Diplôme d'Université Trail Running

Effet d'un cycle de renforcement musculaire en endurance de force dans la performance en montée

Présenté par Bureau Nils

Sous la direction de Sabine Ehrström

Promotion 2025

Objectif : Lors des 20 dernières années, nous avons pu constater une réelle émancipation de la pratique du Trail Running en France et dans le monde. Cette intérêt grandissant c'est accompagné d'une volonté, de la part des sportifs amateurs et confirmé, de trouver des moyens pour optimiser leurs performances sur le plan de l'équipement, de la nutrition et surtout de l'entrainement. Pour cela, beaucoup s'appuie encore sur des études portant sur l'entrainement en course à pied mais il existe encore trop peu de papiers étudiant spécifiquement le cas de la pratique Trail au sujet de l'entrainement. Notre objectif était donc d'étudier l'impact de l'entrainement en endurance de force de manière dissociée sur les performances en côtes d'athlètes de Trail Running.

Méthode : 8 coureurs spécialisés en Trail Running ont été recrutés pour participer au protocole d'entrainement. Celui-ci comprenait une période de test avant et après intervention. Le sujet devait réalisé une séance de renforcement musculaire en endurance de force sur les membres inférieurs par semaine en addition de son entrainement classique, durant 7 semaines. Le testing consistait à parcourir le maximum de distance en côte durant 5 minutes avant le début du protocole. A la fin des 7 semaines, la même séance était réalisé durant laquelle le sujet devait réalisé la distance parcouru en pré-intervention le plus rapidement possible.

Résultats : Les résultats indiquent une différence significative des résultats après la période d'intervention ($t(7) = 5.35$, $p = 0.0011$), avec une diminution moyenne de 36.5 secondes (IC95% [20.4 ; 52.6]), soit une diminution relative de 12,3% du temps pour réaliser la même distance. La taille de l'effet, calculée à l'aide du d de Cohen, est de 2.35 (IC95% [0.52 ; 4.19]), traduit un effet très important de l'intervention sur la variable temps mesurée.

Conclusion : L'entraînement en endurance de force constitue une stratégie efficace pour améliorer la performance en montée chez les traileurs, notamment lorsque l'entraînement spécifique est limité.

Université Grenoble Alpes

Table des matières

1 Introduction 1

2 Analyse de la littérature 2

2.1 Trail et déterminant de la performance 2

2.1.1 Définition du trail running 2

2.1.2 Déterminants de la performance 2

2.2 Renforcement Musculaire en Trail Running 8

2.2.1 L'entrainement en endurance de force 8

2.2.2 Entrainement en Force (Strength Training) dans le trail 9

2.3 Problématique 10

3 Méthodologie 12

3.1 Participants 12

3.2 Description du protocole 12

3.2.1 Mesures 12

3.2.2 Analyses 12

4 Résultats 14

5 Discussion 15

5.1 Confrontation des résultats avec la littérature 15

5.2 Limites et perspectives 16

SOMMAIRE

6 Conclusion 18

7 Bibliographie 19

8 Annexes 22

1 Introduction

La pratique du Trail Running connait une vraie expansion depuis ces 20 dernières années. Les problématiques d'hygiène de vie, de reconnaissance sociale ou encore de bien-être mental, ont poussé les populations des pays développés vers la pratique du « running » dans les années 70. Ces dernières décennies, le besoin de pratiquer un effort dans un milieu naturel a permis un transfert de ces coureurs vers la pratique du trail. La course à pied est la troisième discipline la plus pratiquée en France derrière la natation et le fitness. On estime entre 9 et 13 millions de runners en France[1](selon la FIFAS). Parmi eux, on compte entre 800 000 et 1 000 000 de pratiquants de trail. Le nombre de compétitions est passé de 300 en 2003 à 3668 épreuves en 2018 (recensés par la FFA), avec certaines d'entre elles pouvant rassembler plus de 10 000 personnes. Columbia estime la progression du marché trail à plus de 10% par an en Europe. Le magazine spécialisé Outdoor Experts estime qu'au moins un million de paires de chaussures de trail est vendu par an en France, soit 12% du marché des chaussures de running.

Ces chiffres montrent l'importance grandissante et la massification de la pratique du Trail en France. Aussi, cette évolution amène une population de plus en plus à la recherche de performance et de résultats sur différents formats de compétition (du trail court à l'ultratrail). Une étude a montré que 39% des pratiquants de trail s'entrainaient dans une logique prioritaire de performance[2]. Au-delà de la simple recherche du bien-être physique et moral ainsi que de la reconnexion à la nature, ces chiffres montrent donc une orientation du Trail vers une pratique compétitive marquée également par des enjeux économiques grandissant (apparition de « Team », sportifs professionnels et sponsorisés, prize money sur les courses…).

Dans cette logique de performance, les coureurs sont de plus en plus à la recherche d'optimisation de leurs qualités physiques et de leur entrainement pour améliorer leurs chronos et leurs classements en compétition. Plusieurs techniques sont donc mises en place, dans un double but d'optimisation des performances et de prévention des blessures (pour éviter d'impacter négativement l'entrainement et leurs évolutions). On retrouve, par exemple, le coaching pour gérer la charge et la planification de l'entrainement, les sports croisés qui permettent d'augmenter la charge d'entraînement en atténuant les traumatismes liés aux impacts au sol (qui décuplent le poids du corps notamment sur les articulations) et donc de diminuer le risque de blessure[3]. Egalement, l'entrainement structuré a amené le coureur vers la pratique du renforcement musculaire pour améliorer sa condition physique, sa musculature et développer plus de puissance lors de la course. La musculation comme stratégie pour être plus rapide et plus économe est utilisée pour 46% d'une population de 125 traileurs[4]. La question que l'on peut se poser est donc si cet entrainement est vraiment un atout chez le coureur de trail running pour améliorer ses performances, mais surtout dans quelles conditions et dans quel but. Quel type de musculation est le plus pertinent ? A-t-il un impact général sur la performance ? Où est-il localisé à un moment donné de la course ?

En effet, même si on sait que la différence de résultat se joue plutôt en descente[5], il est important de pouvoir maintenir une bonne intensité et une certaine économie dans les montées pour optimiser ses ressources pour la suite d'une course de trail (logique de renforcement des points forts). Nous nous sommes donc demandés si la musculation pouvait nous aider à atteindre ces objectifs.

Nous allons donc chercher à savoir si un protocole d'endurance de force en musculation permet d'améliorer la performance en montée chez une population de traileurs. Nous réaliserons, dans un premier temps une revue de littérature sur les différents paramètres de la problématique. Dans un second temps, nous présenterons le protocole mis en place et la population participante. Enfin, nous présenterons les résultats obtenus et discuterons de ceux-ci.

2 Analyse de la littérature

2.1 Trail et déterminant de la performance

2.1.1 Définition du trail running

Dans un premier temps, il nous parait pertinent de se poser la question de ce qui définit clairement le trail running et de retracer très rapidement son histoire pour en comprendre les enjeux actuels. Tout d'abord, la définition exacte selon le Larousse de la pratique trail est « une course à pied de longue distance sur un chemin ou un sentier accidenté ». Toutefois, il nous parait plus pertinent d'utiliser la définition plus précise formulé par l'ITRA en 2012 qui permet de donner une limite entre trail et course sur route d'un point de vue compétitif : « Il s'agit d'une course à pied, ouverte à tous, dans un environnement nature (montagne, désert, forêt, plaine…). Idéalement mais pas nécessairement, elle se déroule sur un minimum de route goudronnées (20% de la course maximum) et en semi ou auto-suffisance. Elle doit être correctement balisée et organisée en des règles sportives : éthique, loyauté, solidarité et préservation de l'environnement »[6]. A travers ces différentes définitions, nous pouvons déjà comprendre que le trail ne se définit pas par un ratio de dénivelé mais par la nature du revêtement de course, et c'est ce qui le différenciera réellement de la course à pied « running ». Suivant le terrain, le trail running pourra être un mélange de course à pied et de marche où la notion fondamentale de ce sport est la gestion de son effort. Le dénominateur commun entre course à pied et trail reste la distance, et c'est grâce à cette dominante que l'on va classer les différents types de courses.

