

Effet de la répétition d'un parcours de trail sur la performance et les réponses physiologiques et tactiques associées : influence du niveau d'expertise des coureurs

Travail de fin d'études en vue de l'obtention du titre de
Master of Science en sciences du sport
Option enseignement

déposé par

Jean-Luc Choffat

à

l'Université de Fribourg, Suisse
Faculté des sciences et de médecine
Section Médecine
Département des neurosciences et sciences du mouvement

en collaboration avec la
Haute école fédérale de sport de Macolin

Référent
Prof. Wolfgang Taube

Conseillers
Dr. Xavier Chenevière
Alain Rouvenaz

Fribourg, juillet 2021

Remerciements

Ce travail, à l'image d'une course de trail, m'aura fait connaître des hauts et des bas. Je remercie toutes les personnes qui m'ont soutenu et aidé à franchir la ligne d'arrivée.

Je tiens particulièrement à remercier Xavier Chenevière et Alain Rouvenaz pour leur dévouement tout au long de cette étude, de leur disponibilité lors des tests en laboratoire, leur bienveillance, leur travail assidu et d'avoir toujours eu confiance en moi. J'ai eu beaucoup de plaisir à travailler avec vous.

Je remercie également les participantes et participants pour leur engagement et leur bonne humeur. J'ai eu l'occasion de faire de belles rencontres. Merci à vous de vous être totalement engagés pour cette étude. Je garde vos beaux sourires en tête.

Sans oublier les nombreux bénévoles le long du parcours, Eric Paupe pour le balisage du parcours, ainsi que les personnes qui m'ont toujours soutenu dans cette démarche, ma famille, mes amis, ma copine Lova.

Résumé

Le principe de la répétition dans le monde sportif constitue une approche à développer dans la recherche de la performance. Par exemple, en escalade, le fait de répéter une voie permet d'améliorer le temps d'ascension. L'objectif de la présente étude était de mesurer l'effet d'une répétition d'un parcours de trail sur la performance brute (durée) et sur les valeurs physiologiques, ainsi que d'identifier la tactique adoptée et de la mettre en relation avec la performance. Un second objectif visait à déterminer si le niveau d'expertise d'un coureur de trail permettait une adaptation différente lors d'une répétition. Treize sujets répartis en deux groupes appariés au niveau des caractéristiques anthropométriques et physiques, mais différents au niveau de l'expérience en trail [Novice ($n = 5$) et Expert ($n = 8$)], ont participé à l'étude. Ils ont effectué un test d'effort maximal sur tapis roulant afin de déterminer les caractéristiques physiques, et ont répété avec une semaine d'intervalle un parcours de trail de 18.1 km et 781 m de dénivelé positif et négatif (Trail1 et Trail2). Le parcours était divisé en quatre segments distincts (Plat1, Montée, Plat2, Descente). Le temps, la fréquence cardiaque (FC) et la perception de l'effort (RPE) ont été mesurés pour l'ensemble du parcours et pour les différents segments. À la suite de la répétition, une amélioration du temps total a été observée pour douze participants sur treize lors du Trail2 ($p < 0.001$). Une diminution significative du temps passé dans les segments Plat1 ($p = 0.005$), Montée ($p = 0.002$) et Descente ($p < 0.001$) a été constatée. De plus, il a été mis en évidence que la différence de temps total et la différence de temps lors du segment Descente entre le Trail1 et le Trail2 étaient significativement corrélées ($\rho = 0.556$; $p = 0.049$). Cependant, aucune différence significative n'a été trouvée en ce qui concerne FC et RPE ($p > 0.05$). Concernant l'influence du niveau d'expertise des coureurs, Aucune différence significative n'a été observée pour l'ensemble des paramètres entre les groupes Novice et Expert ($p > 0.05$). Cette étude a mis en évidence que la répétition d'un parcours de course de trail permettait un gain de temps sur l'ensemble du parcours, et donc une amélioration de la performance brute. Sur ce parcours, la portion descendante et technique (Descente) s'est révélée déterminante dans le gain de temps total, car particulièrement influencée par la répétition. Par contre, le niveau d'expertise en trail ne semble pas influencer la performance, ni les effets de la répétition du parcours.

Table des matières

Liste des Figures.....	5
Liste des Tableaux.....	6
Abréviations	7
1 Introduction	8
1.1 Objectif du travail.....	19
2 Méthode.....	21
2.1 Sujets	21
2.2 Protocole expérimental.....	21
2.3 Mesures et traitement des données	24
2.4 Traitement statistique	26
3 Résultats	28
3.1 Comparaison entre le Trail1 et le Trail2	29
3.2 Comparaison entre les groupes Novice et Expert	36
4 Discussion	39
4.1 Effet de la répétition d'un parcours de trail.....	39
4.2 Influence de l'expérience sur la répétition d'un parcours de trail.....	43
4.3 Limitations et perspective de l'étude.....	44
5 Conclusion.....	45
Bibliographie	46
Annexes	51

Liste des Figures

Figure 1. Classification des disciplines Running hors stade selon Swiss Athletics	9
Figure 2. Corrélation entre la consommation maximale d'oxygène (VO_{2max}) et le temps de course (Race time).....	12
Figure 3. Représentation graphique des seuils ventilatoires	14
Figure 4. Pourcentage du temps total passé dans chacune des trois zones d'intensité d'effort pour des courses de montagne de différentes catégories.....	15
Figure 5. <i>The global model of pacing process</i>	17
Figure 6. Déroulement dans le temps du protocole expérimental	22
Figure 7. Profil du parcours.....	23
Figure 8. Échelle utilisée dans le questionnaire	26
Figure 9. Répartition du temps total dans les 3 zones d'intensité	32
Figure 10. Temps passé dans les différents segments du parcours	33
Figure 11. Répartition du pourcentage du temps total passé pour les différents segments.....	34
Figure 12. Échelle de Borg pour les différents segments.....	35
Figure 13. Amélioration relative du temps des différents segments pour les groupes Novice et Expert	38

Liste des Tableaux

Tableau 1. Caractéristiques des segments	24
Tableau 2. Données anthropométriques et caractéristiques physiques des sujets	29
Tableau 3. Résultats du Trail1 et du Trail2	31
Tableau 4. Fréquence cardiaque obtenue durant les différents segments	35
Tableau 5. Résultats du Trail1 et du Trail2 pour les groupes Novice et Expert	36
Tableau 6. Différence entre le Trail1 et le Trail2 pour les groupes Novice et Expert	37

Abréviations

ATP	Adénosine triphosphate
CO ₂	Dioxyde de carbone
FC	Fréquence cardiaque
FC _{peak}	Fréquence cardiaque maximale atteinte lors du test d'effort maximal
O ₂	Oxygène
RPE	Perception de l'effort
SV1	Premier seuil ventilatoire
SV2	Deuxième seuil ventilatoire
V _E	Débit ventilatoire
VCO ₂	Consommation de dioxyde de carbone
VO ₂	Consommation d'oxygène
VO _{2peak}	Consommation maximale d'oxygène atteinte lors du test d'effort maximal

1 Introduction

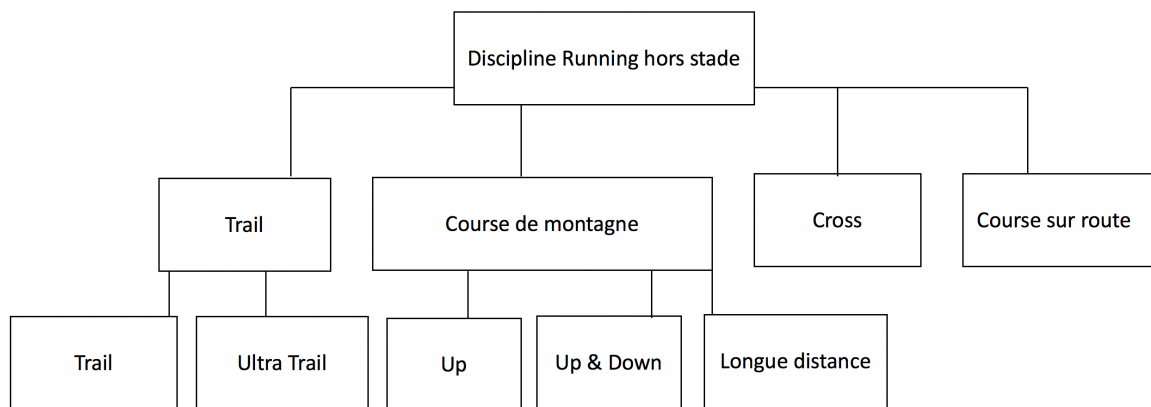
Le trail running est une discipline de la course à pied. L'International Trail Running Association définit le trail de la manière suivante (ITRA, 2020) :

Le trail, qui signifie sentier en anglais, est une compétition pédestre ouverte à tous, dans un environnement naturel, avec le minimum possible de routes cimentées ou goudronnées (20 % maximum). Le parcours peut s'étendre sur quelques km pour les distances courtes et aller bien au-delà de 80 km pour les ultra-trails. Montagne, forêt, campagne, désert, cette course d'endurance se pratique sur tous les terrains naturellement irréguliers, incluant très souvent une partie de dénivelé, c'est-à-dire une différence d'altitude entre le départ et l'arrivée.

La pratique du trail est prisée par les amateurs d'espaces libres et de tranquillité, elle permet de s'évader des centres urbains et de la course sur route (Troyon-Guédat, 2013). L'Ultra Trail du Mont-Blanc démontre avec 32'000 demandes d'inscription en 2019 contre 25'678 en 2018 que le trail est en pleine expansion et compte de plus en plus d'adeptes (Fretté, 2020). Les distances et le dénivelé sont variés et ne sont pas encore clairement catégorisés au niveau national, ni même international. La classification diffère selon les fédérations et associations qui régulent ce sport. A titre d'exemple, une légère distinction peut être faite entre le trail et la course de montagne selon l'ITRA. Elle définit que la course de montagne est pratiquée sur un terrain majoritairement hors route, sauf en cas de dénivelé important, auquel cas une surface pavée est acceptable. La distance peut varier de 1 km à la longueur du marathon et la pente doit être d'au moins 5 % et ne doit pas dépasser 20 %. Cependant, la distinction entre le trail et la course de montagne n'est pas toujours claire et dépend de la définition que chaque organisation décide de donner aux deux disciplines (López-García et al., 2021). Dans le cadre de ce travail, la course de montagne et le trail feront référence à la même discipline. En Suisse, les championnats nationaux de course de trail sont supervisés par Swiss Athletics. La classification des disciplines Running hors stade est représentée dans la Figure 1 (Fässle et al., 2016). A titre d'exemple, la course de montagne « Up » est de maximum 15 km avec 600-800 m de dénivelé positif lors des championnats suisses et la course de trail au minimum de 30 km et 1'500 m de dénivelé positif.

Figure 1

Classification des disciplines Running hors stade selon Swiss Athletics



Note. Représentation graphique des différentes disciplines Running hors stade selon le règlement de Swiss Athletics (Fässle et al., 2016).

Il existe des organismes comme la Fédération internationale de skyrunning ou la Golden Trail World Series qui ont pour but de promouvoir et de rassembler des courses sous leur égide afin d’attirer les meilleurs coureurs du monde et de donner plus de visibilité à ce sport (Salomon, 2020). Le nombre de courses en Suisse est complexe à quantifier. Selon le journal Le Temps du 18 septembre 2015, plus de 90 courses de trail sont organisées chaque année (Peca, 2015). Cependant, toutes les courses régionales ne sont pas comptabilisées et chaque week-end, des centaines de participants courent à travers la Suisse. En Suisse, les courses vont de 5 à 360 km avec un dénivelé compris entre 300 et 27'000 m selon le site internet Swiss Running qui permet de rechercher les événements de trail (SwissRunning, 2020).

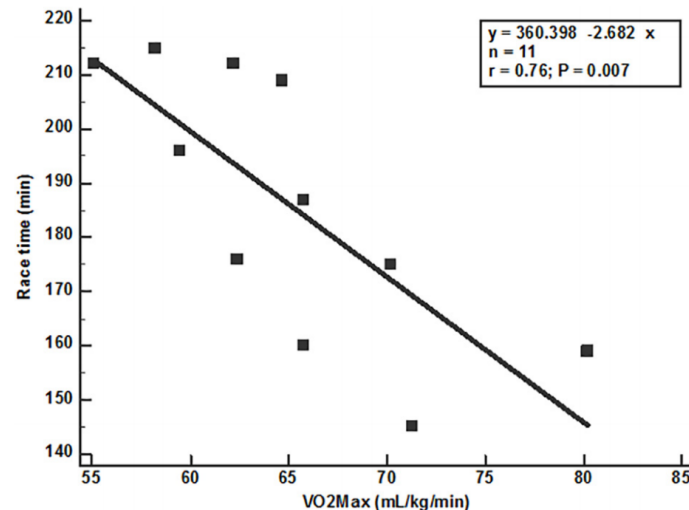
Le trail est une discipline qui se pratique en extérieur, sur un terrain varié et dans un milieu instable. Les types de terrain rencontrés sont de l’asphalte, de larges routes en gravier et principalement des sentiers. Chaque sentier est unique, certains sont constitués de terre, d’autres de pierres. La composition du sentier va influencer le degré de difficulté du parcours : il existe des parcours dits « roulants », sur lesquels il n’y a pas ou peu d’obstacles (pierres, racines), et d’autres parcours dits « techniques », pour lesquels il faudra adapter sa locomotion due à de nombreux obstacles.

Le fait de courir sur un tapis de course comportant des irrégularités engendre une augmentation de la dépense énergétique de 5 % et modifie l'activité musculaire des quadriceps ou encore la variabilité de l'amplitude des foulées par rapport au fait de courir sur un tapis de course lisse (Voloshina & Ferris, 2015). Cette discipline est en grande partie constituée de variations de pente, avec des descentes, des montées et des plats. La variation du terrain va influencer les muscles impliqués dans la locomotion. Une étude de Minetti et al. (1994) a constaté que sur terrain plat, les contractions musculaires étaient réparties à parts égales entre les contractions concentriques et excentriques. En montée, la part de contraction concentrique augmente et au contraire, diminue lorsque la pente devient négative. A ce moment-là, la part de contraction excentrique est dominante (Minetti et al., 1994). Les réponses cardio-respiratoires sont également modifiées. Elles augmentent lors d'une pente positive et diminuent dans des pentes négatives jusqu'à -17 % d'inclinaison, au-delà elles augmentent à nouveau (Abe et al., 2011). Comme ce sport se déroule en extérieur, les conditions météorologiques, l'altitude et l'état du sol vont, par conséquence, influencer la performance. Par exemple, lors de courses sur un terrain accidenté, certains changements de comportement sont observés afin d'optimiser le déplacement. Ces modifications ont tendance à inclure des longueurs de pas raccourcies et des atterrissages à l'avant du pied (Kilgas et al., 2015). La notion d'hypoxie est également présente lors de certaines courses de trail : elle se rapporte à des changements brutaux d'altitude qui peuvent être observés durant une même épreuve (Raberin, 2019). Tel est le cas pour certaines compétitions organisées par la Fédération internationale de skyrunning, avec par exemple la Misti Sky-Race, un trail technique de 40 km qui se déroule au Pérou avec un point culminant à 5'815 m d'altitude et un dénivelé positif cumulé de 2'431 m (International Skyrunning Federation, 2021). Un récent travail de thèse de Raberin (2019) sur le sujet présente les conséquences d'une hypoxémie induite, qui correspond à un faible taux d'oxygène dans le sang, lors d'un exercice d'endurance : une hypoventilation alvéolaire relative, un trouble des échanges gazeux et une augmentation des chances d'avoir un œdème pulmonaire. Dans cette même étude, les bénéfices d'exercices effectués en hypoxémie induite pour l'acclimatation à une altitude modérée sont prouvés. De plus, le matériel est spécifique à la distance que l'on va parcourir. Par exemple, des chaussures profilées, une réserve d'eau, un téléphone portable, un imperméable et un sifflet sont obligatoires à partir d'une distance d'environ 30 km (Bazin & Delorme, 2015). L'utilisation des bâtons est parfois interdite afin d'éviter des accidents et d'avoir suffisamment d'espace pour permettre aux coureurs de se doubler en toute sécurité.

