race. *J Biomech*. 2011;44(6):1104-7.
22. Robach P, Boisson RC, Vincent L, Lundby C, Moutereau S, Gergele L, et al. Hemolysis induced by an extreme mountain ultra-marathon is not associated with a decrease in total red blood cell volume. *Scand J Med Sci Sports*. 2014;24(1):18-27.
23. Wuthrich TU, Marty J, Kerhervé H, Millet GY, Verges S, Spengler CM. Aspects of respiratory muscle fatigue in a mountain ultramarathon race. *Medicine and science in sports and exercise*. 2015;47(3):519-27.

24. Temesi J, Rupp T, Martin V, Arnal PJ, Feasson L, Verges S, et al. Central fatigue assessed by transcranial magnetic stimulation in ultratrail running. *Medicine and science in sports and exercise*. 2014;46(6):1166-75.
25. Maufrais C, Millet GP, Schuster I, Rupp T, Nottin S. Progressive and biphasic cardiac responses during extreme mountain ultramarathon. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2016;310(10):H1340-8.
26. Saugy J, Place N, Millet GY, Degache F, Schena F, Millet GP. Alterations of Neuromuscular Function after the World's Most Challenging Mountain Ultra-Marathon. *PLoS ONE*. 2013;8(6):e65596.
27. Vernillo G, Rinaldo N, Giorgi A, Esposito F, Trabucchi P, Millet GP, et al. Changes in lung function during an extreme mountain ultramarathon. *Scand J Med Sci Sports*. 2015;25(4):e374-80.
28. Vitiello D, Degache F, Saugy JJ, Place N, Schena F, Millet GP. The increase in hydric volume is associated to contractile impairment in the calf after the world's most extreme mountain ultra-marathon. *Extreme physiology & medicine*. 2015;4:18.
29. Zanchi D, Viallon M, Le Goff C, Millet GP, Giardini G, Croisille P, et al. Extreme Mountain Ultra-Marathon Leads to Acute but Transient Increase in Cerebral Water Diffusivity and Plasma Biomarkers Levels Changes. *Frontiers in physiology*. 2016;7:664.
30. Vernillo G, Brighenti A, Limonta E, Trabucchi P, Malatesta D, Millet GP, et al. Effects of Ultratrail Running on Skeletal Muscle Oxygenation Dynamics. *Int J Sports Physiol Perform*. 2016:1-25.
31. Braun WA, Dutto DJ. The effects of a single bout of downhill running and ensuing delayed onset of muscle soreness on running economy performed 48 h later. *European Journal of Applied Physiology*. 2003;90(1-2):29-34.
32. Hoffman MD, Ingwerson JL, Rogers IR, Hew-Butler T, Stuempfle KJ. Increasing creatine kinase concentrations at the 161-km Western States Endurance Run. *Wilderness Environ Med*. 2012;23(1):56-60.
33. Malm C, Sjodin TL, Sjoberg B, Lenkei R, Renstrom P, Lundberg IE, et al. Leukocytes, cytokines, growth factors and hormones in human skeletal muscle and blood after uphill or downhill running. *The Journal of Physiology*. 2004 May 1;556(Pt 3):983-1000.
34. Nieman DC, Dumke CL, Henson DA, McAnulty SR, Gross SJ, Lind RH. Muscle damage is linked to cytokine changes following a 160-km race. *Brain, Behavior and Immunity*. 2005;19(5):398-403.
35. Schwane JA, Johnson SR, Vandenakker CB, Armstrong RB. Delayed-onset muscular soreness and plasma CPK and LDH activities after downhill running. *Medicine and science in sports and exercise*. 1983;15(1):51-6.
36. Millet GP. Economy is not sacrificed in ultramarathon runners. *Journal of Applied Physiology*. 2012;113(4):686.
37. Millet GY. Can Neuromuscular Fatigue Explain Running Strategies and Performance in Ultra-Marathons? *Sports medicine*. 2011;41(6):489-506.
38. Temesi J, Rupp T, Martin V, Arnal PJ, Féasson L, Verges S, et al. Central fatigue assessed by transcranial magnetic stimulation in ultratrail running. *Med Sci Sports Exerc*. 2014;46(6):1166-75.