Catégories	km-effort
XXS	0 - 24
XS	25 - 44
S	45 - 74
M	75 - 114
L	115 - 154
XL	155 - 209
XXL	210 et plus

Tableau 1 Les catégories de Trail en fonction du KM-effort. source: ITRA

L'ITRA offre une classification des trails, non pas en fonction du nombre de kilomètres à parcourir mais en fonction du « kilomètre-effort ». Le calcul de cette formule est simple, il tient compte du dénivelé de la course, à la distance en kilomètres, on ajoute le dénivelé positif divisé par 100 (20km avec 1000 de dénivelé = 30km). On peut retrouver dans le tableau 1, les différentes formes de trails classifiés selon l'International Trail Running Association.

2.1.2 Déterminants de la performance

La performance en Trail Running peut s'expliquer par de nombreux paramètres à la fois physiologiques, musculaires mais aussi, dans une certaine mesure, mentaux. Dans le cas de notre étude, nous allons nous intéresser essentiellement aux déterminants centraux et périphériques de la course en chemin. Pour cela, nous pouvons nous appuyer sur l'étude de Pasteur et al. qui a observé les déterminants de la performance sur les courses de trail de différentes distances[7]. Les paramètres évalués des sportifs, dans cette étude étaient : la VO2max, les seuils ventilatoires et les couts énergétiques, le profil force-vitesse, la FMV (force maximale volontaire) et les caractéristiques anthropométriques. Avant de détailler les différentes implications de chacun des paramètres dans la performance, l'étude de Pasteur a montré que l'importance de chacun était impactée par la distance.

2.1.2.1 La VO2max (et les seuils ventilatoires associés)

Tout d'abord, il faut définir la VO2max afin de comprendre son impact lors de la course et des sports d'endurance de manière générale. C'est donc la fraction maximale d'oxygène qu'un corps peut consommer en une unité de temps. On parle souvent en litre par minute, toutefois, pour comparer des individus entre eux de manière équitable, il est plus judicieux de le rapporter au poids de

corps (L/mn/Kg). De cette définition, on comprend l'importance de ce paramètre pour la course à pied. En effet, d'un point de vue physiologique, la filière principale utilisée lors de la course à pied étant la filière aérobie, plus la capacité d'utilisation de l'oxygène est importante et plus la fourniture d'énergie via le cycle de Krebs et l'oxygénation des glucides seront importants[8]. Il nous parait important, dans un premier temps, d'expliquer le rôle de la VO2 dans la fourniture énergétique du système musculaire pour produire un mouvement et donc, maintenir une performance.

« Lors de la pratique sportive, l'oxygène joue un rôle fondamental dans la production énergétique, en permettant le fonctionnement des voies aérobies au sein des cellules musculaires. L'ATP (adénosine triphosphate), principale source d'énergie pour la contraction musculaire, est produit de façon optimale en présence d'oxygène grâce au métabolisme aérobie, qui se déroule dans les mitochondries. Après la glycolyse, le pyruvate formé est converti en acétyl-CoA, lequel entre dans le cycle de Krebs (ou cycle de l'acide citrique). Ce cycle, situé dans la matrice mitochondriale, permet l'oxydation complète des substrats énergétiques (glucides, lipides, voire protéines) et génère des coenzymes réduites (NADH et $FADH_2$). Ces coenzymes alimentent ensuite la chaîne de transport d'électrons, où l'oxygène intervient comme accepteur final d'électrons, permettant la formation d'eau et le maintien du flux d'électrons. Ce processus crée un gradient de protons nécessaire à la synthèse d'une grande quantité d'ATP via l'ATP synthase. En somme, l'oxygène est indispensable pour assurer une production énergétique efficace et durable lors d'un effort physique prolongé. En son absence, l'organisme doit recourir à des voies anaérobies, moins rentables, entraînant une accumulation de lactate et une fatigue musculaire plus rapide ».[9]

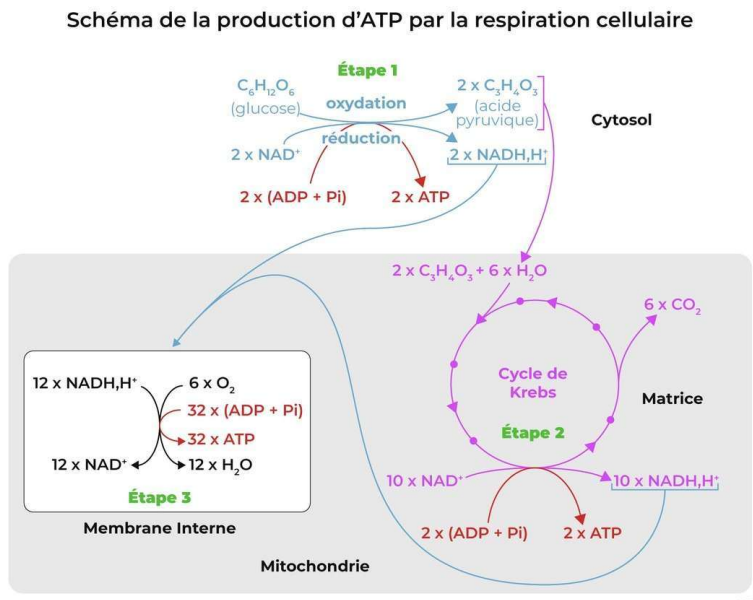


Figure 1 Représentation des étapes de production d'ATP grace à l'utilisation d'O2

Cette explication nous permet de comprendre comment le corps produit de l'énergie en grande quantité grâce à l'utilisation de l'oxygène et des substrats. Une VO2max élevée nous permettra donc d'accumuler plus d'oxygène et de le transférer en plus grande quantité dans les cellules musculaires dans le but de produire plus d'énergie, plus longtemps.

On sait que le trail est une discipline majoritairement aérobie, c'est-à-dire qu'elle puise son énergie principalement par la voie oxydative. La performance en compétition est chronométrique et dépend donc d'une vitesse moyenne. Or, cette vitesse moyenne est dépendante et proportionnelle à la fraction de VO2max (ou %VO2max) maintenue et à l'inverse, inversement proportionnelle au cout énergétique. Les 3 facteurs essentiels d'après Di Prampero[10] sont donc la VO2max, l'économie de course (ou consommation d'oxygène par unité de distance) et le %V02max que l'on est capable de maintenir. Dans une moindre importance, on peut également rajouter la cinétique de VO2 (soit la capacité à s'adapter rapidement à la demande énergétique aérobie)[11].