La notion de performance dans ce sport peut être résumée comme la capacité à maintenir la vitesse moyenne de course la plus élevée et nécessite donc un apport d'adénosine triphosphate (ATP) adéquat durant toute la durée de la course. Au fur et à mesure que la durée d'une performance totale augmente, il y a une plus grande dépendance à la production d'ATP via la phosphorylation oxydative (filiale aérobie) pour maintenir le cycle de production d'ATP (Bassett & Howley, 2000). Un des facteurs clés de la performance en trail concerne donc les aptitudes physiologiques du participant. La filière aérobie est la voie énergétique la plus importante en trail, au même titre que pour un marathon, qui constitue également un effort de longue durée où la vitesse des coureurs est en dessous du seuil lactique (Billat, 2012). Elle utilise différents substrats afin de produire de l'énergie : les glucides, les lipides et les protéines. Comme cette filière a besoin d'oxygène (O_2) pour fonctionner, les systèmes respiratoire et cardiovasculaire vont se coordonner afin de permettre au corps de répondre à cette demande. La sollicitation du système cardio-respiratoire est proportionnelle à l'intensité de l'effort (Wilmore et al., 2017). La sollicitation du système cardiovasculaire peut être mesurée à l'aide de la fréquence cardiaque (FC). Selon une étude faite dans le domaine du cyclisme, la FC permet d'évaluer l'intensité d'un effort plus facilement et précisément que la vitesse et est plus représentative de la charge interne que la puissance développée (Jeukendrup & Diemen, 1998). Toutefois, plusieurs facteurs peuvent influencer la FC durant un exercice comme la température ou l'altitude (Achten & Jeukendrup, 2003). La FC est mesurable sur le terrain, ce qui est particulièrement adéquat pour une discipline *outdoor* comme le trail (Borresen & Ian Lambert, 2009). De plus, la FC est un témoin de la consommation d'oxygène (VO_2) et est liée au système respiratoire. Concernant la sollicitation du système cardio-respiratoire, la VO_2 est l'indicateur le plus pertinent. La consommation maximale d'oxygène (VO_{2max}) est notamment utilisée pour mesurer l'aptitude aérobie maximale et l'endurance cardio-respiratoire d'une personne (Wilmore et al., 2017). Une étude a montré qu'il existait une corrélation significative entre la VO_{2max} et la performance lors d'un trail de 27 km et 1'750 m de dénivelé positif, cette corrélation est présentée dans la Figure 2 (Alvero-Cruz et al., 2019). Deux autres facteurs vont également influencer la performance en trail en dehors des conditions externes : les facteurs biomécaniques et les facteurs psychologiques. Les facteurs biomécaniques comme l'économie de course ainsi que la technique, et les facteurs psychologiques comme la motivation, la résistance au stress ou encore la concentration sont importants lors de la réalisation d'une performance dans les sports d'endurance (Cazorla, 2014).

Figure 2

Corrélation entre la consommation maximale d'oxygène (VO_{2max}) et le temps de course (Race time)



Note. Cette figure montre la corrélation négative trouvée entre la VO_{2max} des athlètes et le temps de course obtenu lors d'un trail de 27 km (Alvero-Cruz et al., 2019, p. 5).

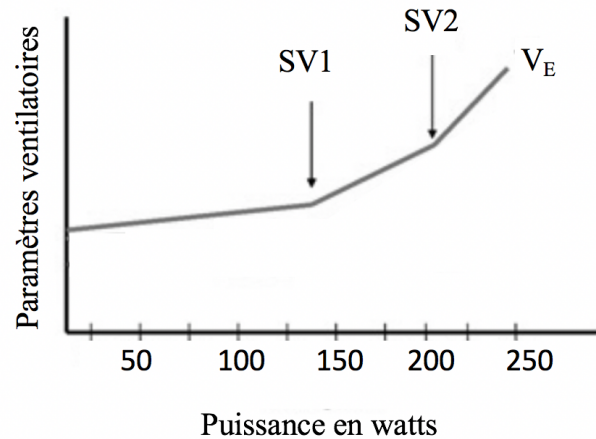
La charge interne correspond au stress psychologique et physiologique supporté par l'organisme lors d'un effort. La quantification de la charge interne permet notamment de mieux comprendre l'impact physiologique d'un exercice sur l'organisme d'un athlète et d'optimiser ainsi la planification des entraînements (Borresen & Ian Lambert, 2009). Le fait que la FC et la VO_2 s'ajustent proportionnellement à l'intensité lors d'un effort de type aérobie permet d'estimer la charge interne objective à partir de ces paramètres. Une évaluation subjective de la charge interne est aussi possible, elle permet d'inclure les ressentis psychologiques et physiques de l'athlète. Pour cela, il est possible d'utiliser par exemple l'échelle de Borg (Borg, 1998). Cette échelle de perception de l'effort (RPE) s'échelonne de 6 à 20, représentant au dixième l'étendue de la FC d'un athlète d'âge moyen entre le repos et l'effort maximal. Par exemple, un RPE de 18 sur l'échelle de Borg correspond théoriquement à une FC de 180 battements par minute. La valeur de RPE correspond à la perception, au ressenti global de la charge et comprend aussi bien le travail physique que psychologique. En cyclisme, particulièrement en contre-la-montre, l'évolution de la vitesse de déplacement et de la FC est utilisée afin de contrôler la gestion de l'intensité (Grappe, 2009). Une grande variation de la FC pour un même profil de route peut

témoigner d'une mauvaise gestion de l'effort. De plus, l'auteur du livre *Cyclisme et optimisation de la performance* précise que la perception subjective de l'effort est un bon complément à l'utilisation de la FC (Grappe, 2009).

A partir des données de FC, VO_2 et RPE, il est possible de définir des zones d'intensité permettant une programmation ciblée de l'entraînement. Ces zones d'intensité permettent également de visualiser la répartition de l'intensité de l'effort ou de mieux planifier son allure lors d'un entraînement ou d'une course de trail. Il est important de pouvoir quantifier le niveau d'intensité afin de déterminer la charge de l'effort sur le corps. Il existe différents modèles de classification des zones d'entraînement, comme par exemple, le modèle à 5 zones (Seiler & Tønnessen, 2009). Il existe également une classification en 3 zones basée sur les seuils ventilatoires. Un test d'effort maximal sur tapis roulant permet de définir les deux seuils ventilatoires en fonction de l'intensité de l'effort (Figure 3). L'étude de la courbe du débit ventilatoire (V_E) en fonction de l'intensité d'exercice permettrait d'observer deux cassures. La première cassure, correspondant au premier seuil ventilatoire (SV1), apparaît en principe entre 50 et 60 % de VO_{2max} . Cette première cassure est due au tamponnement des ions hydrogène par le bicarbonate de sodium, entraînant une augmentation de la production de dioxyde de carbone (CO_2) non-métabolique qui va stimuler V_E . La seconde cassure, correspondant au deuxième seuil ventilatoire (SV2), est déterminée en principe entre 80 et 90 % de VO_{2max} . Cette deuxième cassure, dans l'évolution de V_E , est essentiellement expliquée par une acidose (diminution du pH) causée par la saturation des tampons de bicarbonate de sodium (Vallier et al., 2000). A partir de SV1 et SV2, il est possible de définir 3 zones d'intensité : la Zone 1 en dessous du SV1, la Zone 2 entre le SV1 et le SV2, et la Zone 3 au-dessus du SV2. La Zone 1 est une zone de basse intensité (< 75-82 % FC_{max} et RPE = 12), la Zone 2 correspond à une zone d'intensité modérée (entre 80 et 90 % FC_{max} et RPE = 12-14), et la Zone 3 est une zone de haute intensité (> 87-90 % FC_{max} et RPE > 16) (Faude et al., 2009; Seiler & Kjerland, 2006).

Figure 3

Représentation graphique des seuils ventilatoires

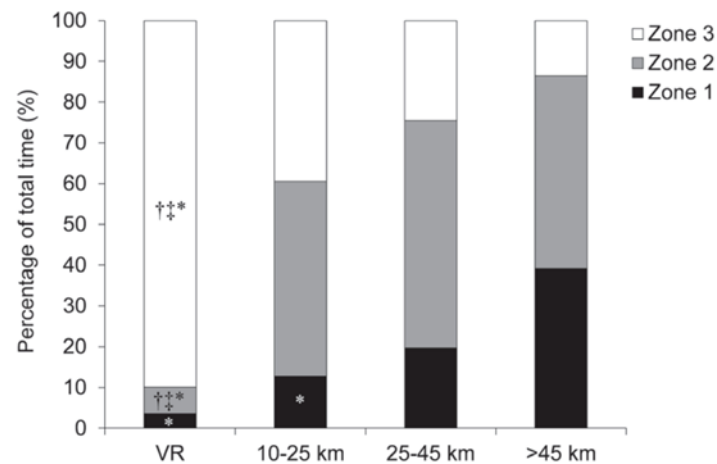


Note. SV1 = premier seuil ventilatoire ; SV2 = deuxième seuil ventilatoire ; V_E = débit ventilatoire (adapté de Vallier et al., 2000, p. 134).

Une étude de Rodríguez-Marroyo et al. (2018) s'est intéressée à l'intensité de différentes courses, dont des courses de montagne d'une distance de 10 à 25 km avec environ 1'000 m de dénivelé positif. Sept coureurs d'un niveau national ont pris part à l'étude. La Figure 4 montre que la répartition du temps passé dans les 3 zones est différente selon la distance et le type de course de montagne. Les résultats montrent que le pourcentage de temps passé dans la Zone 1 augmente avec la distance de course de montagne. Même si un pourcentage plus élevé du temps dans la Zone 3 était obtenu dans la course verticale, lorsque le temps absolu passé dans cette zone d'intensité d'exercice a été analysé, aucune différence entre les différents types de course de montagne n'a été observée. Pour chaque type de course de montagne, le temps total passé dans la Zone 3 était d'environ 50 minutes. Ces résultats sont similaires à ceux trouvés par Ramos-Campo et al. (2016), avec un temps total d'environ 50 min à une intensité $> 90\%$ de la FC de réserve et 13% du temps de course lors d'un ultra-marathon de montagne (Ramos-Campo et al., 2016). Ces données pourraient suggérer l'existence d'un schéma d'effort optimal à haute intensité pour optimiser la performance chez les coureurs de montagne (Rodríguez-Marroyo et al., 2018). Pour une course de montagne de 10-25 km, le temps passé en Zone 3 représente 40% du temps total de course, soit presque la moitié de la course.

Figure 4

Pourcentage du temps total passé dans chacune des trois zones d'intensité d'effort pour des courses de montagne de différentes catégories



Note. Zone 1 = en dessous du seuil ventilatoire 1 ; Zone 2 = entre le seuil ventilatoire 1 et le seuil ventilatoire 2 ; Zone 3 = au-dessus du seuil ventilatoire 2 ; VR = course verticale. †différence significative avec 10-25 km ($p < 0.05$), ‡différence significative avec 25-45 km ($p < 0.05$), *différence significative avec > 45 km ($p < 0.05$) (Rodríguez-Marroyo et al., 2018, p.55).

Cependant, il existe peu d'études qui analysent l'intensité d'effort pendant les courses de trail. À ce jour, ces études ont porté sur les courses les plus difficiles comme les ultra-marathons de montagne (Clemente-Suárez, 2015; Fornasiero et al., 2018; Ramos-Campo et al., 2016). L'étude de Rodríguez-Marroyo et al. (2018) est l'une des premières qui a analysé les exigences physiologiques des courses de montagne de différentes distances. À cet égard, l'effet de la charge interne dans un ultra-marathon de montagne sur les muscles des jambes (Ramos-Campo et al., 2016), les muscles respiratoires (Vernillo et al., 2014) et cardiaques (Ramos-Campo et al., 2016) a été documenté. Cette étude a également mis en évidence un fort lien entre les valeurs de la charge interne dans des courses de trail et les valeurs que l'on retrouve dans les courses cyclistes lors d'étapes de plat, de contre-la-montre, ou de montagne (Rodríguez-Marroyo et al., 2009). Ce dernier point témoigne de la similitude de la demande physiologique de ces deux sports.