39. Millet G, Lepers R, Maffiuletti N, Babault N, Martin V, Lattier G. Alterations of neuromuscular function after an ultramarathon. *Journal of applied physiology*. 2002;92(2):486-92.
40. Giandolini M, Horvais N, Rossi J, Millet G, Morin JB, Samozino P. Effects of the foot strike pattern on muscle activity and neuromuscular fatigue in downhill trail running. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2016.
41. Chen TC, Nosaka K, Lin MJ, Chen HL, Wu CJ. Changes in running economy at different intensities following downhill running. *Journal of sports sciences*. 2009 Sep;27(11):1137-44.
42. Mounier R, Pialoux V, Mischler I, Coudert J, Fellmann N. Effect of hypervolemia on heart rate during 4 days of prolonged exercises. *International journal of sports medicine*. 2003;24(07):523-9.
43. Vitiello D, Rupp T, Bussiere JL, Robach P, Polge A, Millet GY, et al. Myocardial damages and left and right ventricular strains after an extreme mountain ultra-long duration exercise. *Int J Cardiol*. 2013;165(2):391-2.
44. Andonian P, Viallon M, Le Goff C, de Bourguignon C, Tourel C, Morel J, et al. Shear-Wave Elastography Assessments of Quadriceps Stiffness Changes prior to, during and after Prolonged Exercise: A Longitudinal Study during an Extreme Mountain Ultra-Marathon. *PLoS One*. 2016;11(8):e0161855.
45. Millet GY, Lepers R. Alterations of neuromuscular function after prolonged running, cycling and skiing exercises. *Sports Medicine*. 2004;34(2):105-16.
46. Perrey S, de PC Smirmaul B, Fontes EB, Noakes TD, Bosio A, Impellizzeri FM, et al. Comments on Point: Counterpoint: Afferent feedback from fatigued locomotor muscles is/is not an important determinant of endurance exercise performance. *Journal of Applied Physiology*. 2010;108(2):458-68.
47. Martin V, Kerherve H, Messonnier LA, Banfi JC, Geysant A, Bonnefoy R, et al. Central and peripheral contributions to neuromuscular fatigue induced by a 24-h treadmill run. *Journal of Applied Physiology*. 2010;108(5):1224-33.
48. van Wijck K, Lenaerts K, Grootjans J, Wijnands KA, Poeze M, van Loon LJ, et al. Physiology and pathophysiology of splanchnic hypoperfusion and intestinal injury during exercise: strategies for evaluation and prevention. *American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology*. 2012;303(2):G155-G68.
49. Hoffman MD. Injuries and Health Considerations in Ultramarathon Runners. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2016;27(1):203-16.
50. Rowlands DS, Pearce E, Aboud A, Gillen J, Gibala M, Donato S, et al. Oxidative stress, inflammation, and muscle soreness in an 894-km relay trail run. *European journal of applied physiology*. 2012;112(5):1839-48.
51. Howatson G, Van Someren K. Ice massage: effects on exercise-induced muscle damage. *Journal of sports medicine and physical fitness*. 2003;43(4):500.
52. Hausswirth C, Louis J, Bieuzen F, Pournot H, Fournier J, Filiard J-R, et al. Effects of whole-body cryotherapy vs. far-infrared vs. passive modalities on recovery from exercise-induced muscle damage in highly-trained runners. *PLoS one*. 2011;6(12):e27749.
53. Bernhardt T, Anderson GS. Influence of moderate prophylactic compression on sport performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2005;19(2):292-7.
54. Gergele L, Bohe J, Feasson L, Robach P, Morel J, Auboyer C, et al. Du sport extrême à la réanimation. *Réanimation*. 2010;19(5):416-22.
55. Canu P, Hery JP, Durand M, Duthil E, Lataillade D. La rhabdomyolyse d'effort du sportif. *Cardio & Sport*. 2009;20:5-7.
56. ITRA. Guide de sécurité [Internet] 2016. Switzerland: International Trail Running Association. [cited 2017 May 15]. Available from : [http://www.i-tra.org/documents/security\\_guidelines/Security\\_Guidelines\\_ITRA\\_FR.pdf](http://www.i-tra.org/documents/security_guidelines/Security_Guidelines_ITRA_FR.pdf)