Dans un premier temps, Pasteur et al. ont établi une relation entre la performance sur Trail court et moyen et la VO2max des athlètes (*VO2max était le meilleur prédicteur de la performance pour trail court et moyen, expliquant à lui seul 75,6 % et 83,1 % de la variabilité de la performance*). Il explique que ce déterminant devient un contributeur moins important à mesure que la distance augmente, probablement parce que d'autres facteurs tels que la résistance aux lésions musculaires jouent un rôle significatif. Cette observation du lien de causalité entre VO2max et performance en sport d'endurance n'est pas récente. En effet, nous pouvons parler d'une étude de 1991 qui avait observé le lien entre la VO2max de 23 triathlètes et leurs performances en compétition (générales et relatives à chaque discipline). Ils avaient pu souligner l'importance de la puissance aérobie sur le vélo et en course à pied de manière absolue et relative (VO2 rapporté au poids corporel). Seul la natation n'avait pas un résultat de corrélation assez important mais cela parait logique au regard de la discipline[12].

Plus récemment, Sabater-Pastor et al. ont réalisé une étude sur 33 coureurs d'ultra-trail expérimentés auxquels ils ont fait passer une test incrémental sur tapis roulant pour mesurer leurs échanges gazeux, avant une course de 166km. Ces résultats ont montré que la VO2max prédisait à 65% la performance sur une course d'ultra-distance[13]. Lorsque le modèle combinait VO2max et cout énergétique, la prédiction diminuait à 62%. Ces résultats vont donc légèrement à l'encontre de ceux qu'ils avaient obtenu un an auparavant en confrontant les différentes distances. Il s'agit, ici, de la première étude à montrer que la VO_2max et la vitesse à la VO_2max sont des prédicteurs significatifs de la performance dans une course de trail de 166 km.

Sur les courses de moyenne et de courte distance, nous pouvons citer une méta-analyse paru en 2021, relatant 7 études qui traitaient des indicateurs physiologiques de la performance en course sur sentier. Dans toutes les études qui ont rapporté un test incrémentiel sur tapis roulant, la VO_2max, la vitesse de course (vVO_2max) ou la puissance à VO_2max étaient significativement liées à la performance dans 5 des 7 études qu'elles ont rapportées. La corrélation donne un pourcentage de 71% pour la capacité maximale aérobie.[14]

De manière plus spécifique, J.Crettaz a voulu proposer un modèle de prédiction des performances en course en montagne à partir d'un échantillon de 12 coureurs sur un parcours de 9km comportant 850 mètres de dénivelé positif. Son expérimentation a permis de faire ressortir un modèle comportant deux variables indépendantes que sont la VO2max et la vitesse ascensionnelle pour la performance en montée (R^2=0.97)[15].

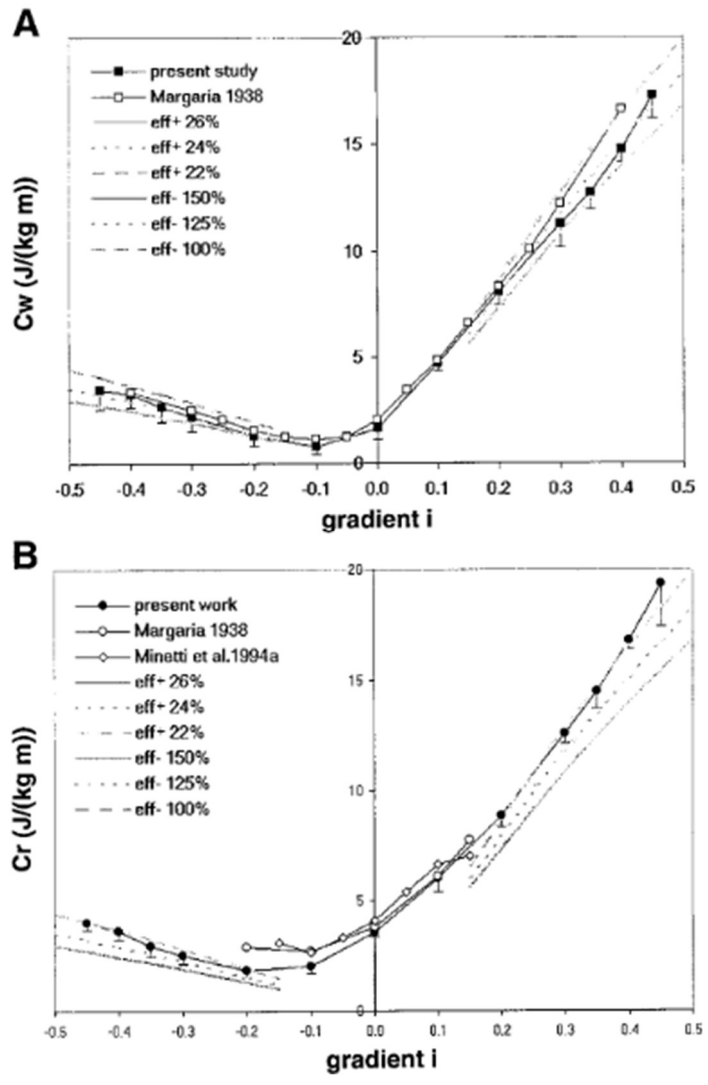
Pour conclure sur l'impact de la VO2max en course en sentier, et pour recentrer sur notre problématique de course en montée, nous pouvons citer l'étude de Paavlainen. Ce dernier a observé l'importance de la consommation maximale d'oxygène (VO2max) et des facteurs de puissance musculaire (FMP) liés aux caractéristiques neuromusculaires et anaérobies comme déterminants de la vitesse maximale de course horizontale et en montée (Vmax) sur tapis roulant (moins spécifique à la pratique trail). Des spécialistes de demi-fond, de triathlon et de ski de fond ont été utilisés pour cette étude. Les résultats ont montré que les facteurs de puissance musculaire contribuent aux performances optimales en course sur tapis roulant, et en particulier en course horizontale, et que la VO2max contribue davantage aux performances en montée qu'en course horizontale[16].

Afin de retrouver plus de spécificité, Lember et al. ont réalisé une étude sur 28 coureurs de trail, évalués à la fois en laboratoire et sur un parcours en montée de 8 kilomètres. Ils ont démontré une relation de causalité (r=0.76) entre la course en montée et la capacité aérobie[17]. Pour conclure sur l'importance de la VO2max lors de la course en montée, nous pouvons parler de l'étude de Lemire et al. qui a réalisé un contre la montre de 5km en montée et en descente pour évaluer les paramètres de performances de ces deux modalités de courses. Pour le contre la montre en montée, les indices de corrélations relatent de l'importance de la vitesse à VO2max, la force maximale et l'IMC (les deux premiers étant des prédicteurs partagés avec la course en descente)[18].

2.1.2.2 Le coût énergétique et l'utilisation des substrats

Le coût énergétique de la course correspond à la dépense énergétique nécessaire pour déplacer une masse corporelle sur une distance donnée. Selon les travaux de Minetti et al. (2002), ce coût est estimé à environ 1 $kcal \cdot kg^{-1} \cdot km^{-1}$ lors d'un déplacement en course à pied sur terrain plat. Les auteurs ont également proposé un modèle décrivant l'évolution du coût énergétique en fonction de la pente du terrain, tant en montée qu'en descente, lors de la course et la marche. On peut alors constater que le cout énergétique augmente de manière linéaire avec l'augmentation de la pente, dans les deux types de locomotion (le cout étant plus élevé pour une même inclinaison à la course comparé à la montée)[19].

Margaria, en 1976, est la première à définir le cout énergétique et proposer une équation comme $Crnet = \frac{VO2 - VO2repos}{V}$ en ml02/mn/kg/m. On s'aperçoit alors que la vitesse est le rapport de la consommation d'oxygène sur le Cr et que plus le cout est faible, plus la vitesse sera élevée.