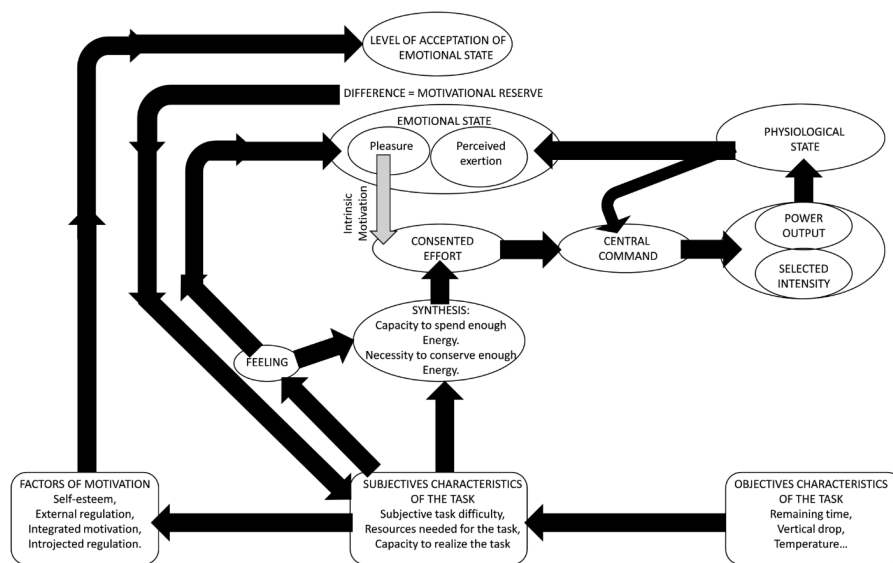
Comme expliqué précédemment, il existe de nombreux types de parcours avec leurs propres distances et dénivelés. La configuration du terrain est également variable, ce qui rend chaque course unique (Balducci, 2017). Chaque course étant unique, il faut se préparer en prenant en compte le profil et la nature du terrain (Rochat, 2017). Afin de permettre une planification de course adaptée, l'organisateur met à disposition diverses informations comme le nombre de kilomètres, le profil, le dénivelé, une carte de l'emplacement et une courte description du terrain. De ce fait, avoir de bonnes aptitudes physiologiques ne suffit pas pour être performant, une tactique de course doit être judicieusement préparée. Par exemple, un des aspects de la tactique de course concerne le dosage de l'effort. En effet, il existe différentes stratégies de gestion de l'allure de course (*pacing*). Le *pacing* est influencé par des contraintes externes, telles que la durée, le profil de course ou encore les conditions environnementales, et par des contraintes internes comme la résistance à la fatigue, les capacités et puissance des systèmes aérobie et anaérobie ou le maintien de l'homéostasie (Balducci, 2017). Il existe plusieurs stratégies de *pacing* dont les plus communes sont les suivantes : le *pacing* positif qui consiste à diminuer de manière constante la vitesse durant la course, le *pacing* négatif qui consiste au contraire à augmenter la vitesse de manière constante durant la course, et le *pacing* constant ou *even pacing* qui a pour but de maintenir une allure constante durant toute la durée de la course. Il existe également des *pacing* dits paraboliques en forme de U, J ou J inversé, mais ils sont souvent le résultat d'une stratégie de *pacing* positive, négative ou d'un *pacing* constant (Abbiss & Laursen, 2008). En cyclisme, les résultats d'une étude ont attesté qu'un *pacing* constant était le plus représenté parmi les cyclistes ayant la vitesse moyenne de course la plus élevée lors d'un contre-la-montre (Saupe et al., 2019). De plus, une autre étude sur l'Ultra Trail du Mont-Blanc a montré que les meilleurs temps réalisés étaient associés à la stratégie d'un *pacing* constant (Suter et al., 2020). Les meilleurs temps lors d'un trail de 75 km sont également réalisés par les coureurs qui maintiennent une intensité d'effort la plus constante possible en minimisant les variations (Balducci et al., 2019).

L'allure de course peut également être influencée par des facteurs cognitifs. Ces facteurs cognitifs sont composés de la proprioception, de la prise d'information rapide et de la retranscription sur la foulée (Baron et al., 2018). Il existe aussi la théorie du « modèle de gouverneur central », qui situe le cerveau au centre de la régulation de l'effort. Ce modèle veut que le cerveau analyse une multitude de signaux périphériques et centraux. Avec ces informations, le cerveau régule l'effort en maintenant l'équilibre physiologique de l'organisme. Ce gouverneur central va, par exemple, forcer notre corps à réduire un effort afin de protéger la vie et l'intégrité

physique de l'athlète (Noakes & Gibson, 2004). *The global model of pacing process* (Figure 5) est un autre modèle plus global intégrant ces facteurs cognitifs (Baron et al., 2018). Dans ce modèle, les données subjectives (capacité à réaliser la tâche, vision subjective de la tâche à réaliser) et objectives (température, dénivelé restant) sont combinées aux facteurs de motivation (confiance en soi, régulation externe) ou encore à l'état émotionnel et physique du coureur.

Figure 5

The global model of pacing process



Note. The global model of pacing process montre les connexions entre les différents facteurs qui le composent (Baron et al., 2018, p. 2842).

Appliquer en situation de course, une tactique judicieuse comprenant un *pacing* adéquat nécessite de l'expérience. Une étude sur les courses d'ultra trail d'une durée de 6 à 240 heures a relevé que de meilleurs temps ont été réalisés par les athlètes qui ont effectué un plus grand nombre de courses durant leur carrière (Knechtle et al., 2014). De plus, une autre étude similaire a relevé que les personnes qui finissaient leur 8^{ème} ou 10^{ème} ultra trail étaient entre 80 minutes et 3 heures plus rapides en moyenne que les athlètes qui étaient à leur première participation (Hoffman & Parise, 2015). Une analyse des performances sur les 100 km de Bienne montre que les jeunes d'environ 20 ans ont un *pacing* qui diminue fortement à mesure que les kilomètres défilent. Cet aspect peut être dû à un manque d'expérience mais également au fait que plus la distance augmente et plus les performances augmentent avec l'âge, jusqu'à l'âge d'environ 45

ans, où ensuite les performances vont régresser. Une explication possible à l'augmentation des performances jusqu'à l'âge de 45 ans supposerait que pour des compétitions allant de 6 heures à 10 jours, l'expérience serait la composante déterminante pour une performance maximale et de ce fait, la performance augmenterait avec le nombre de courses semblables effectuées (Knechtle et al., 2015). En interprétant ces différentes études, on constate qu'une tactique de course se prépare de manière plus efficace au fil des expériences et des participations. Généralement, un coureur avec un niveau d'expertise élevé va pouvoir définir des temps de passage, planifier une stratégie et saura s'adapter à la situation sur le terrain. Un coureur avec moins d'expérience en trail aura tendance à faire un début de course « trop » rapide qui peut pénaliser la performance finale (Bazin & Delorme, 2015).

Le trail a des similitudes avec l'escalade : comme pour les voies d'escalade, chaque parcours de trail est différent et nécessite donc une adaptation par rapport aux caractéristiques spécifiques. En escalade, il est commun d'observer la voie que l'on s'apprête à grimper afin d'anticiper les mouvements à effectuer. Une étude sur l'efficacité d'une inspection visuelle de la voie avant de l'escalader a démontré que les grimpeurs faisaient moins d'arrêts et des arrêts plus courts lorsqu'ils pouvaient observer la voie au préalable (Sanchez et al., 2012). Dans cette même étude, les participants qualifiés d'un niveau « expert » ont réalisé de meilleurs résultats que le groupe d'un niveau « intermédiaire », et cela pourrait être dû à une meilleure capacité à observer et analyser des voies d'escalade (Sanchez et al., 2012). Une autre étude en escalade montre que le fait de répéter l'ascension d'une voie pendant 10 semaines à raison d'une fois par semaine permet une réduction significative du temps de grimpe et de la dépense énergétique au fil des répétitions (Espana-Romero et al., 2012). De plus, une seconde étude montre non seulement une baisse de la durée, mais également de l'anxiété somatique et cognitive lors de la répétition d'une même voie d'escalade (Draper et al., 2008). Dans ces deux dernières études, la FC est restée similaire lors de la répétition d'une voie d'escalade. Ces études montrent les divers bénéfices d'une répétition ou d'une prévisualisation d'une voie d'escalade sur la performance. Premièrement, une différence existe entre les experts et les novices en ce qui concerne l'effet de la prévisualisation de la voie sur la performance, et deuxièmement, la performance et l'anxiété lors de l'ascension d'une voie peuvent être influencées positivement par la répétition.

De même, l'expérience dans les sports d'endurance hors stade tels que la course à pied ou le cyclisme permet de mieux analyser le profil du parcours de la course et donc de planifier une stratégie de course plus adaptée qu'une personne avec moins d'expérience. Le fait de repérer le

parcours sur place et de le parcourir avant la compétition est une pratique courante chez les sportifs. Par exemple, dans les courses par étapes, les coureurs cyclistes vont sélectionner les étapes décisives où il y a des ascensions afin de planifier au mieux leur course le jour de la compétition (Carrel, 2020). Dans un podcast *De la Borne plein les oreilles* diffusé sur l'Apple Podcast (2020), un ancien cycliste professionnel et un ancien champion de course de montagne parlent de leur expérience et de l'importance de connaître parfaitement le parcours et particulièrement les cinq derniers kilomètres (Lorblanchet et al., 2020). Selon leur expérience, toute personne désirant gagner une étape ou une course doit connaître dans le détail les derniers kilomètres. Lorsqu'il n'est pas possible de le faire physiquement, ils conseillent de consulter des résumés en vidéos des éditions précédentes ou, dans le cas du cyclisme, d'aller repérer le parcours en voiture. Dans ce Podcast, ils prennent également l'exemple du ski alpin où l'on voit les coureurs qui ferment les yeux et qui simulent chaque virage et connaissent chaque détail du parcours. Pour eux, tout coureur qui cherche la performance devrait s'en inspirer afin de savoir quelle allure adopter lors des différentes portions d'un parcours de trail (Lorblanchet et al., 2020). Étant donné que la répétition ou la prévisualisation d'une voie en escalade et le fait de repérer un parcours en cyclisme permettent potentiellement d'améliorer la performance, il serait intéressant de voir si ces observations se confirment dans une discipline comme le trail.

1.1 Objectif du travail

L'objectif de cette étude est de mesurer l'effet d'une répétition d'un parcours de trail sur la performance brute (durée) et sur les valeurs physiologiques (FC), ainsi que d'identifier la tactique adoptée et de la mettre en relation avec la performance. Cette étude permettra de déterminer si le fait de repérer physiquement un parcours est un élément à prendre en compte lorsque l'on veut accomplir une performance lors d'une course de trail. Un second objectif de cette étude vise à déterminer si le niveau d'expertise d'un coureur de trail permet une adaptation différente lors d'une répétition.

L'hypothèse principale de recherche est une amélioration de la performance brute lors de la répétition du parcours. Cette amélioration serait due à une tactique de course plus réfléchie que lors de la première participation, comprenant une gestion de l'allure de course plus adaptée au parcours principalement dans les portions « techniques ». Concernant la FC, l'hypothèse suggère qu'elle devrait être similaire ou augmenter lors de la répétition du parcours, dû à une allure de course plus élevée et donc une intensité d'effort plus grande. La deuxième hypothèse est que les résultats seraient différenciés selon le niveau d'expertise : un coureur avec plus d'expérience

en trail devrait avoir des performances supérieures aux coureurs novices lors du premier parcours. La raison est que la probabilité de commettre des erreurs tactiques est plus élevée chez les novices, alors que les experts, avec leur expérience, devraient adopter une tactique plus appropriée lors du premier parcours. En revanche, lors du deuxième parcours, les coureurs novices, avec les informations assimilées et erreurs commises lors du premier parcours, pourront viser une amélioration de la performance supérieure à celles atteinte par les coureurs experts, car ils possèdent une plus grande marge de progression.

2 Méthode

2.1 Sujets

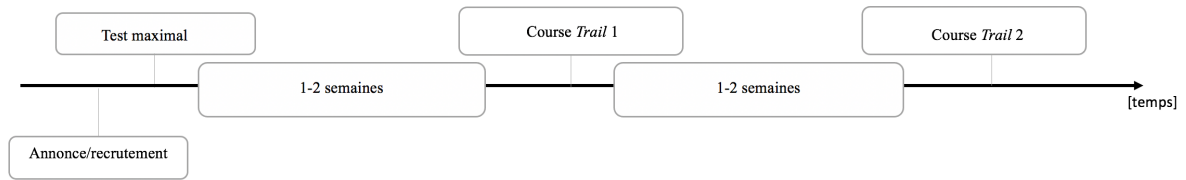
Vingt-deux coureurs de sexe masculin ou féminin, ayant participé au minimum à trois courses de trail de plus de 10 km lors des trois dernières années, en bonne santé et non blessés lors du recrutement, ont été sélectionnés pour participer à cette étude (Annexe A). Sur les 22 sujets, 9 se sont retirés au cours de l'étude pour diverses raisons. Au final, 13 sujets (8 hommes et 5 femmes) ont terminé l'étude. Les 13 participants ont été répartis en deux groupes appariés au niveau des caractéristiques anthropométriques et physiques, mais différents au niveau de l'expérience en trail (Tableau 3). Le groupe « Novice » ($n = 5$) regroupait les sujets entraînés en course à pied sur route, discipline dans laquelle les chemins sont faits majoritairement d'asphalte ou de bitume. Ce groupe de sujets avait moins d'expérience dans la course de trail (maximum 6 trails effectués lors des 3 dernières années). Le groupe « Expert » ($n = 8$) regroupait des sujets qui possédaient une certaine expérience dans la course de trail (minimum 7 trails effectués lors des 3 dernières années).

2.2 Protocole expérimental

Une fois sélectionnés pour l'étude, les participants ont été convoqués pour un premier rendez-vous individuel fixé au laboratoire de recherche des sciences du mouvement et du sport de l'Université de Fribourg. Lors de ce rendez-vous, une présentation de l'étude a eu lieu (Figure 6) et les sujets ont rempli un formulaire de consentement (Annexe B) ainsi qu'un formulaire de bonne santé. Les données anthropométriques des sujets ont été mesurées et un test d'effort maximal sur tapis roulant a été effectué afin de déterminer les paramètres physiologiques maximaux ainsi que les seuils ventilatoires des participants. Une fois ces données récoltées, les participants ont été convoqués deux dimanches de suite afin d'effectuer deux courses de trail identiques. Le profil du parcours a été envoyé aux sujets une semaine avant la course. Il leur a été demandé de ne pas effectuer d'effort important durant les 72 h précédant le test et les courses.

Figure 6

Déroulement dans le temps du protocole expérimental



2.2.1 Test d'effort maximal

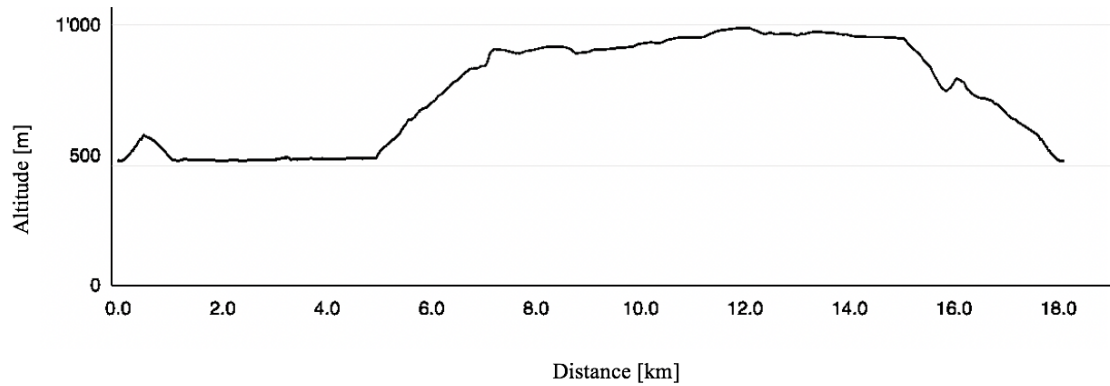
Le test d'effort maximal a eu lieu au laboratoire de Fribourg sur un tapis roulant (Technogym, Suisse). Le protocole débutait par 3 minutes de repos assis sur une chaise. Ensuite, le sujet débutait par un échauffement à $8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ durant 3 minutes. Après l'échauffement, le test par paliers pouvait commencer. A chaque minute, la vitesse augmentait de $1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Le test se déroulait ainsi jusqu'à épuisement du sujet (Annexe C). La pente du tapis était de 0 %.