Graphique 1 Le coût énergétique métabolique de la marche (Cw ; A) ou en cours d'exécution (Cr ; B) en fonction du gradient de la présente enquête et des travaux de Margaria et Minetti et al.(uniquement pour la course à pied).

De nombreuses études ont montré l'importance d'une économie de course chez les coureurs sur route élite (Barnes&Kilding, 2015 ; Millet et al. 2011)[20]. En effet, les contraintes plutôt stables de la course sur route ont permis à Billat (2003)[21] d'estimer un morphotype idéal de l'athlète d'endurance sur route (IMC = 18/20 ; masse entre 54 et 61kg pour une taille inférieure à 175cm). Pour autant, peu d'études ont travaillé sur ce type de profilage en trail dû à la contrainte de la discipline.

L'économie de course est influencée en trail running par les mêmes facteurs de rendement musculaire que la course à pied. Toutefois, elle varie également par la distance, le profil ou la technicité.

Nous avons pu voir que le coût énergétique de la course (Cr) est souvent considéré comme un meilleur prédicteur de la performance en course de fond que la VO_2max dans des groupes homogènes en termes de niveau. Cependant, dans la récente étude de Sabator-Pasteur&Millet (2022)[7], aucune corrélation significative n'a été observée entre la Cr et la performance relative (PERFrel), quelle que soit la distance étudiée. Ce constat rejoint les résultats d'autres recherches menées sur des courses de 50 à 160 km, où la Cr n'était pas liée à la performance. En revanche, une relation significative a été identifiée dans des épreuves plus courtes, comme un trail de 27 km ou une course de 90 km répartie en trois étapes de 30 km par jour. Ces données suggèrent que la Cr serait plus déterminante sur les distances courtes. De plus, la technicité du terrain en trail pourrait limiter la pertinence de la Cr comme indicateur de performance, car une étude comparant des coureurs sur piste et des orienteurs (pratiquants de course d'orientation) a montré que, sur terrain accidenté, la Cr augmentait davantage chez les coureurs sur piste, probablement en raison d'une moindre habileté technique. Ainsi, la capacité à gérer un terrain technique pourrait atténuer l'impact du coût énergétique sur la performance, et la relation entre Cr mesurée en conditions techniques et performance en trail reste à explorer.

Pour autant, une étude du même auteur, plus ancienne, avait étudié l'impact de la fatigue induit progressivement par une course de trail. Celle-ci a montré une augmentation significative du cout énergétique chez des traileurs réalisant une distance supérieure à 100km, cette augmentation n'étant pas observée de manière significative sur les coureurs des distances inférieures à 100km[22].

Lemire et al.[18] ont observé l'impact de la pente sur le cout énergétique ainsi que les facteurs qui faisaient évoluer cette donnée dans les deux modalités. Ils ont relevé que l'augmentation du cout énergétique en montée était liée principalement à des facteurs métaboliques et cardiovasculaires (la fréquence cardiaque, le débit cardiaque et la différence artérioveineuse) quand les facteurs étaient plutôt d'ordre musculaires en descente (la rigidité verticale des membres inférieurs, le temps de contact avec le sol, l'amplitude de la foulée et la fréquence des pas). Nous pouvons donc dire que pour améliorer l'efficacité énergétique en montée, il est important d'avoir une VO2max élevée et un entrainement cardio-vasculaire important en amont.

Pour comprendre l'importance du cout énergétique en montée, nous pouvons nous rapprocher des études de Margaria (avec lesquelles nous avons introduit ce chapitre) qui s'est intéressé à l'impact de cette composante sur les couts en montée et en descente, à la marche et en course. Plus récemment, Minetti et al ont défini une relation mathématique entre augmentation du cout énergétique et augmentation de la pente. On remarque que les coûts énergétiques liés à la marche et à la course sont nettement différents sur terrain plat, principalement en raison des vitesses distinctes associées à chaque mode de déplacement. Cependant, ces valeurs tendent à se rapprocher à mesure que la pente augmente, tout comme les vitesses correspondantes. Pour modéliser

mathématiquement la relation entre le coût énergétique de la marche et de la course en fonction de la pente, Minetti a proposé une fonction polynomiale. Cette modélisation permet non seulement d'estimer les coûts énergétiques pour des pentes extrêmes, ce qui est particulièrement pertinent pour les activités de trail, mais Minetti a également évalué dans cette étude (Minetti et al., 2002)[19] les coûts métaboliques par mètre vertical. Ce coût vertical correspond à l'énergie nécessaire pour parcourir un déplacement vertical d'un mètre, exprimée en Joules par kilogramme de masse corporelle et par mètre vertical ($J \cdot kg^{-1} \cdot m_vertical^{-1}$).

Pour la course, ce coût diminue sur des pentes positives, atteignant une moyenne de 44,9 ± 3,8 $J \cdot kg^{-1} \cdot m^{-1}$ pour des inclinaisons comprises entre 20 et 40 %. En descente, un minimum de 9,2 ± 1,7 $J \cdot kg^{-1} \cdot m^{-1}$ est observé pour des pentes allant de -20 à -40 %. La marche suit des tendances similaires, sauf pour les faibles pentes (entre -10 % et +10 %) où son coût énergétique est nettement supérieur à celui de la course.

Concernant le rendement mécanique, défini par Margaria (1938) comme le rapport entre le travail mécanique effectué pour le déplacement vertical et l'énergie dépensée, les valeurs obtenues sont proches pour la marche et la course en montée à partir de 15 % de pente, avec respectivement 21,8 ± 6 % et 24,3 ± 1,2 %.

En ce qui concerne l'impact de l'utilisation des substrats énergétiques sur la performance en trail et en ultra-trail, encore peu d'études existent sur la question. Il semblerait que l'utilisation des lipides, associée à une bonne capacité aérobie, sont les deux facteurs principaux de la performance sur une distance inférieure à 60km[7]. Parallèlement, une analyse des métabolites sanguins de 33 coureurs de trail a révélé que les coureurs les plus performants présentaient une meilleure adaptation des voies bioénergétiques. L'efficacité métabolique fait référence à la capacité du corps du coureur à utiliser ses substrats énergétiques (glucides, lipides, etc.) de manière optimale pendant l'effort[23]. Concrètement, cela signifie que chez les coureurs les plus performants, les processus biochimiques qui transforment ces substrats en énergie sont « plus efficaces ». Par exemple, ils peuvent mieux mobiliser et oxyder les lipides, ce qui permet de préserver les réserves de glucides plus rapidement épuisées. Leur organisme gère plus efficacement les métabolites limitant la fatigue liée à l'accumulation de déchets métaboliques. Ils présentent une meilleure protection antioxydante (glutathion), ce qui protège les cellules du stress oxydatif engendré par l'exercice prolongé.

2.1.2.3 Les facteurs périphériques

Pour introduire ce paragraphe traitant de l'importance des facteurs périphériques dans la performance, soit la force musculaire, nous pouvons parler de l'étude de Balducci et al. (2017)[24] qui avaient tenté de relever les facteurs de performances sur 24 ultra-traileurs. Le niveau et le coût énergétique gradué de la course, la raideur, la force des extenseurs du genou et la hauteur de saut sur un saut à contre-mouvement (CMJ) ont été mesurés avant (pré) et immédiatement après (post) l'Interlacs Trail (75 km et 3 930/3 700 m j + /j -). Ils en ont conclu qu'au niveau musculaire, seule la force des extenseurs de genou était déterminante dans la performance sur ce type de distance. En 2022, Pastor a mis en évidence que la force musculaire maximale est un facteur déterminant de la performance en trail running, en particulier pour les courses entre 100 et 145km. Les courses de trail de longue distance sollicitent intensément les muscles, notamment lors des montées et descentes, ce qui entraîne une fatigue musculaire accrue. Une force musculaire maximale plus élevée permettrait de mieux gérer cette fatigue, améliorant ainsi la performance[7].

Le même auteur, en 2023, a comparé l'économie, la force et la biomécanique de course entre athlète sur route et en trail. Cette étude a montré que les traileurs, sur leur profil force-vitesse, avaient un couple maximal théorique (F0) et une puissance maximale (Pmax) plus élevée, sans pour autant avoir une force isométrique maximale plus importante. Il explique cela par l'entrainement naturel en trail running ainsi que la sélection naturelle qui s'effectue dans cette discipline[25].

Pour évaluer les paramètres liés à la performance sur le plan du cout énergétique et des paramètres biomécaniques et neuromusculaires, Besson (2023)[26] a comparé 20 traileurs d'élites et 21 traileurs expérimentés (Homme et Femme). Il a pu relever des différences entre les deux groupes avec, notamment, un cout énergétique plus faible chez les élites comparé à leurs homologues. Il n'a pas noté de différence de puissance maximale entre les deux groupes, en revanche, il a obtenu des résultats de couple de force

relative plus élevés et une vitesse maximale plus faible, chez les traileurs élites, dans le profil Puissance-Force-Vitesse. Ces conclusions tendent à recommander un entrainement en musculation chez les traileurs débutants et expérimentés pour diminuer leurs couts énergétiques et donc améliorer leurs performances.

2.1.2.4 La composition corporelle

Tout d'abord, nous pouvons décrire la composition corporelle comme « la proportion entre la masse grasse et la masse maigre dans le corps d'un athlète. Elle est un facteur déterminant de la performance, notamment dans les sports d'endurance comme le trail running, où le poids corporel influence directement le coût énergétique de l'effort ». La composition corporelle peut également être détaillée avec le pourcentage d'eau présent dans le corps, ainsi que le pourcentage de masse osseuse. Dans le cadre de la majorité des recherches en Trail Running et en Course à pied, nous nous intéressons majoritairement au pourcentage de masse grasse (BF) car elle est souvent associée à une meilleure performance. En effet, de manière logique, nous pouvons dire qu'un pourcentage de masse grasse faible (et un faible poids de manière général) est synonyme de moins de poids à porter en montée et à freiner en descente (donc une meilleure efficacité énergétique), moins de fatigue musculaire et donc de risque de blessure ainsi qu'une VO2max relative plus importante (consommation d'oxygène par kg de poids corporel).

Les résultats anthropométriques de Sabater-Pastor, lors des différentes courses de l'UTMB en 2021, ont montré une corrélation significative entre performance sur trail court et moyen et le pourcentage de masse grasse (%BF). C'est la seule variable anthropométrique qui montrait cette corrélation. Egalement, une relation négative significative entre la VO_2max et le BF a été observée dans notre échantillon de traileurs. Il n'y avait aucune relation entre les variables anthropométriques et la performance relative sur longue distance, ce qui pourrait s'expliquer par la distribution des performances, ou par le fait qu'une masse corporelle plus importante est moins pénalisante à une intensité plus faible[7]. D'autres études ont montré qu'un faible pourcentage de BF est un prédicteur significatif de la performance en trail running, dans des courses de 27 et 65 km[27], et est également corrélé à la performance dans une course de 107 km.

Sur Trail court, Alvero-Cruz et al ont montré une relation significative entre le temps de course et la masse grasse et l'indice de masse corporelle (IMC), avec un modèle combiné VO2max-masse grasse expliquant 83,9% de la performance de 11 traileurs sur une course de 27 kilomètres (1750 de D+)[28].

De manière plus générale, une revue systématique parue en 2021 a tenté d'évaluer l'ensemble des indicateurs physiologiques de la performance en course sur sentier (combinaisons des termes « trail run » ou « trail runner » ou « trail running » et « performance » ont été utilisées comme termes de recherche, 7 études sont ressorties de ces recherches). Le pourcentage de graisse corporelle était corrélé à 43% à la performance, soit la 5ème variable la plus déterminante (avec la capacité maximale aérobie, le seuil de lactate, la vVO2max et l'économie de course)[29].

Sur une distance plus longue, une seule étude actuelle permet d'émettre une conclusion sur l'importance de la composition corporelle en ultra-trail. Hoffman, en 2010, a observé sur un ultra marathon de 161km, 72 coureurs (hommes et femmes) en comparant les caractéristiques anthropométriques et les temps d'arrivée. Il en conclut que les hommes les plus rapides ont des valeurs de graisse corporelle en pourcentage plus faibles que les hommes plus lents, et les finisseurs ont des valeurs de graisse corporelle en pourcentage plus faibles que les non-finisseurs. Ces corrélations étaient plus faibles voir non significatives chez les femmes[30].

Enfin, pour conclure sur la différence morphologique entre Traileurs récréatifs et élites, un poster présenté au congrès de Genève (2019), par les doctorants en physiothérapie de l'université de Porto, a montré les différences de ces deux populations sur le plan anthropométrique. Le groupe compétitif d'athlètes était plus jeune, avait un volume corporel plus faible et une densité corporelle

plus élevée. La quantité de masse maigre était similaire entre les groupes, mais la quantité de masse grasse et de tissu adipeux corporel entier était plus élevée dans le groupe récréatif[31].

2.2 Renforcement Musculaire en Trail Running

2.2.1 L'entrainement en endurance de force

2.2.1.1 Qu'est-ce que l'endurance de force ?

L'endurance musculaire est la capacité des muscles (ou d'un groupe de muscles) à exercer continuellement une force contre une résistance ou un mouvement donné. Dans toutes activités, notre niveau d'endurance musculaire déterminera la durée et l'intensité avec lesquelles nous pourrons effectuer plusieurs répétitions d'un exercice sur une période donnée. L'endurance musculaire s'applique également à la capacité de récupération des muscles. Plus nos muscles récupèrent rapidement pendant les périodes de repos, plus vite il est possible de réaliser de nouvelles répétitions. En d'autres termes, l'endurance de force est la capacité d'un muscle ou d'un groupe musculaire à exercer une force modérée de manière répétée ou soutenue pendant une période prolongée, sans fatigue excessive. D'après ces différentes définitions, nous pouvons comprendre l'objectif de l'utilisation de cette technique : maintenir un niveau de force le plus important possible, pendant un temps prolongé (ou du moins le plus longtemps possible).