2.2.2 Course de trail

La course de trail se déroulait dans le canton du Jura en Suisse. Le parcours passait par différents types de sol : des sentiers, des chemins blancs et de l'asphalte. La Figure 7 représente le profil du parcours que les participants ont couru à deux reprises.

Figure 7


Profil du parcours



Note. Les caractéristiques du parcours de trail étaient les suivantes : distance = 18.1 km, altitude minimale = 476 m, altitude maximale = 986 m, dénivelé positif = 781 m et dénivelé négatif = 781 m.

Le parcours était divisé en quatre segments afin de permettre une analyse spécifique aux différentes portions du parcours (Tableau 1). Le premier segment « Plat1 » était plat après une légère bosse au départ, le deuxième était une montée sur un sentier (segment « Montée »), ensuite les coureurs retrouvaient une section avec un faux plat montant et descendant (segment « Plat2 ») et pour finir, un segment « Descente » pour rejoindre la ligne d'arrivée. Des bénévoles étaient postés à chaque fin de segment afin de noter les temps de passage et de prendre le ressenti de l'effort des participants avec l'échelle de Borg.

Tableau 1*Caractéristiques des segments*

Segments	Plat1	Montée	Plat2	Descente
Profil				
Distance [km]	4.9	2.3	7.8	3.1
Altitude min/max [m]	476/576	488/902	888/986	476/946
Dénivelé POS/NE [m]	153/143	417/3	159/117	52/518

Note. Le tableau représente les différents segments du parcours. La distance est en kilomètres (km). L'altitude minimale (min) et l'altitude maximale (max) sont en mètre (m) depuis le niveau de la mer. Le dénivelé positif (POS) et le dénivelé négatif (NE) sont en mètres.

Les départs ont été échelonnés toutes les 10 minutes à l'image d'une course contre-la-montre. Les participants étaient équipés d'une montre GPS reliée à un capteur cardiaque. Le reste de l'équipement était libre pour chaque participant, les bâtons n'étaient toutefois pas admis. Un chronomètre manuel à l'arrivée permettait d'avoir le temps de l'ensemble de la course. Les participants ont reçu un document d'information une semaine avant la course (Annexe D).

2.3 Mesures et traitement des données

2.3.1 Données anthropométriques

La taille [cm], le poids [kg] et l'indice de masse corporelle (IMC) [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$] ont été calculés au laboratoire de Fribourg au moment du test d'effort maximal.

2.3.2 Échanges gazeux

Lors du test d'effort maximal, les échanges gazeux ont été mesurés cycle par cycle en continu par spiro-ergométrie et moyennés ensuite par tranches de 15 secondes. Avant chaque test, le dispositif Oxycon Pro (Jaeger, Allemagne) était calibré en 3 étapes : (1) analyse de l'air ambiant (température, pression, humidité) ; (2) étalonnage de l'analyseur des gaz avec un mélange de gaz connu (16.00 % O₂ et 5.02 % CO₂) ; (3) étalonnage du volume à l'aide d'une seringue de volume connu (3L). La taille du masque était adaptée au participant afin d'être hermétique à l'air.

Consommation maximale d'oxygène. La VO_{2peak} a été déterminée comme étant la valeur la plus élevée de VO₂ obtenue lors du test d'effort maximal, après avoir supprimé les éventuels artéfacts.

Seuils ventilatoires. Les deux seuils ventilatoires (SV1 et SV2) ont été estimés indépendamment par trois investigateurs selon les méthodes de Wasserman (Wasserman et al., 1973) et de Beaver (Beaver et al., 1986). Pour SV1, la première méthode consiste à déterminer visuellement le point à partir duquel l'équivalent en O₂ (V_E/VO₂) commence à augmenter alors que l'équivalent en CO₂ (V_E/VCO₂) reste constant. Avec la deuxième méthode, on détermine le point d'inflexion de la relation entre VCO₂ et VO₂. Pour SV2, cela consiste à déterminer visuellement le point à partir duquel les équivalents en O₂ et en CO₂ augmentent fortement.

2.3.3 Fréquence cardiaque

Lors du test et du parcours, les participants étaient équipés d'une montre Polar Vintage M (Polar, Finlande) et d'un capteur cardiaque (Polar, Finlande). La fréquence d'acquisition des valeurs de FC était de 5 s. La FC_{peak} a été déterminée comme étant la valeur la plus élevée de FC lors du test maximal, après avoir supprimé les éventuels artéfacts. La FC faisait office de référence pour déterminer différentes zones d'intensité lors du traitement du premier (Trail1) et du deuxième trail (Trail2).

2.3.4 Zones d'intensité

La Zone 1 est située au-dessous du SV1, la Zone 2 est située entre le SV1 et le SV2 et la Zone 3 au-dessus du SV2 (Faude et al., 2009). Les valeurs de FC correspondant à SV1 et SV2 ont été déterminées pour chaque sujet. Durant les courses de trail, le temps passé dans les différentes zones d'intensité a été déterminé à partir de la FC.

2.3.5 Perception de l'effort

L'échelle de Borg de 6-20 (Borg, 1998) a été utilisée afin d'estimer la perception de l'effort (RPE) des participants. Elle a été utilisée non seulement lors des Trail1 et Trail2 (RPE_{Trail}), mais également à la fin du test d'effort maximal ($RPE_{VO2peak}$).

2.3.6 Conditions météorologiques

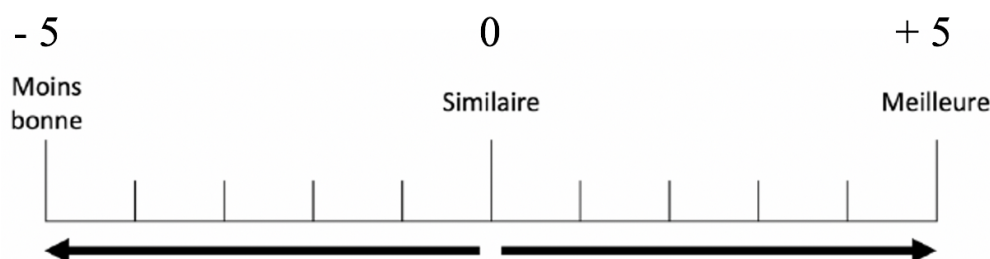
Les conditions météorologiques (température, tendance barométrique) lors des deux trails ont été mesurées avec la montre Suunto 9 Baro (Suunto, Finlande) le jour de la course.

2.3.7 Questionnaire

Les participants ont rempli un questionnaire à la fin du Trail2. Le questionnaire comportait un total de 10 questions qui concernaient les conditions environnementales, les aspects psychologiques et tactiques (Annexe E). Les participants ont répondu aux questions grâce à une échelle quantitative graduée à l'unité allant de -5 (Moins bonne) à +5 (Meilleure), la valeur de 0 correspondant à la réponse « Similaire » (Figure 8).

Figure 8

Échelle utilisée dans le questionnaire



2.4 Traitement statistique

Toutes les données sont exprimées en moyenne \pm écart-type. Pour les paramètres (forme du jour, temps, vitesse, FC, $\%FC_{peak}$ et RPE_{Trail}), les différences absolues (Δ) et relatives ($\%\Delta$) entre le Trail1 et le Trail2 ont été déterminées. Lorsque les données respectaient les conditions de normalité, des t-test appariés ont été utilisés pour comparer les résultats intra-sujets entre le Trail1 et le Trail2 (forme du jour, temps, vitesse, FC, $\%FC_{peak}$, RPE_{Trail} , répartition des zones d'intensité). Le test de Wilcoxon pour les échantillons appariés remplaçait le t-test lorsque les

données s'avéraient non paramétriques. Afin de comparer les données anthropométriques (expérience en trail, âge, taille, poids et IMC), les caractéristiques physiques obtenues lors du test d'effort maximal (forme du jour, $RPE_{VO_{2peak}}$, FC_{peak} , VO_{2peak} , SV1 et SV2) et les résultats obtenus lors des Trails 1 et 2 (forme du jour, temps, vitesse, FC et RPE_{Trail}) entre les groupes Novice et Expert, le t-test non apparié a été utilisé. Le test de Mann-Withney était utilisé lorsque les données ne respectaient pas les conditions de normalité des variances et lorsque les données s'avéraient non-paramétriques. Afin de comparer les données des différences de temps dans les différents segment (Δ temps Plat1, Δ temps Montée et Δ temps Descente), le test ANOVA de Friedman pour mesures répétées a été utilisé afin de traiter les données non-paramétriques. Les coefficients de corrélation de Pearson (r) et Spearman (ρ) ont été utilisés, respectivement avec les données paramétriques et non paramétriques, afin de tester les relations entre la différence de temps total (Δ temps total) et la différence de divers paramètres (Δ temps segment, Δ temps Montée, Δ temps Plat1, Δ % FC_{peak} Descente) entre les Trails 1 et 2. La relation entre la différence du temps Descente (Δ temps Descente) et la différence du % FC_{peak} (Δ % FC_{peak} Descente) a également été testée. Le seuil de significativité a été fixé à $p < 0.05$ pour l'ensemble des analyses statistiques. Le traitement des données a été effectué avec le logiciel Jamovi (version 1.2.27.0, Jamovi, Australie).

3 Résultats

Le Tableau 2 présente les données anthropométriques (expérience en trail, âge, taille, poids et IMC) et les caractéristiques physiques obtenues lors du test d'effort maximal (forme du jour, $RPE_{VO_{2peak}}$, FC_{peak} , VO_{2peak} , SV1 et SV2) des 13 sujets, ainsi que pour le groupe Novice ($n = 5$) et le groupe Expert ($n = 8$). Aucune différence significative n'a été observée pour les données anthropométriques et les caractéristiques physiques entre les groupes Novice et Expert ($p > 0.05$). Comme attendu, seule l'expérience (nombre de courses de trail effectuées) était significativement supérieure pour le groupe Expert ($p < 0.001$).

Tableau 2*Données anthropométriques et caractéristiques physiques des sujets*

	Total (n = 13 ; 8 ♂/5 ♀)	Novice (n = 5 ; 3 ♂/2 ♀)	Expert (n = 8 ; 5 ♂/3 ♀)
Données anthropométriques			
Expérience [n]	6.5 ± 3.9	2.2 ± 1.8	9.3 ± 1.5 ***
Age [années]	29.6 ± 11	28.4 ± 10	30.4 ± 12.2
Taille [cm]	172.1 ± 9.2	171.6 ± 7.4	172.4 ± 10.7
Poids [kg]	64.8 ± 11.6	62 ± 8.7	66.6 ± 13.4
IMC [kg·m ⁻²]	21.7 ± 2.1	21 ± 1.7	22.2 ± 2.3
Test d'effort maximal			
Forme du jour [1-10]	7.8 ± 1.1	8.2 ± 0.8	7.6 ± 1.3
RPE _{VO₂peak} [6-20]	18.5 ± 1.4	18.2 ± 1.1	18.6 ± 1.6
FC _{peak} [bpm]	187.8 ± 14.7	188.4 ± 9.9	187.5 ± 17.8
VO ₂ peak [ml·min ⁻¹ ·kg ⁻¹]	59.1 ± 4.4	59.2 ± 4.5	59.1 ± 4.7
SV1 [%VO ₂ peak]	72.2 ± 4.3	74.6 ± 4.0	70.6 ± 3.9
SV1 [%FC _{peak}]	83.8 ± 5.9	85.6 ± 4.4	82.8 ± 6.7
SV2 [%VO ₂ peak]	88.5 ± 3.2	89.0 ± 2.0	88.1 ± 3.9
SV2 [%FC _{peak}]	93.7 ± 1.9	93.2 ± 1.8	94.0 ± 2.1

Note. Les valeurs sont représentées en moyenne ± écart-type. Expérience = nombre de courses effectuées lors des 3 dernières années ; IMC = indice de masse corporelle ; RPE_{VO₂peak} = échelle de Borg à la fin du test d'effort maximal ; FC_{peak} = fréquence cardiaque maximale ; VO₂peak = consommation maximale d'oxygène ; SV1 = premier seuil ventilatoire ; SV2 = deuxième seuil ventilatoire. ***Différence significative entre le groupe Novice et le groupe Expert ($p < 0.001$).

3.1 Comparaison entre le Trail1 et le Trail2

Les données météorologiques lors du Trail1 présentait une température de 4° Celsius avec une humidité contenue dans l'air de 88 %. La vitesse du vent était de 6.4 km·h⁻¹, de direction nord/nord-est. S'agissant du Trail2, la température était de 13° Celsius avec une humidité de 46 %, la vitesse du vent de 10.2 km·h⁻¹ de direction nord-est. Le terrain était plus sec lors du Trail2.

Selon les réponses des participants au questionnaire, les conditions externes étaient considérées comme significativement meilleures lors du Trail2 (1.8 ± 1.9 , $p = 0.004$).

Les participants ont estimé dans le questionnaire que leur état physique (0.6 ± 1.0), leur état psychique (0.8 ± 1.3) et leur confiance en soi (0.5 ± 1.5) avant la course étaient similaires entre le Trail1 et le Trail2 ($p > 0.05$). Les participants ont également jugé que leur état psychique (0.8 ± 1.3) et leur état physique (0.5 ± 1.3) durant le Trail2 étaient similaires que ceux ressentis lors du Trail1 ($p > 0.05$). Le Tableau 3 présente les résultats obtenus lors du Trail1 et du Trail2. La forme du jour n'était pas significativement différente entre le Trail1 et le Trail2 ($p = 0.387$). Douze sujets sur treize ont amélioré leur temps et leur vitesse. Le temps et la vitesse lors du Trail2 ont été significativement améliorés par rapport au Trail1 ($p < 0.001$). La FC mesurée et le ressenti global estimé avec l'échelle de Borg (RPE_{Trail}) n'ont pas montré de différences significatives entre le Trail1 et le Trail2 ($p = 0.072$ et $p = 0.351$, respectivement). Cependant, les résultats du questionnaire montrent que les participants ont ressenti un degré de satisfaction concernant la gestion de l'effort (tactique) à la fin du Trail2 significativement supérieur à celui ressenti à la fin du Trail1 (1.7 ± 1.8 , $p = 0.006$).