D'un point de vue physiologique, l'optimisation de l'endurance de force d'un athlète va permettre un recrutement majoritaire des fibres de type I mais sensibilisera, au fur et à mesure de l'arrivée de la fatigue musculaire, la capacité de recrutement des fibres IIa et IIx (fibres rapides). Cette méthode est également déterminante dans la synchronisation des unités motrices et la coordination intra et inter musculaire[32]. Enfin, de manière secondaire, on peut également parler d'un objectif de résistance à l'accumulation de métabolites (lactate, ion H+), et, dans certains cas, l'épuisement des substrats énergétiques. Au niveau des adaptations, la littérature recense plusieurs intérêts que l'on peut retrouver dans le tableau ci-contre[33 34 35] :

Adaptations Musculaires	Adaptations Métaboliques	Adaptations Neurologiques
• Hypertrophie des fibres de TI • Augmentation du nombre et de la densité des mitochondries • Amélioration de la vascularisation musculaire (capillarisation) • Augmentation des enzymes oxydatives	• Meilleure utilisation des lipides comme source d'énergie • Amélioration de la clairance du lactate	• Amélioration du contrôle moteur et de la coordination • Diminution du cout énergétique du mouvement

Tableau 2 Adaptations Muculaires, Métaboliques et Neurologiques de l'entrainement en endurance de force (Andersen,2000; Schoenfeld, 2010; Campos, 2002)

2.2.1.2 Comment stimuler l'endurance de force en musculation

D'après la littérature, le meilleur moyen d'améliorer la résistance aux contraintes musculaires induit par une force externe est induit par une exposition à un nombre de répétition élevé, avec un temps de récupération limité et incomplet. Nous pouvons nous baser sur les travaux de Campos et al. (2002) qui a opposé plusieurs méthodes d'entrainement en résistance avec un nombre de répétitions différent[36]. Ces résultats montrent une augmentation de l'hypertrophie musculaire dans les groupes à répétitions faibles (charge élevée). En revanche, les groupes à répétitions moyennes et élevées semblaient montrer une meilleure adaptation aux contractions sous-maximales et prolongées, avec des augmentations significatives après l'entraînement de la puissance aérobie et du temps jusqu'à l'épuisement. Lors d'un entrainement en musculation, les protocoles sont donc orientés vers des séries de 15 à 25 répétitions,

avec des charges aux alentours de 50 à 65% 1RM (charge maximale que l'on peut soulever), et un temps de récupération inter-série compris entre 30 secondes à 1'30. Il existe également d'autres méthodes de développement de l'endurance de force telles que les entrainements en circuits, au poids du corps (plutôt à destination des débutants ou non-experts) ou encore en isométrie/maintien.

Une méthode également utilisée, et qui a démontré son efficacité sur un public de sportif d'endurance, est le stato-dynamique. Elle combine deux phases au sein d'une même répétition : la phase isométrique (maintien d'une position fixe (souvent 2 à 6 secondes) dans la partie la plus difficile du mouvement (zone de faible levier)) et la phase dynamique (enchaînement immédiat avec des répétitions lentes et contrôlées en amplitude partielle ou complète). L'endurance de force étant définie comme la capacité à répéter un effort sous charge modérée sur une durée prolongée. Le stato-dynamique favorise cela en provoquant une accumulation de métabolites (lactate, ions H+) via une restriction du flux sanguin (occlusion partielle), recrutant un grand nombre d'unités motrices, même avec des charges légères, par fatigue musculaire locale et en sollicitant les fibres de type I et IIa, grâce à un temps sous tension prolongée, ce qui est une clé du développement de l'endurance de force[37].

2.2.2 Entrainement en Force (Strength Training) dans le trail

Il existe encore peu d'études portant sur la musculation en endurance de force chez les traileurs pour démontrer d'une réelle amélioration des performances. La plupart des études sur le sujet sont portées essentiellement sur des coureurs sur route. Nous pouvons déjà nous inspirer de ces recherches pour ouvrir notre réflexion sur le sujet.

Nous pouvons tout d'abord citer l'étude de Prieto-Gonzalez (2022)[38] qui a démontré l'efficacité d'un programme d'entrainement en résistance spécifique sur les sportifs d'endurance (étude réalisée sur 30 coureurs divisés en 3 groupes), notamment sur les paramètres de force maximale et explosive ainsi que sur l'économie de course sans détériorer les paramètres d'endurance induits par l'entrainement d'endurance qu'ils pratiquaient en complément.

Récemment, un essai contrôlé randomisé paru en 2024[39], a comparé l'effet de différentes méthodes d'entraînement en force (par exemple, charge élevée, charge sous-maximale, pliométrique, combinée) sur la performance (c'est-à-dire le contre-la-montre et le temps jusqu'à l'épuisement) et ses déterminants (c'est-à-dire, VO2max, VO2max, MMSS, capacité de sprint) chez les coureurs de demi-fond et de longue distance. Il en a conclu que l'entraînement en force avec des charges élevées (≥ 80 % d'une répétition maximale) peut améliorer les performances en course contre la montre ainsi que le temps jusqu'à l'épuisement. La combinaison de plusieurs méthodes de musculation au sein d'un même programme (ex : des charges lourdes, des charges sous-maximales (40 à 79 % de 1RM) et/ou un entraînement pliométrique), semble générer des améliorations de performance en course plus importantes que l'utilisation d'une méthode unique. En revanche, des changements peu voire non significatifs ont été observés concernant la consommation maximale d'oxygène (VO_2max), la vitesse atteinte à VO_2max, l'état d'équilibre métabolique maximal et la capacité de sprint. Ces résultats sont issus de 38 études portant sur un total de 894 coureurs de demi-fond et de fond (651 hommes et 243 femmes), âgés de 17 à 40 ans.

Une première étude intéressante, parue en 2011, traite de l'impact de différents régimes de renforcement musculaire sur la course (sur tapis roulants) sur des coureurs amateurs. Ils ont démontré que l'entrainement à charge lourde, en explosivité et en endurance musculaire permettait d'améliorer les performances de courses sur tapis roulant. Ils ont également mis en avant l'impact positif de l'entrainement à résistance lourde et explosif sur les caractéristiques neuromusculaires et les capacités de courses à haute intensité[40].

Ensuite, de nombreuses méta-analyses sont parues ces dix dernières années sur l'effet de programme d'entrainement de musculation dans la performance de différentes populations d'athlètes. Yamamoto (2008) a montré une amélioration de 3 % des temps sur 3 et 5 km et un gain de 4,6 % à 8,1 % en économie de course, après un cycle combiné d'entrainement en résistance et en endurance, chez des athlètes très entrainés[41]. Beattie et al. (2014) ont montré qu'après 5 semaines minimum d'entrainement en force, chez des athlètes d'endurance (volume horaire >6h d'entrainement par semaine), les performances sur contre la montre, l'économie de course et la puissance musculaire étaient améliorées[42]. Dans la même logique, Alcaraz et al. (2018), montrent également que l'entraînement

en résistance conduit à des améliorations générales de la force musculaire, de l'économie de course, des facteurs de puissance musculaire et des performances directes sur des distances comprises entre 1 500 et 10 000 m. Toutefois, cette étude étant très généraliste sur les méthodes utilisées, ils suggèrent que ces bénéfices pourraient dépendre des caractéristiques spécifiques de l'entraînement en résistance appliquée[43]. Enfin, une dernière méta-analyse de 2024, de Llanos-Lagos et al., s'est intéressée à l'impact de différentes méthodes de renforcement musculaire sur l'économie de course chez des athlètes d'endurance, et cela à différentes vitesses. Cette dernière donnée est intéressante pour notre population spécifique de traileur quand on sait que nous sommes souvent à des vitesses de courses faibles et que les études portant sur l'économie de course sont souvent sur des vitesses à haute intensité dans des conditions plates. Les études représentaient 195 athlètes modérément entraînés, 272 bien entraînés et 185 athlètes hautement entraînés, qui avaient tous suivis un programme de musculation de 6 à 24 semaines. Ils en ont conclu que « l'entraînement en force avec des charges élevées, l'entraînement pliométrique et la combinaison de méthodes d'entraînement en force pouvaient améliorer l'économie de course chez les coureurs de moyenne et longue distance. D'autres méthodes telles que l'entraînement à charge sous-maximale et l'entraînement en force isométrique semblaient moins efficaces pour améliorer l'économie de course dans cette population. Il est à noter que les données dérivées de cette revue systématique suggèrent que, bien que l'entraînement à charge élevée et l'entraînement pliométrique peuvent améliorer l'économie de course, l'entraînement pliométrique pourrait être efficace à des vitesses plus basses (c'est-à-dire ≤ 12,00 km/h) et l'entraînement à haute charge pourrait être particulièrement efficace pour améliorer l'économie de course chez les athlètes ayant une VO2max élevée , et des vitesses de course élevées »[44].

L'ensemble de ces différentes données scientifiques démontre l'impact positif du renforcement musculaire, peu importe la méthode utilisée, sur les performances chez des athlètes d'endurance, notamment sur la puissance musculaire, les performances contre la montre court et l'économie de course, cette dernière étant un des déterminants essentiels de la performance en trail. En revanche, la littérature présentée ici, traite bien du sujet de l'entrainement croisé en musculation pour des sportifs d'endurance comme des coureurs sur routes, des cyclistes ainsi que des triathlètes. Seulement, d'après nos recherches, aucune ne s'est intéressée aux publics spécifiques de la course de sentier (traileurs). La majorité des études sur ce public se concentre sur l'impact de la force musculaire des membres inférieurs sur la performance générale, en montée et en descente (études sur lesquelles nous nous sommes appuyés dans le chapitre précédent). A ce jour, nous n'avons pas relevé d'études relatant explicitement de l'efficacité d'un protocole d'entrainement en renforcement musculaire, sur ces performances, seulement des protocoles de terrains. Nous pouvons peut-être expliquer ce choix par le fait que le coureur de trail s'expose naturellement aux développements de la force des membres inférieurs, à travers la nature du terrain (dénivelé plus ou moins important incluant une demande concentrique et excentrique supérieure à un coureur sur route).

2.3 Problématique

Grace à l'analyse générale de la littérature sur les facteurs de performances en trail, ainsi que sur l'importance du renforcement musculaire dans l'amélioration des qualités physiques du coureur de fond, nous pouvons en déduire une voie de recherche dans le domaine de l'entrainement en trail. Nous avons pu déterminer que la capacité aérobie était le facteur déterminant de la performance en Trail Running mais qu'en fonction de la distance, la capacité d'utilisation des lipides était importante pour les courses inférieures à 60km, la force musculaire et la composition corporelle influençant fortement la performance sur les trails longs. Nous avons pu également conclure qu'il n'existait aucune étude montrant une relation significative de l'impact de différents protocoles de renforcement musculaire sur la performance directe en course, ainsi que sur la prévention de blessures. Toutefois, des corrélations significatives sont retrouvées entre programme d'entrainement en force et amélioration de l'économie de course, de la force et de

la puissance musculaire ainsi que sur les caractéristiques neuro-musculaires. Ces différentes données nous ont amenés à nous questionner sur :

« **L'impact d'un programme d'entrainement musculaire en endurance de force, sur la performance en montée, chez une population de traileur** ».

La modalité de l'endurance musculaire a été choisie car nous avons pu voir précédemment qu'elle avait pour objectif le maintien d'un haut niveau de force dans le temps, ainsi qu'une amélioration de l'utilisation des lipides comme source d'énergie. Ces améliorations musculaires et physiologiques seront importantes en montée car nous avons vu que la demande énergétique et musculaire augmentait de manière proportionnelle à la pente, aussi bien à la course qu'à la marche.

En nous basant sur un programme d'entrainement en musculation, regroupant l'ensemble des méthodes de développement de l'endurance de force sur les membres inférieurs, nous avons pour objectif d'améliorer la performance pure d'un groupe de coureurs en trail, sur une section de chemin en montée, à la suite de la réalisation du protocole d'entrainement.

Notre hypothèse est que la performance temporelle sera significativement réduite pour la même distance courue sur cette section, avant et après entrainement.

3 Méthodologie

3.1 Participants

8 athlètes de Trail Running (6 Hommes et 2 Femmes), âgés en moyenne de 35 ans (Écart Type = 8,56) de niveau confirmé/élite, ont participé à cette étude. Trois des huit sujets pratiquent le trail au moins 4 fois par semaine (moyenne du nombre de séances hebdomadaires du groupe = 3,63 +/- 0,86) depuis plus de 5 ans, témoignant ainsi d'un niveau expérimenté dans le domaine. Trois athlètes étaient spécialisés dans l'ultra (supérieur à 80km), un dans les distances moyennes (50 à 80km), trois dans le trail court (25 à 50km) et enfin un réalise plutôt des distances découvertes, inférieur à 25km. La moyenne des temps de séances est de 75mn (+/- 6,5mn) avec un dénivelé hebdomadaire moyen de 1179m (+/- 371m). Tous incluaient déjà des séances de renforcement musculaire hebdomadaire (1,38 +/- 0,48 séance hebdomadaire), avec une expérience moyenne dans ce domaine de 2,29 (+/- 1,16). Seul 1 sujet ne réalisait aucun sport croisé (à part le renforcement musculaire) en parallèle de la course à pied. Parmi ces activités croisées, nous pouvons retrouver : le cyclisme/gravel (5), la randonnée (2), l'escalade (2), le squash/tennis (1), la natation (1) et le ski de randonnée (1).

Les sujets ont tous réalisé le protocole de renforcement identique (Annexe n°) durant une période de sept semaines avec un test avant et après le cycle, sur le circuit de leur choix. Tous les athlètes ont été informés des procédures de recherche et ont donné leur consentement écrit pour la participation volontaire. Ils ont été recrutés sur la base du volontariat à partir d'un formulaire d'inscription en ligne. Les critères d'inclusion comprenaient l'absence de blessure grave aux membres inférieurs au cours des six derniers mois précédant l'étude, un entraînement d'au moins deux fois par semaine en trail, un accès à une salle de musculation (ou crossfit), et une capacité de pouvoir réaliser le test pré-post dans leurs domaines de courses de proximité. Aucun athlète évalué n'est professionnel, tous ont une profession à côté de la pratique de la course à pied (3 dans le secteur médical, 2 dans le monde sportif et associatif, 2 cadres supérieurs et 1 étudiant).

3.2 Description du protocole

Chaque participant a réalisé un cycle d'endurance de force qui s'étend sur 7 semaines, à raison d'une séance de renforcement musculaire d'une durée de 1 heure par semaine. Cette séance venait s'ajouter à la charge d'entrainement initiale du sujet sans remplacer une séance de course à pied. La séance (Annexe n°) était la même pour chaque sujet, seules les charges étaient individualisées à chacun en fonction des capacités initiales. L'évolution au fur et à mesure des semaines était basé sur l'augmentation du nombre de séries à réaliser dans le corps de séance (évolution quantitative) ainsi qu'un circuit différent pour le Core Training (limiter la lassitude et l'adaptation). Le facteur d'endurance musculaire est sollicité à travers deux modalités d'entrainement définies plus tôt dans l'analyse de la littérature : des séries longues (nombre de répétitions) avec peu de charge et peu de récupération inter-série, la méthode « Isomax » (passer le maximum de temps possible en position statique lors du moment du pic de contraction du mouvement dont il est question).

3.2.1 Mesures

Pour évaluer l'impact du cycle d'entrainement, un test de terrain est réalisé avant (semaine précédant le début de l'entrainement) et après (dernière semaine de l'entrainement) le cycle. Le test consiste à réaliser une montée de pente égale ou supérieur à 10% durant 5 minutes, le plus vite possible. Cette pente était insérée au cours d'une sortie trail de l'athlète qui avait pour obligation de réaliser le même itinéraire pour le post-test. La valeur relevée en pré-test était la distance parcourue durant ces 5 minutes. A la fin du protocole, le sujet réalisait cette même montée pour atteindre, le plus vite possible, la distance parcourue lors du pré-test.