Tableau 3*Résultats du Trail1 et du Trail2*

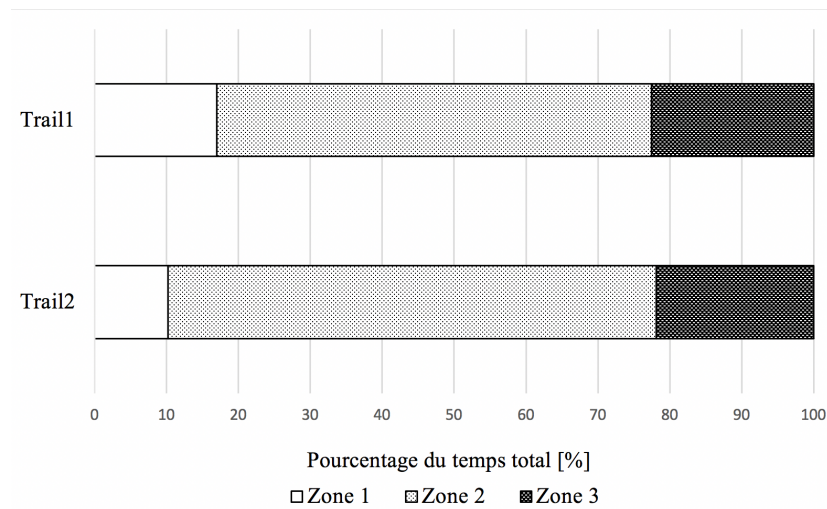
	Trail1	Trail2	Δ	% Δ
Forme du jour [1-10]	7.4 \pm 1.1	7.6 \pm 0.7	0.2 \pm 0.9	4.8 \pm 14.8
Temps [min]	104.8 \pm 8.3	101.4 \pm 8.1***	- 3.4 \pm 2.2	- 3.2 \pm 2.0
Vitesse [km·h ⁻¹]	10.4 \pm 0.8	10.8 \pm 0.8***	0.4 \pm 0.2	3.4 \pm 2.2
FC [%FC _{peak}]	89.5 \pm 2.8	91.2 \pm 2.5	1.6 \pm 2.0	
RPE _{Trail} [6-20]	15.8 \pm 1.4	16.1 \pm 1.4	0.3 \pm 1.2	2.4 \pm 7.7

Note. Les valeurs sont représentées en moyenne \pm écart-type. FC = fréquence cardiaque ; FC_{peak} = fréquence cardiaque maximale ; RPE_{Trail} = échelle de Borg à la fin du Trail1 et Trail2. Pour chaque paramètre, la différence entre le Trail1 et le Trail2 est quantifiée en valeur absolue (Δ) et relative (% Δ). ***Différence significative entre le Trail1 et le Trail2 ($p < 0.001$).

La Figure 9 présente le pourcentage du temps passé dans chaque zone d'intensité lors du Trail1 et du Trail2. Aucune différence significative dans la répartition du temps passé dans la Zone 2 ($p = 0.150$) et dans la Zone 3 ($p = 0.928$) n'a été observée entre le Trail1 et le Trail2. En revanche, le pourcentage du temps passé en Zone 1 a tendance à diminuer entre les Trails 1 et 2 ($p = 0.074$). On constate également cette tendance dans le temps absolu passé dans la Zone 1 qui est de 18.1 ± 20.5 min lors du Trail1 et de 10.3 ± 23.4 min lors du Trail2 ($p = 0.054$).

Figure 9

Répartition du temps total dans les 3 zones d'intensité

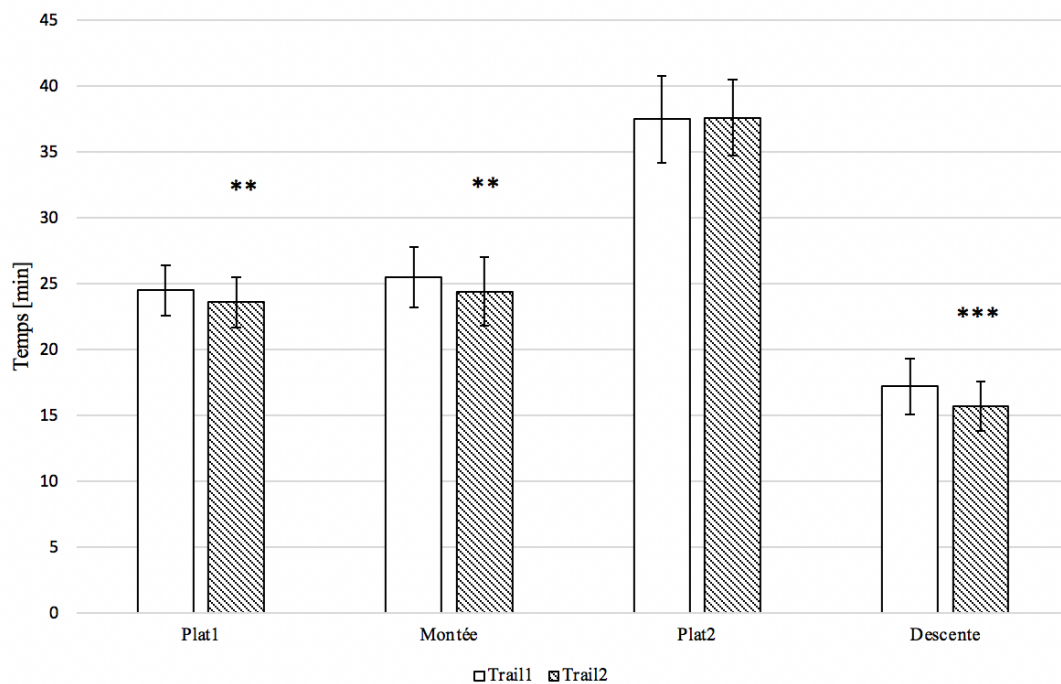


3.1.1 Comparaison des différents segments entre le Trail1 et le Trail2

La Figure 10 montre le temps absolu passé dans les différents segments du parcours lors des Trails 1 et 2. Le temps a diminué significativement sur le Plat1 ($p = 0.005$), la Montée ($p = 0.002$) et la Descente ($p < 0.001$) entre le Trail1 et le Trail2. Aucune différence significative entre la différence (Δ) de temps du segment Plat1 (0.8 ± 1.1), la différence de temps du segment Montée (1.2 ± 0.9) et la différence de temps du segment Descente (1.5 ± 1.4) a été constatée ($p > 0.05$). Le temps du segment Plat2 n'a pas évolué significativement entre le Trail1 et le Trail2 ($p = 0.982$). Selon les réponses du questionnaire, les participants ont estimé que leurs performances de course, lors des segments Plat1 et Plat2 (1.1 ± 2.0) et du segment Montée (0.6 ± 2.4) étaient similaires entre le Trail1 et le Trail2 ($p > 0.05$), alors que la performance lors du segment Descente (1.8 ± 2.0) a été jugée significativement meilleure par les participants lors du Trail2 ($p = 0.007$). De plus, il a été mis en évidence que la différence (Δ) de temps total et la différence de temps lors du segment Descente entre le Trail1 et le Trail2 étaient significativement corrélées ($\rho = 0.556$; $p = 0.049$), alors qu'aucune corrélation n'a été trouvée entre la différence de temps total et la différence du temps lors du segment Montée ($\rho = 0.378$; $p = 0.203$) ou de la différence du temps lors du segment Plat1 ($\rho = 0.024$; $p = 0.938$).

Figure 10

Temps passé dans les différents segments du parcours

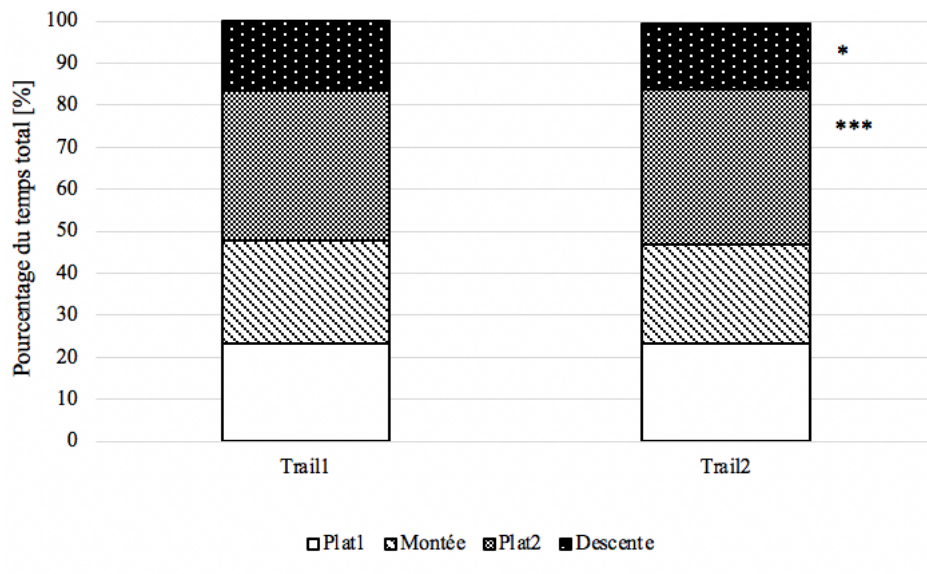


Note. Différence significative entre le Trail1 et le Trail2 (** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$).

La Figure 11 présente la répartition du pourcentage du temps total passé dans chaque segment lors des Trails 1 et 2. Le pourcentage de temps passé dans le segment Plat2 a augmenté significativement ($p < 0.001$) et le pourcentage du temps passé dans le segment Descente a diminué significativement lors du Trail2 ($p = 0.016$) en comparaison avec le Trail1. Aucune différence significative n'a été trouvée pour les segments Plat1 et Montée entre les deux parcours ($p > 0.05$).

Figure 11

Répartition du pourcentage du temps total passé pour les différents segments



Note. Différence significative entre le Trail1 et le Trail2 (* $p < 0.05$; *** $p < 0.001$).

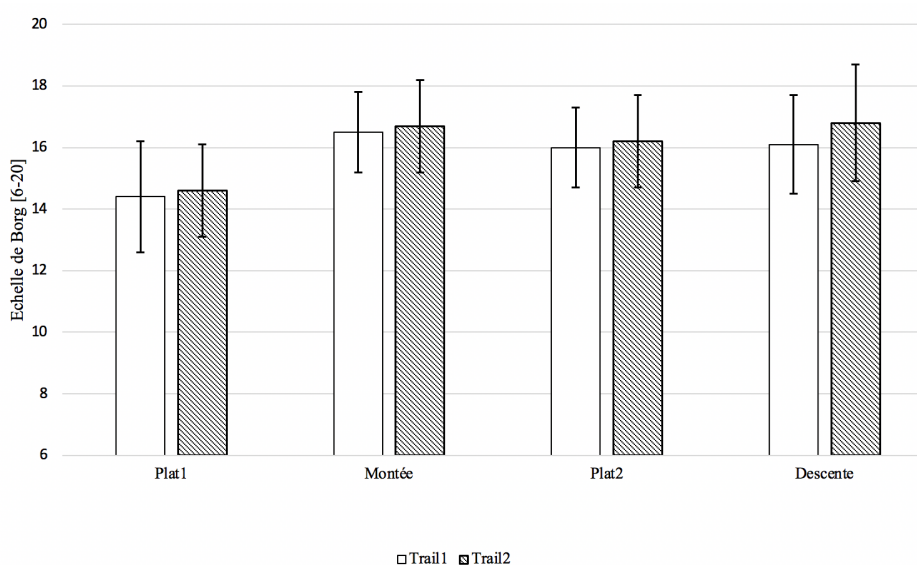
La FC (exprimée en %FC_{peak}) obtenue durant les différents segments est présentée dans le Tableau 4. Seule une augmentation significative a été observée pour le segment Descente ($p = 0.020$) entre le Trail1 et le Trail2. Aucune corrélation n'a été constatée entre la différence (Δ) de temps dans le segment Descente et la différence du %FC_{peak} dans le segment Descente ($\rho = 0.215$; $p = 0.481$). Cependant, une corrélation a été observée entre la différence (Δ) du temps total et la différence du %FC_{peak} dans le segment Descente ($r = 0.576$; $p = 0.039$).

Tableau 4*Fréquence cardiaque obtenue durant les différents segments*

	Trail1	Trail2	Δ
Plat1 [%FC _{peak}]	89.5 \pm 2.7	90.7 \pm 2.5	1.2 \pm 3.3
Montée [%FC _{peak}]	90.4 \pm 4.9	92.4 \pm 3.2	2.0 \pm 5.6
Plat2 [%FC _{peak}]	90.6 \pm 3.8	91.4 \pm 2.8	0.8 \pm 3.8
Descente [%FC _{peak}]	86.3 \pm 4.4	89.6 \pm 3.2*	3.2 \pm 4.4

Note. Les valeurs sont représentées en moyenne \pm écart-type. FC_{peak} = fréquence cardiaque maximale ; Δ = différence de %FC_{peak} entre le Trail1 et le Trail2. *Différence significative entre le Trail1 et le Trail2 ($p < 0.05$).

La Figure 12 montre les résultats de l'échelle de Borg pour les différents segments. Aucune différence significative n'a été observée entre le Trail1 et le Trail2 ($p > 0.05$).

Figure 12*Échelle de Borg pour les différents segments*

3.2 Comparaison entre les groupes Novice et Expert

La forme du jour, le temps, la vitesse, la FC et le score moyen de l'échelle de Borg obtenus lors des Trails 1 et 2 par le groupe Novice et le groupe Expert sont présentés dans le Tableau 5. Le Tableau 6 présente les différences entre le Trail1 et le Trail2 pour l'ensemble de ces paramètres pour le groupe Novice et pour le groupe Expert. Aucune différence significative n'a été observée pour ces paramètres entre les deux groupes. Comme pour les résultats de l'ensemble des sujets (Tableau 3), le temps et la vitesse ont été significativement améliorés par le groupe Expert et par le groupe Novice ($p < 0.01$).

Tableau 5

Résultats du Trail1 et du Trail2 pour les groupes Novice et Expert

	Trail1		Trail2	
	Novice	Expert	Novice	Expert
Forme du jour [1-10]	7.4 ± 1.1	7.4 ± 1.2	7.8 ± 0.4	7.5 ± 0.8
Temps [min]	108.2 ± 8.3	102.6 ± 8.0	104.3 ± 9.1	99.6 ± 7.5
Vitesse [km·h ⁻¹]	10.1 ± 0.7	10.6 ± 0.8	10.5 ± 0.8	11.0 ± 0.8
FC [%FC _{peak}]	89.1 ± 2.2	89.8 ± 3.2	90.7 ± 2.0	91.4 ± 2.9
RPE _{Trail} [6-20]	15.6 ± 1.5	15.9 ± 1.5	16.0 ± 1.8	16.2 ± 1.1

Note. Les valeurs sont représentées en moyenne ± écart-type. FC = fréquence cardiaque ; FC_{peak} = fréquence cardiaque maximale ; RPE_{Trail} = échelle de Borg à la fin du Trail1 et du Trail2.

Tableau 6*Différence entre le Trail1 et le Trail2 pour les groupes Novice et Expert*

	Δ		$\% \Delta$	
	Novice	Expert	Novice	Expert
Forme du jour [1-10]	0.4 \pm 0.9	0.1 \pm 1.0	6.8 \pm 12.0	3.6 \pm 17
Temps [min]	- 4.0 \pm 2.0**	- 3.1 \pm 2.3**	- 3.7 \pm 1.9	- 2.9 \pm 2.2
Vitesse [km·h ⁻¹]	0.4 \pm 0.2**	0.3 \pm 0.2**	3.9 \pm 2.1	3.1 \pm 2.1
FC [%FC _{peak}]	- 1.6 \pm 3.7	- 1.6 \pm 2.7		
RPE _{Trail} [6-20]	0.4 \pm 1.7	0.3 \pm 1.0	2.9 \pm 10.3	2.2 \pm 6.4

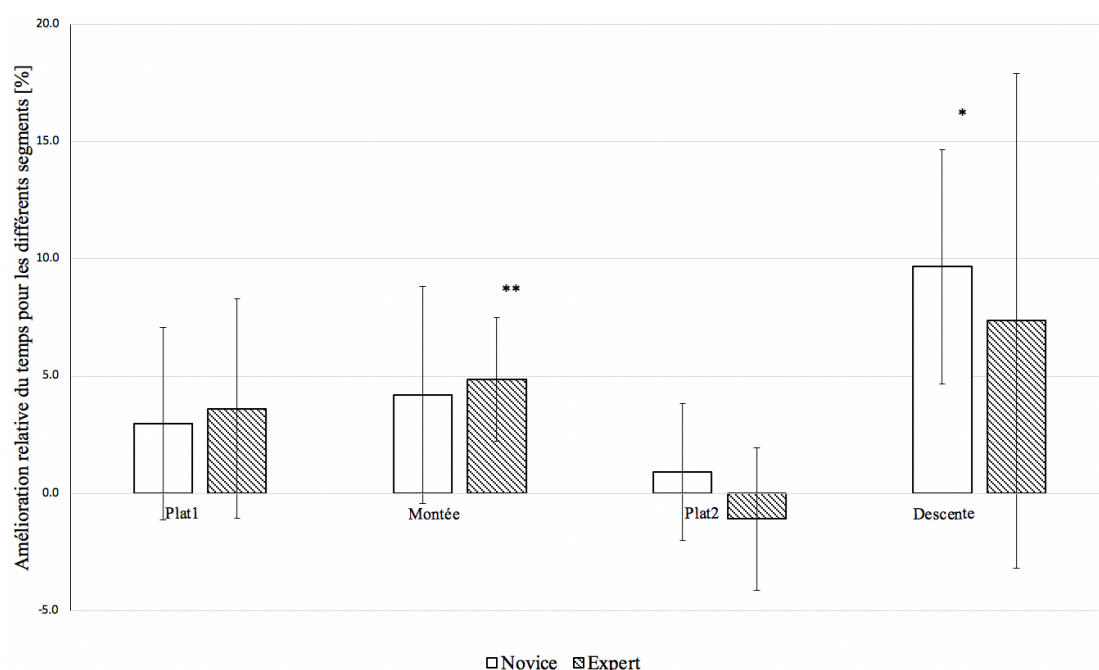
Note. Les valeurs sont représentées en moyenne \pm écart-type. Pour chaque paramètre, la différence entre le Trail1 et le Trail2 est quantifiée en valeur absolue (Δ) et relative ($\% \Delta$) pour les groupes Novice et Expert. FC = fréquence cardiaque ; FC_{peak} = fréquence cardiaque maximale ; RPE_{Trail} = échelle de Borg à la fin du Trail1 et du Trail2. **Différence significative entre le Trail1 et le Trail2 ($p < 0.01$).

Concernant les résultats de la répartition dans les différentes zones d'intensité, aucune modification de la répartition des zones d'intensité n'a été constatée pour le groupe Novice entre le Trail1 et le Trail2. Le groupe Expert a significativement diminué son temps dans la Zone 1 ($p = 0.020$). En revanche, aucune modification de la répartition des Zones 2 et 3 n'a été constatée entre le Trail1 et le Trail2 ($p > 0.05$). Il n'y a pas de différence de répartition des zones entre les deux groupes ($p > 0.05$).

La Figure 13 représente l'amélioration en % entre le temps du Trail1 et du Trail2 pour les différents segments. Aucune différence significative entre le groupe Expert et le groupe Novice n'a été constatée ($p > 0.05$). Une diminution significative du temps dans le segment Montée pour le groupe Expert ($p = 0.002$) et une diminution significative du temps dans le segment Descente pour le groupe Novice ($p = 0.012$) ont toutefois été observées entre le Trail1 et le Trail2.

Figure 13

Amélioration relative du temps des différents segments pour les groupes Novice et Expert



Note. Différence significative entre le Trail1 et le Trail2 (* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$).

Concernant le %FC_{peak} lors des différents segments du parcours, aucune modification n'a été constatée pour le groupe Novice entre le Trail1 et le Trail2. Le groupe Expert a augmenté significativement son %FC_{peak} dans le segment Descente ($p = 0.042$) entre le Trail1 et le Trail2. Aucune différence significative entre le groupe Novice et le groupe Expert n'a été observée ($p > 0.05$). Enfin, concernant l'échelle de Borg, aucune différence significative n'a été observée entre le groupe Novice et le groupe Expert pour les différents segments ($p > 0.05$).

4 Discussion

La présente étude visait à analyser l'effet de la répétition d'un parcours de trail sur la performance. Les réponses physiologiques et tactiques ainsi que l'influence du niveau d'expertise des sujets constituaient les principaux aspects de l'étude. Une amélioration brute de la performance a pu être observée lors de la répétition du parcours de trail, ce qui confirme notre hypothèse principale. Conformément à notre hypothèse, cette amélioration serait due à une meilleure gestion tactique de la course. En effet, le temps de course dans le segment Descente a diminué significativement et une corrélation entre le temps gagné dans ce segment et sur l'ensemble du parcours a été observée. Le temps de course a également diminué de manière significative dans les segments Plat1 et Montée lors du Trail2, mais le gain de temps dans ces deux segments n'était pas corrélé avec l'amélioration du temps de course. Comme attendu, la FC était similaire entre le Trail1 et le Trail2. Concernant la deuxième hypothèse selon laquelle l'amélioration de la performance chez le groupe Novice serait plus grande que pour le groupe Expert lors du deuxième parcours, aucune différence significative (forme du jour, temps, vitesse, FC, %FC_{peak}, RPE, Δ forme du jour, Δ temps, Δ vitesse, Δ FC, Δ %FC_{peak}, Δ RPE) n'a été observée entre les groupes Novice et Expert contrairement à ce qui était attendu. Cette étude a donc mis en évidence que la répétition d'un même parcours en trail et particulièrement la reconnaissance physique des segments techniques, peu importe le niveau d'expertise, peut être bénéfique pour la performance.

4.1 Effet de la répétition d'un parcours de trail

Les treize sujets de l'étude ont effectué une première fois le parcours (Trail1) puis, une semaine plus tard, ont effectué ce même parcours une deuxième fois (Trail2). Les consignes de repos afin de permettre une récupération complète entre les deux interventions semblent avoir été bien respectées, car la forme du jour ainsi que la condition physique et mentale des participants étaient similaires lors des deux courses, selon les réponses obtenues au questionnaire final. Les conditions météorologiques ont été qualifiées de meilleures par les participants lors du Trail2. Comme attendu pour ce genre d'effort, le ressenti des participants était qualifié de difficile sur l'échelle de Borg et le %FC_{peak} se situait autour de 90 %, ce qui confirme l'intensité élevée de l'effort produit lors des deux courses. Le but principal de cette étude était d'observer si le fait de répéter un parcours de trail une semaine après un premier essai permettait une amélioration brute de la performance lors de la deuxième tentative. En effet, le trail est une discipline où chaque parcours est différent par son terrain ou son profil. Il est donc supposé que le fait de

connaître physiquement un parcours permettrait d'adapter sa stratégie aux spécificités de celui-ci et particulièrement dans les portions les plus techniques. C'est par exemple le cas en escalade qui est une discipline ayant des similitudes avec le trail, notamment par le caractère unique de chaque voie, où il faut adapter sa stratégie et planifier les passages clés. Dans cette discipline, Espana-Romero et al. (2012) ont montré une amélioration du temps d'ascension lors de la répétition à 10 reprises d'une même voie et Draper et al. (2008) ont observé une diminution du temps d'ascension lors d'un 2^{ème} essai. Une des raisons évoquées dans l'étude de Draper et al. (2008) pour justifier ce gain de temps est le temps ajouté à la planification lors de la 1^{ère} ascension, c'est-à-dire aux arrêts dans l'ascension afin de choisir la bonne technique à effectuer dans le mouvement suivant. Il était donc intéressant de vérifier si ces résultats obtenus en escalade pouvaient être transférés en trail. Notre hypothèse a été confirmée avec une amélioration du temps de course lors de la répétition du parcours pour douze sujets sur treize. L'amélioration moyenne des sujets était de 3.4 min (3.2 %). En effet, les participants ont en moyenne réalisé ce parcours de 18.1 km et 781 m de dénivelé positif et négatif en 104.8 min la première fois, et en 101.4 min lors de la répétition. Ce résultat tend à confirmer les propos d'anciens cyclistes qui vantaient les bienfaits de connaître parfaitement le parcours afin d'être le plus performant possible le jour de la course (Lorblanchet et al., 2020). L'amélioration de la performance après une ou plusieurs répétitions ne semble donc pas être un fait surprenant dans le monde sportif. Cependant, les causes d'une amélioration de la performance lors de répétitions peuvent être diverses et dépendent de la discipline sportive. Dans le cas de l'escalade, Draper et al. (2008) montrent par exemple une baisse de l'anxiété somatique et cognitive lors de la deuxième répétition d'une ascension. De plus, Espana-Romero et al. (2012) montrent une baisse de la dépense énergétique ainsi qu'une baisse de la charge interne objective caractérisée par une baisse de la lactatémie dès la 6^{ème} répétition. Cette baisse de la dépense énergétique serait due à une adaptation neuromusculaire en lien avec un risque de chute diminué et une baisse de la fatigue lors de la répétition d'une voie d'escalade. Dans notre étude, conformément à notre hypothèse, l'amélioration serait due à une amélioration de la tactique de course. En effet, en regardant les performances dans les différents segments du parcours (Plat1, Montée, Plat2 et Descente), on remarque que les segments améliorés par la répétition du parcours sont les segments Plat1, Montée et Descente (Figure 10). Le temps net dans ces trois segments s'est amélioré de façon similaire. En effet, aucune différence en ce qui concerne l'amélioration du temps dans ces trois segments n'a été constatée. Le segment Descente étant le segment avec la durée la plus courte, on peut en déduire que c'est le segment qui a subi la plus grande amélioration relative. De même, aucune corrélation n'a été trouvée entre l'amélioration du temps total et l'amélioration

du segment Plat1 ou du segment Montée, alors qu'une corrélation entre le gain de temps total et le gain de temps dans le segment Descente a été observée. L'amélioration de la performance dans la portion descendante semble donc jouer un rôle majeur dans l'amélioration du temps total de course.

Cette différence de temps passé dans le segment Descente traduit une stratégie de *pacing* différente entre le Trail1 et le Trail2. *The global model of pacing process* montre que la stratégie de *pacing* choisie est influencée par de nombreux facteurs, notamment l'état émotionnel du coureur et son *feeling* (Baron et al., 2018). Selon d'autres auteurs, le *pacing* est également au centre d'un mécanisme visant à protéger l'intégrité physique de l'athlète (Noakes & Gibson, 2004). Ces paramètres pourraient avoir influencé la stratégie de *pacing* lors du Trail2. Premièrement, le segment Descente présentant une contrainte émotionnelle plus grande en raison de sa difficulté technique, la stratégie de *pacing* adaptée à cette situation correspondrait à ralentir l'allure de course pour prévenir une chute éventuelle. Cependant, lors de la répétition d'un parcours, le coureur connaît mieux le parcours et anticipe les difficultés de manière plus efficace. Le fait de connaître le parcours permettrait donc de pouvoir augmenter l'allure de course spécifiquement dans certaines portions du parcours. Dans le cas de la présente étude, c'est dans la portion descendante que les participants ont pu particulièrement augmenter leur allure de course par rapport à leur première tentative. Le gain de temps dans cette portion technique pourrait être dû à une diminution des hésitations. En effet, lorsque le terrain est technique, les coureurs peuvent se montrer hésitants à passer certains obstacles. Un parallèle peut être fait avec l'étude de Draper et al. (2008) qui avait observé un gain de temps en partie dû à une baisse du temps de réflexion lors de la répétition d'une même voie d'escalade. Cette supposition est appuyée par le fait que le degré de satisfaction concernant la gestion de l'effort dans le segment Descente à la fin du Trail2 était significativement supérieur à celui ressenti lors du Trail1. Cette amélioration significative du temps dans le segment Descente explique donc en partie l'amélioration du temps sur l'ensemble du parcours.

Une autre hypothèse de notre travail supposait que la FC, dû à une vitesse de course plus élevée et donc à une intensité d'effort plus grande, devait être similaire ou augmenter lors de la répétition. Pour l'ensemble du parcours, aucune différence significative concernant la FC n'a été observée (Tableau 4). Ce résultat confirme ceux de l'étude de Draper et al. (2008) qui n'avait constaté aucune modification de la FC lors du 2^{ème} essai de la voie malgré une meilleure per-

formance. Cependant, le segment Descente est le seul segment où une augmentation significative de la FC a été constatée. A priori, le segment Descente est le segment où la plus grande augmentation de l'intensité a été observée. En effet, la diminution relative du temps dans le segment Descente était plus grande que pour les segments Plat1 et Montée où la vitesse de course a également été augmentée lors de la répétition. Toutefois, aucune corrélation n'a été observé entre la différence de temps dans ce segment et la différence du %FCpeak, ce qui nuance cette constatation. Ces observations pour le segment Descente et pour l'ensemble du parcours témoignent de la relation entre l'augmentation de l'allure de course et la FC comme le stipulait notre hypothèse. La Figure 9 montre la répartition dans les différentes zones d'intensité pour l'ensemble du parcours : la répartition du temps est d'environ 15 % dans la Zone 1, de 65 % dans la Zone 2 et de 20 % dans la Zone 3 pour les deux parcours. L'impact de la répétition sur le temps passé dans chaque zone n'a rien révélé de significatif, mais une tendance se dessine avec moins de temps passé en Zone 1 lors du Trail2 (17 vs 10 % du temps total, respectivement). En comparaison, dans l'étude de Rodríguez-Marroyo et al. (2018) qui analyse des courses de 10 à 25 km, la répartition des zones d'intensité est distribuée de manière sensiblement différente. La Zone 1 représente également environ 15 % du temps de course, mais la principale différence se situe dans la répartition des Zones 2 et 3, qui correspondent environ à 40 % du temps chacune contre 65 % dans la Zone 2 et 20 % dans la Zone 3 pour notre étude. Considérant que le type de terrain a de l'influence sur la dépense énergétique et le travail musculaire, cette différence de répartition pourrait s'expliquer par la topologie et la nature du terrain. Le caractère unique de chaque parcours de trail pourrait donc influencer la répartition des zones d'intensité. Dans notre étude, la tendance montre que le temps passé dans la Zone 1 diminue avec la répétition du parcours. Un participant a écrit dans le questionnaire : « En connaissant le parcours, j'avais une sorte de plan et je m'étais mis quelques objectifs durant la course et cela me permettait de me donner à certains endroits ». Le terme « se donner » signifie ici produire une intensité d'effort accrue, ce qui pourrait expliquer la diminution du temps en Zone 1. Il est également intéressant de relever le terme « à certains endroits », qui, au vu des résultats, concernerait principalement la partie descendante.

En résumé, notre étude a montré que la répétition de ce parcours trail a permis une amélioration de la performance brute. Cette diminution du temps total serait principalement due au segment Descente dans lequel les participants ont particulièrement amélioré leur performance.

4.2 Influence de l'expérience sur la répétition d'un parcours de trail

La deuxième hypothèse supposait que l'effet de la répétition d'un parcours de trail sur la performance et les réponses physiologiques et tactiques associées seraient différenciées selon le niveau d'expertise des coureurs. En effet, Knechtle et al. (2014) ont montré de meilleurs résultats en ultra trail pour des athlètes ayant effectué un nombre plus important de courses au préalable, alors que l'étude de Sanchez et al. (2012) avait également observé de meilleurs résultats en escalade pour des grimpeurs plus expérimentés, dus à une analyse plus minutieuse des voies. Une semaine avant la course, les participants ont reçu des informations telles que le profil détaillé du parcours et l'endroit précis du poste de ravitaillement afin de permettre une analyse d'avant course la plus semblable à celle rencontrée en compétition. On s'attendait donc à ce que des coureurs possédant plus d'expérience en trail analyseraient les données du parcours plus précisément et appliqueraient une tactique de course mieux adaptée au parcours. Les coureurs possédant plus d'expérience (Expert) feraient donc des performances supérieures lors de la première course par rapport aux coureurs possédant moins d'expérience (Novice). Notre hypothèse n'a pas été confirmée. En effet, dans ce travail, aucune différence significative n'a été constatée entre les groupes Novice et Expert concernant les résultats (temps total, FC ou moyenne des résultats de l'échelle de Borg pour l'ensemble du parcours) du Trail1 et du Trail2. Ces résultats ne permettent pas d'appuyer l'hypothèse selon laquelle l'effet de la répétition serait différent entre les deux groupes. L'étude de Knechtle et al. (2014) s'intéressait à des courses d'environ 160 km et d'une durée de plusieurs heures, voire plus d'un jour. Dans le cadre de notre étude, la durée de course n'excédait pas deux heures. Cette différence du temps de course pourrait jouer un rôle sur le fait que l'expérience des coureurs n'a pas eu le même impact dans notre étude. L'étude de Sanchez et al. (2012) a quant à elle classé ces groupes intermédiaire et expert en fonction de leur niveau d'escalade. Dans notre étude, la classification se faisait sur la base du nombre de courses de trail réalisées. Si l'on regarde les caractéristiques anthropométriques et physiques des sujets, il n'y a pas de différence significative entre les deux groupes. Le niveau d'aptitude physique aérobie était donc similaire pour les deux groupes. Le fait d'avoir un niveau similaire pourrait expliquer que notre étude n'a pas démontré les mêmes résultats que celle de Sanchez et al. (2012). Une des hypothèses présumait qu'avec les informations assimilées et les erreurs commises lors du premier parcours, les coureurs du groupe Novice posséderaient une plus grande marge de progression lors de la répétition du parcours. En observant la Figure 13 qui montre l'amélioration relative du temps des différents segments pour les groupes Novice et Expert, on remarque que les deux groupes se sont améliorés de manière similaire entre le Trail1 et le Trail2. Toutefois, le groupe Novice semble avoir plus profité de la répétition

lors du segment Descente, alors que le groupe Expert semble en avoir plus profité lors du segment Montée. Une explication possible à ce phénomène serait que les coureurs possédant moins d'expérience ont davantage réduit leur appréhension face aux passages techniques du segment Descente lors du Trail2.

En résumé, aucune différence n'est observée entre les coureurs moins expérimentés et les coureurs expérimentés. Il est toutefois intéressant de constater que les deux groupes ont amélioré leur performance brute entre le Trail1 et le Trail2, démontrant que le fait de répéter physiquement un parcours est bénéfique quel que soit son niveau d'expertise.

4.3 Limitations et perspective de l'étude

Certaines limitations doivent toutefois être mentionnées. Lors d'une étude sur le trail, la difficulté principale porte sur la standardisation des mesures. Les conditions météorologiques ont un rôle important dans la standardisation des données et lors d'une répétition en extérieur, il est difficile de retrouver des conditions parfaitement similaires. Cependant, bien que les conditions externes étaient considérées par les participants comme meilleures lors du Trail2, elles n'étaient pas drastiquement différentes. Une autre limitation est liée au nombre restreint et inégal de sujets pour les groupes Novice ($n = 5$) et Expert ($n = 8$). De plus, afin de caractériser le niveau d'expertise en trail, seul le nombre de courses de trail effectué lors des 3 dernières années était pris en considération. Le nombre d'entraînements spécifiques au trail aurait pu être pris en compte dans l'évaluation de l'expérience des sujets, car, dû au Covid-19, le nombre de courses lors de l'année précédente était restreint. Finalement, avec un maximum de 6 courses effectuées pour le groupe Novice et de 7 minimum pour le groupe Expert, le niveau d'expérience était très proche entre les deux groupes, ce qui a également pu influencer les résultats.

En contrepartie, cette étude permet de compléter la littérature limitée dans cette discipline en plein développement. Elle peut ainsi amener des pistes intéressantes et concrètes pour toutes les personnes cherchant à améliorer leurs performances lors de courses de trail. Une perspective intéressante dans la continuité de la présente étude serait de s'intéresser aux différentes méthodes qui pourraient substituer un repérage physique. Par exemple, on pourrait imaginer un repérage avec un drone et observer s'il existe une différence de performance entre un repérage physique ou virtuel.

5 Conclusion

En conclusion, cette étude a démontré l'importance que peut représenter la répétition d'un parcours de course de trail sur la performance. En effet, les participants ont significativement amélioré leur temps lors de la répétition de ce parcours de 18.1 km et 781 m de dénivelé positif et négatif. La partie descendante du parcours a été déterminante dans ce gain de temps. C'est dans cette partie technique que l'allure de course a particulièrement été améliorée lors de la répétition. La FC semble ne pas être influencée par la répétition sur l'ensemble du parcours malgré l'amélioration de la performance. Le niveau d'expertise ne semble pas influencer la performance, ni les effets d'une répétition. Toutefois, la répétition du parcours est profitable pour tous les coureurs indépendamment de leur niveau d'expertise. Les résultats de cette étude mettent en avant l'importance du repérage physique de certains passages de leur course de trail afin d'optimiser leur performance. Il n'est pas nécessaire de repérer le parcours dans son ensemble, mais il peut toutefois s'avérer déterminant de reconnaître les passages le plus techniques.

Bibliographie

- Abbiss, C. R., & Laursen, P. B. (2008). Describing and understanding pacing strategies during athletic competition. *Sports Medicine*, 38(3), 239-252.
<https://doi.org/10.2165/00007256-200838030-00004>
- Abe, D., Fukuoka, Y., Muraki, S., Yasukouchi, A., Sakaguchi, Y., & Niihata, S. (2011). Effects of load and gradient on energy cost of running. *Journal of physiological anthropology*, 30(4), 153-160. <https://doi.org/10.2114/jpa2.30.153>
- Achten, J., & Jeukendrup, A. E. (2003). Heart rate monitoring. *Sports Medicine*, 33(7), 517-538. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333070-00004>
- Alvero-Cruz, J. R., Parent Mathias, V., Garcia Romero, J., Carrillo de Albornoz-Gil, M., Benítez-Porres, J., Ordoñez, F. J., Rosemann, T., Nikolaidis, P. T., & Knechtle, B. (2019). Prediction of Performance in a Short Trail Running Race: The Role of Body Composition. *Frontiers in Physiology*, 10(1306).
<https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01306>
- Balducci, P. (2017). *La place du coût énergétique dans les facteurs de performance en trail running* [Dissertation, Université Claude Bernard de Lyon].
- Balducci, P., Saboul, D., & Trama, R. (2019). Monitoring heart rates to evaluate pacing on a 75-km MUM. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 59(7), 1133-1137. <https://doi.org/10.23736/s0022-4707.18.08861-8>
- Baron, B., Grappe, F., & Gros Lambert, A. (2018). The Global Model of Pacing Process for Long and Ultra-Long Distance. *Psychology*, 9(14), 2837.
<https://doi.org/10.4236/psych.2018.914163>
- Bassett, D. R., & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(1), 70-84. <https://doi.org/10.1097/00005768-200001000-00012>
- Bazin, s., & Delorme, J.-M. (2015). *Trail Running préparez vos défis*. Amphora.
- Beaver, W. L., Wasserman, K., & Whipp, B. J. (1986). A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *Journal of applied physiology*, 60(6), 2020-2027.
<https://doi.org/10.1152/jappl.1986.60.6.2020>
- Billat, V. (2012). *Physiologie et méthodologie de l'entraînement. De la théorie à la pratique*. De Boeck Université.
- Borg, G. (1998). *Borg's perceived exertion and pain scales*. Human kinetics.

- Borresen, J., & Ian Lambert, M. (2009). The Quantification of Training Load, the Training Response and the Effect on Performance. *Sports Medicine*, 39(9), 779-795.
<https://doi.org/10.2165/11317780-000000000-00000>
- Carrel, R. (2020). *Une étape «brutale» et cruciale sur le Tour de France*.
<https://www.24heures.ch/une-etape-brutale-et-cruciale-926590426254>
- Cazorla, G. (2014). *Evaluation des capacités physiologiques et physiques* [Dissertation, Université de Marrakech].
- Clemente-Suárez, V. J. (2015). Psychophysiological response and energy balance during a 14-h ultraendurance mountain running event. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 40(3), 269-273. <https://doi.org/10.1139/apnm-2014-0263>
- Draper, N., Jones, G. A., Fryer, S., Hodgson, C., & Blackwell, G. (2008). Effect of an on-sight lead on the physiological and psychological responses to rock climbing. *Journal of sports science & medicine*, 7(4), 492.
- Espana-Romero, V., Jensen, R. L., Sanchez, X., Ostrowski, M. L., Szekely, J. E., & Watts, P. B. (2012). Physiological responses in rock climbing with repeated ascents over a 10-week period. *European journal of applied physiology*, 112(3), 821-828.
<https://doi.org/10.1007/s00421-011-2022-0>
- Fässle, T., Feller, H., & Thomas, S. (2016). *Stratégie Compétitions Swiss Athletics*. Swiss Athletics. https://www.swiss-athletics.ch/wp-content/uploads/Strat%C3%A9gie-Comp%C3%A9titions-2017_fr.pdf
- Faude, O., Kindermann, W., & Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts. *Sports Medicine*, 39(6), 469-490. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939060-00003>
- Fornasiero, A., Savoldelli, A., Fruet, D., Boccia, G., Pellegrini, B., & Schena, F. (2018). Physiological intensity profile, exercise load and performance predictors of a 65-km mountain ultra-marathon. *Journal of sports sciences*, 36(11), 1287-1295.
<https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1374707>
- Fretté, L. (2020). *Inscriptions 2020 : 111 nationalités représentées*. UTMB.
https://utmbmontblanc.com/documents/CP/CP01_Inscriptions2020.html#info3
- Grappe, F. (2009). *Cyclisme et optimisation de la performance: science et méthodologie de l'entraînement*. De Boeck Supérieur.
- Hoffman, M. D., & Parise, C. A. (2015). Longitudinal assessment of the effect of age and experience on performance in 161-km ultramarathons. *Int J Sports Physiol Perform*, 10(1), 93-98. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0534>

- International Skyrunning Federation. (2021). *Certified courses*.
<http://www.skyrunning.com/certified-courses/>
- ITRA. (2020). *Découvrir le trail*. <https://itra.run/About/DiscoverTrailRunning>
- Jeukendrup, A., & Diemen, A. V. (1998). Heart rate monitoring during training and competition in cyclists. *Journal of sports sciences*, 16(1), 91-99.
<https://doi.org/10.1080/026404198366722>
- Kilgas, M., Drum, S., & Jensen, R. L. (2015). *Transitioning from road running to trail running* [Conference, Northern Michigan University].
- Knechtle, B., Rosemann, T., Zingg, M. A., Stiefel, M., & Rüst, C. A. (2015). Pacing strategy in male elite and age group 100 km ultra-marathoners. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 6, 71. <https://doi.org/10.2147/OAJSM.S79568>
- Knechtle, B., Valeri, F., Zingg, M. A., Rosemann, T., & Rüst, C. A. (2014). What is the age for the fastest ultra-marathon performance in time-limited races from 6 h to 10 days? *Age*, 36(5), 9715. <https://doi.org/10.1007/s11357-014-9715-3>
- López-García, S., Muriel-Isidro, J., Ruibal-Lista, B., Maneiro, R., Amatria-Jiménez, M., & Moral-García, J. E. (2021). Trail-Running, Skyrunning and Mountain Running: Organizational Structures of Modalities. *Préprints*.
- Lorblanchet, Georges, & Gallo. (2020). *De la Borne plein les oreilles*. Apple Podcast.
<https://podcasts.apple.com/fde-la-borne-plein-les-oreilles/id1546563573>
- Minetti, A., Ardigo, L., & Saibene, F. (1994). The transition between walking and running in humans: metabolic and mechanical aspects at different gradients. *Acta physiologica scandinavica*, 150(3), 315-323. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1994.tb09692.x>
- Noakes, T., & Gibson, A. S. C. (2004). Logical limitations to the “catastrophe” models of fatigue during exercise in humans. *British journal of sports medicine*, 38(5), 648-649.
- Peca, S. (2015). *La folle ascension du trail running*. Le temps.
<https://www.letemps.ch/sport/folle-ascension-trail-running>
- Raberin, A. (2019). *Hypoxémie induite à l'exercice (HIE) et adaptations à l'exercice d'athlètes entraînés en endurance lors de l'acclimatation en altitude modérée: approche globale, systémique et cellulaire* [Discussion, Université de Perpignan].
- Ramos-Campo, D. J., Ávila-Gandía, V., Alacid, F., Soto-Méndez, F., Alcaraz, P. E., López-Román, F. J., & Rubio-Arias, J. Á. (2016). Muscle damage, physiological changes, and energy balance in ultra-endurance mountain-event athletes. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 41(8), 872-878. <https://doi.org/10.1139/apnm-2016-0093>

- Rochat, N. (2017). *Analyse éactive de l'activité en trail et ultra-trail: une approche multi-sourcing* [Discussion, Université de Lausanne]. Serveur académique lausannois. <https://serval.unil.ch/>
- Rodríguez-Marroyo, J. A., García-López, J., Juneau, C.-É., & Villa, J. G. (2009). Workload demands in professional multi-stage cycling races of varying duration. *British journal of sports medicine*, 43(3), 180-185. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2007.043125>
- Rodríguez-Marroyo, J. A., González-Lázaro, J., Arribas-Cubero, H. F., & Villa, J. G. (2018). Physiological demands of mountain running races. *Kinesiology*, 50(1), 60-66.
- Salomon. (2020). *A Propos*. <https://www.goldentrailseries.com/fr/about/>
- Sanchez, X., Lambert, P., Jones, G., & Llewellyn, D. (2012). Efficacy of pre-ascent climbing route visual inspection in indoor sport climbing. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 22(1), 67-72. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01151.x>
- Saupe, D., Artiga Gonzalez, A., Burger, R., & Abbiss, C. (2019). Empirical analysis of pacing in road cycling. *Proceedings of the 2nd International Workshop on Multimedia Content Analysis in Sport*, 74-81. <https://doi.org/10.1145/3347318.3355522>
- Seiler, K. S., & Kjerland, G. Ø. (2006). Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an “optimal” distribution? *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 16(1), 49-56. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2004.00418.x>
- Seiler, S., & Tønnessen, E. (2009). Intervals, thresholds, and long slow distance: the role of intensity and duration in endurance training. *Sportscience*, 13.
- Suter, D., Sousa, C. V., Hill, L., Scheer, V., Nikolaidis, P. T., & Knechtle, B. (2020). Even Pacing Is Associated with Faster Finishing Times in Ultramarathon Distance Trail Running—The “Ultra-Trail du Mont Blanc” 2008–2019. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(19), 7074. <https://doi.org/10.3390/ijerph17197074>
- SwissRunning. (2020). *Manifestation*. <https://guide.swiss-running.ch>
- Troyon-Guédat, D. (2013). *Course à pied et consommation: le cas des coureurs genevois* [Mémoire, Université de Lausanne]. Serveur académique lausannois. <https://serval.unil.ch/>
- Vallier, J., Bigard, A., Carré, F., Eclache, J., & Mercier, J. (2000). Détermination des seuils lactiques et ventilatoires. Position de la Société française de médecine du sport. *Science & Sports*, 15(3), 133-140. [https://doi.org/10.1016/S0765-1597\(00\)80017-9](https://doi.org/10.1016/S0765-1597(00)80017-9)

- Vernillo, G., Savoldelli, A., Zignoli, A., Trabucchi, P., Pellegrini, B., Millet, G. P., & Schena, F. (2014). Influence of the world's most challenging mountain ultra-marathon on energy cost and running mechanics. *European journal of applied physiology*, 114(5), 929-939. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-2824-y>
- Voloshina, A. S., & Ferris, D. P. (2015). Biomechanics and energetics of running on uneven terrain. *The journal of experimental biology*, 218(5), 711-719. <https://doi.org/10.1242/jeb.106518>
- Wasserman, K., Whipp, B. J., Koyl, S., & Beaver, W. (1973). Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *Journal of applied physiology*, 35(2), 236-243. <https://doi.org/10.1152/jappl.1973.35.2.236>
- Wilmore, J. H., Costill, D. L., & Kenney, L. (2017). *Physiologie du sport et de l'exercice*. De Boeck Supérieur.

Annexes

- A) Évaluation d'intégration à l'étude
- B) Formulaire de consentement
- C) Protocole du test d'effort maximal
- D) Formulaire d'information Trail1 et Trail2
- E) Questionnaire final

A) Évaluation d'intégration à l'étude

Évaluation d'intégration à l'étude

Nom, prénom :

Sexe :

Âges :

Sport(s) pratiqué (s) :

Trail

Quel est selon vous votre niveau d'expériences dans ce sport ?

Novice

Intermédiaire

Expert

Remarque :

Nombre de participations à une course trail lors des 3 dernières années :

<2

<4

<6

<8

>10

Tableau des 3 dernières courses

Nom de la course	Distance	Résultat (min)	Remarque

Brève description de votre pratique du trail (entraînement, expérience, course) ?

Êtes-vous disponible aux dates proposées et non blessé ?

Oui

Non

Date et signature :

B) Formulaire de consentement

Formulaire de consentement :

- Veuillez lire attentivement ce formulaire.
- N'hésitez pas à poser des questions si certains aspects vous semblent peu clairs ou si vous souhaitez obtenir des précisions.

Titre de l'étude :	Effet de la répétition d'un parcours de trail sur la performance et les réponses physiologiques et tactiques associées : influence du niveau d'expertise des coureurs
Promoteurs :	Sciences du Mouvement et du Sport Université de Fribourg, Boulevard de Pérolles 90, 1700 Fribourg
Investigateurs Nom et prénom :	Jean-luc Choffat Dr.Chenevière Xavier Rouvenaz Alain
Participant Nom et prénom : Date de naissance :	

- Je déclare avoir été informé, oralement et par écrit, par l'investigateur des objectifs et du déroulement de l'étude, des effets présumés, des avantages et des inconvénients possibles ainsi que des risques éventuels.
- Je certifie avoir lu et compris **l'information écrite aux participants** qui m'a été remise sur l'étude précitée. J'ai reçu des réponses satisfaisantes aux questions que j'ai posées en relation avec ma participation à cette étude. Je conserve l'information écrite aux participants et reçois une copie de ma déclaration écrite de consentement.
- J'ai eu suffisamment de temps pour prendre ma décision.
- Je sais que mes données personnelles ne seront transmises que sous une forme anonyme à des fins de recherche.

- Je prends part de façon volontaire à cette étude. Je peux, à tout moment et sans avoir à fournir de justification, révoquer mon consentement à participer à cette étude.
- Je suis conscient du fait que les exigences et les restrictions mentionnées dans l'information aux participants devront être respectées pendant la durée de l'étude. L'investigateur peut m'exclure à tout moment de l'étude dans l'intérêt de ma santé.
- La participation se fait à ses propres risques et sous sa propre responsabilité. L'organisateur décline toute responsabilité.

Lieu, date	Signature du participant
------------	--------------------------

Attestation de l'investigateur : J'atteste par ma signature avoir expliqué au participant la nature, l'importance et la portée de l'étude. Je déclare satisfaire à toutes les obligations en relation avec cette étude. Si je devais prendre connaissance, à quelque moment que ce soit durant la réalisation de l'étude, d'informations susceptibles d'influer sur le consentement du participant à participer à l'étude, je m'engage à l'en informer immédiatement.

Lieu, date	Signature de l'investigateur
------------	------------------------------

C) Protocole du test d'effort maximal

Effet de la répétition d'un parcours de trail sur la performance et les réponses physiologiques et tactiques
Associées : influence du niveau d'expertise des coureurs

Code :

Date :

- Description parcours
- Rappel du règlement
- Appareil de mesure installé

Départ

ID montre :

Forme du jour [1-10] :

Heure de départ :

Arrivée

Heure d'arrivée :

Échelle de Borg [6-20] :

Temps réalisé :

Remarques :

D) Formulaire d'information Trail1 et Trail2

L'enjambée du Doubs

Trail dans le cadre de mon travail de master



Le 11 et 25 avril 2021, à Soubey

Introduction

Comme vous le savez, ce trail a pour objectif de fournir des données pour réaliser mon travail de master et je compte sur vous pour jouer le jeu et vous donner à fond ! Mais surtout, j'espère que vous aurez beaucoup de plaisir et je vous souhaite un bon moment.

Lieu de rendez-vous

Maison des œuvres, Au Village 32A, 2887 Soubey

Liste de départ

L'heure indiquée est l'heure de départ, merci de venir au minimum 20 minutes avant afin de pouvoir s'échauffer et se préparer, ne pas oublier que je dois aussi vous équiper d'une montre et d'une ceinture cardiaque.

Transport/hébergement

Si vous avez besoin d'aide, je suis à disposition

Sur place

Possibilité de se changer dans une salle
(normalement, il n'y aura pas de douche)

Possibilité de manger des pâtes après la course

Matériel à prendre

Comme pour une course de trail (pas de matériel obligatoire), bâtons interdits



Ravitaillement

Il y aura un ravitaillement avec des bananes, chocolat, boisson etc...

Respecter les règles

Je vous prie de respecter les règles de circulation, de respecter l'environnement et de s'adapter s'il y a par exemple une barrière qui est fermée. Il faudra également se mettre sur le côté afin de laisser passer les coureurs plus rapides.

Covid 19

Règle de l'OFSP (Désinfectant, masque, distance)

De plus, le masque sera obligatoire dans la zone d'arrivée, concernant le repas, je vous prie de garder les distances ou de manger avec les personnes avec qui vous êtes venus afin de ne pas trop se mélanger.

Responsabilité

La participation se fait à ses propres risques et sous sa propre responsabilité. Je décline toute responsabilité en cas d'accident ou de vol. Vous devez être en possession d'une assurance-accidents individuelle couvrant d'éventuels frais de recherche et d'évacuation. Je ne prends pas en charge les frais de sauvetage et d'évacuation pour raison médicale

Vos résultats

Envoyés seulement à la fin de la 2^{ème} répétition du parcours, un petit cadeau aussi

En cas d'urgence

079 906 98 92

Parcours

Un parcours qui commence par une petite montée de mise en jambe pour ensuite longer le Doubs. Arrivé au Moulins Jeannottat, les choses sérieuses débutent avec une montée jusqu'au plateau des Franches-Montagnes. Sur le plateau, le parcours passera à côté d'un petit étang et au milieu de majestueux sapin. Reste la descente jusqu'à la ligne d'arrivée. Le type de sentier est varié sentiers, chemin blanc, asphalte...

Lien pour SwissMobile

<https://map.schweizmobil.ch/?lang=fr&land=wanderland&route=all&layers=Wanderland&photos=yes&bgLayer=pk&logo=yes&season=summer&resolution=7.66&E=2568008&N=1237584&trackId=1846444055>

Carte



Profil



E) Questionnaire final

Effet de la répétition d'un parcours de trail sur la performance et les réponses physiologiques et tactiques associées : influence du niveau d'expertise des coureurs

Questionnaire


Nom, Prénom :

Date :

Pour chaque question, si la réponse est très différente de « similaire », veuillez expliquer brièvement pourquoi.

Selon vous, est-ce que les **conditions externes** (météo, températures, état du parcours, etc.) durant la course étaient similaires/meilleures/moins bonnes à celles rencontrées lors de la 1^{ère} course ?


Moins bonnes Similaires Meilleures



Remarques :

Selon vous, est-ce que votre **état physique** avant la course était similaire/meilleur/moins bon à celui ressenti avant la 1^{ère} course ?

Moins bon Similaire Meilleur



Remarques :

Selon vous, est-ce que votre état physique durant la course était similaire/meilleur/moins bon à celui ressenti lors de la 1^{ère} course ?

Remarques :

Selon vous, est-ce que votre **état psychique** (motivation) avant la course était similaire/meilleur/moins bon à celui ressenti avant la 1^{ère} course ?

Remarques :

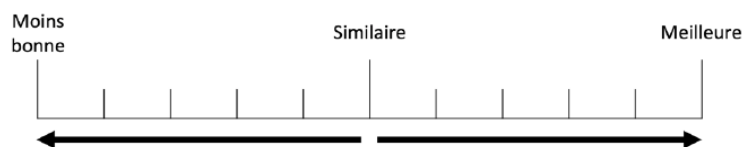
Selon vous, est-ce que votre **état psychique** (motivation) durant la course était similaire/meilleur/moins bon à celui ressenti lors de la 1^{ère} course ?

Moins bon Similaire Meilleur

Remarques :

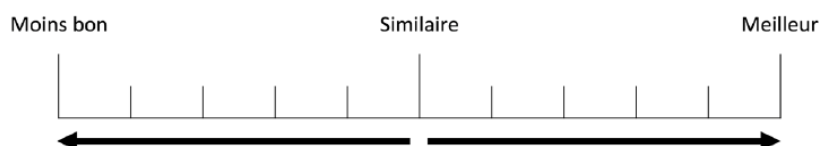
Effet de la répétition d'un parcours de trail sur la performance et les réponses physiologiques et tactiques
associées : influence du niveau d'expertise des coureurs

Selon vous, est-ce que votre **confiance en vous** avant la course était similaire/meilleure/moins bonne à celui ressenti avant la 1^{ère} course ?



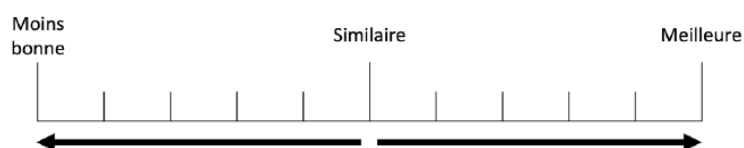
Remarques :

Selon vous, est-ce que votre degré de satisfaction concernant la **gestion de l'effort** (tactique) était similaire/meilleur/moins bon que celui ressenti à la fin de la 1^{ère} course ?



Remarques :

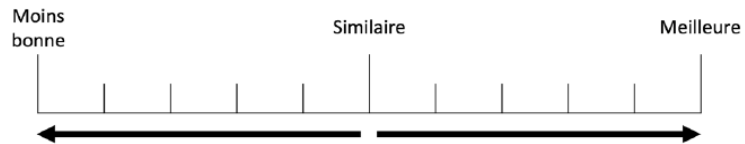
Selon vous, est-ce que votre **performance de course** lors des segments « montée » était similaire/meilleure/moins bonne que celle réalisée lors de la 1^{ère} course ?



Remarques :

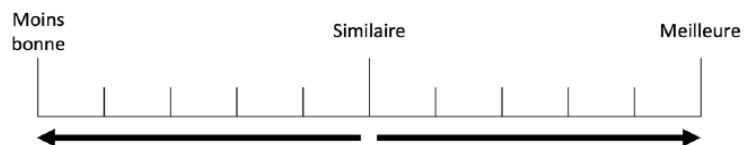
Effet de la répétition d'un parcours de trail sur la performance et les réponses physiologiques et tactiques
associées : influence du niveau d'expertise des coureurs

Selon vous, est-ce que votre **performance de course** lors des segments « descente » était
similaire/meilleure/moins bonne que celle réalisée lors de la 1^{ère} course ?



Remarques :

Selon vous, est-ce que votre **performance de course** lors des segments « à plat » était
similaire/meilleure/moins bonne que celle réalisée lors de la 1^{ère} course ?



Remarques :

Avez-vous quelque chose à ajouter ?