3.2.2 Analyses

L'ensemble des analyses statistiques a été effectué à l'aide du logiciel R. Afin d'évaluer l'effet du cycle d'entraînement sur les performances physiques, un test t de Student pour échantillons appariés a été utilisé pour comparer les résultats obtenus avant et après l'intervention. Ce test permet de déterminer si la différence moyenne observée entre les deux mesures est statistiquement significative, en tenant compte du fait que les données sont dépendantes (mêmes participants testés à deux reprises).

Le seuil de significativité a été fixé à $p < 0,05$. Les données sont présentées sous forme de moyenne ± écart-type. La taille de l'effet a également été calculée à l'aide du d de Cohen, afin d'évaluer l'ampleur des différences observées, avec les seuils suivants : 0,2 = faible, 0,5 = modérée, 0,8 = forte.

4 Résultats

Un test t de Student pour échantillons appariés a été réalisé afin d'évaluer l'effet de l'intervention sur les performances des participants lors de la réalisation du segment effectué avant le protocole de renforcement.

La normalité des différences a été vérifiée à l'aide du test de Shapiro-Wilk (W = 0.95, p = 0.72), validant l'usage du test paramétrique. Les résultats indiquent une différence significative des résultats après la période d'intervention (t(7) = 5.35, p = 0.0011), avec une diminution moyenne de 36.5 secondes (IC95% [20.4 ; 52.6]), soit une diminution relative de 12,3% du temps pour réaliser la même distance.

La taille de l'effet, calculée à l'aide du d de Cohen, est de 2.35 (IC95% [0.52 ; 4.19]), traduit un effet très important de l'intervention sur la variable temps mesurée.

Nom	Pré-test	Post-test	Différence
Participant 1	280	250	30
Participant 2	300	240	60
Participant 3	300	289	11
Participant 3	300	277	23
Participant 5	300	280	20
Participant 6	300	263	37
Participant 7	300	254	46
Participant 8	300	235	65
Moyenne	**297.5**	**261.0**	**36.5**
Ecart-Type	**7.1**	**19.6**	**19.3**

Tableau 3 Mesure des Temps (en s) sur le parcours choisi par le participant selon les modalités du protocole

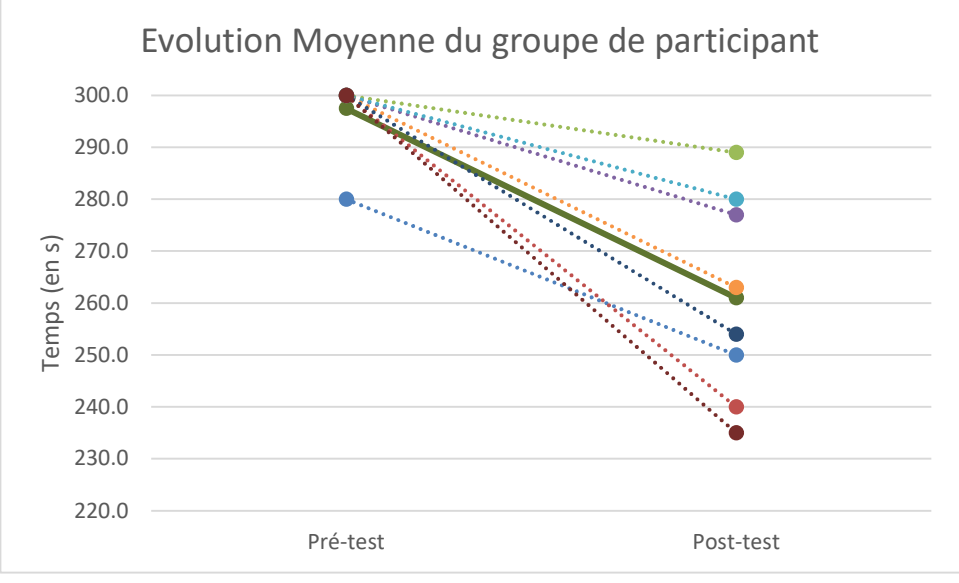


Tableau 4 Evolution Graphique des performances moyennes avant et après le protocole

5 Discussion

5.1 Confrontation des résultats avec la littérature

L'objectif de notre étude était d'évaluer l'effet d'un cycle d'entrainement spécifique de renforcement musculaire sur l'endurance de vitesse en montée de coureurs de trail. Les résultats que nous avons obtenus permettent d'apporter plusieurs enseignements. Sur la cohorte qui a réalisé le programme dans sa totalité, nous avons pu constater une amélioration significative de la vitesse de course sur un même itinéraire parcouru en pré et en post intervention. Cela peut donc se traduire par un effet positif de l'entrainement en endurance de force sur les performances en course en montée, et donc valider notre hypothèse initiale.

Lors de l'analyse de la littérature, nous avions relevés les facteurs considérés comme étant les plus déterminants dans la performance en trail running: la VO2max, le cout énergétique, les facteurs périphériques (ou la force musculaire) ainsi que la composition corporelle. Dans le cadre de notre protocole, nous avons surtout cherché à agir sur deux de ces quatre facteurs. Tout d'abord il parait évident qu'un entrainement en force aura un effet positif sur les facteurs périphériques. Balducci et al (2017)[24] avaient montré que les meilleurs athlètes étaient ceux qui détenaient les meilleurs niveaux de force des extenseurs du genou, or dans le cadre de notre protocole, les exercices réalisés en renforcement ciblaient particulièrement un pattern d'extension de genou (conjointement avec un pattern de triple extension hanche-genou-cheville pour corroborer avec la spécificité de la course à pied et la propulsion avant). Nos résultats semblent donc correspondre à ceux rapportés par ces auteurs.

La plupart des études rapportées, traitant de l'impact de la force musculaire en trail, traduisaient surtout cet impact sur la performance de manière indirect, en agissant surtout sur l'économie de course qui elle, avait un lien direct avec l'optimisation grâce à l'entrainement. Dans notre cas, le fait d'avoir cherché un impact positif sur la force des membres inférieurs, et surtout, leurs capacités à répéter ce type d'effort dans le temps, nous a permis d'améliorer l'économie de course de nos athlètes. Toutefois, nous ne pouvons pas assurer de manière objective cette amélioration car nous n'avons pas réalisé d'évaluation ciblée dans ce sens. Le fait que nos résultats convergent avec ceux retrouvés dans la littérature [22] nous permet d'avancer cette hypothèse. En observant les travaux de Margaria, nous avions pu voir que le cout énergétique augmentait avec la pente, ainsi, le fait de diminuer potentiellement ce cout énergétique via l'entrainement en force a pu permettre une réduction du cout énergétique des athlètes sur une même performance et donc une amélioration de leurs vitesses, réduisant le temps réalisé sur la même distance parcourue. Sur la base de ces mêmes études, nous pouvons également comprendre pourquoi l'optimisation du temps de passage n'est pas la même en fonction des individus. En effet, chacun ayant réalisé son propre itinéraire, les caractéristiques du terrain n'étaient pas la même pour tous. Or, les études sur le sujet avaient tendance à montrer que l'impact du Cr sur la performance avait tendance à diminuer avec l'augmentation de la technicité du terrain ce qui peut être une partie d'explication de nos résultats post-entrainement.

De manière générale, nos résultats tendent à corroborer ceux d'Alcaraz[43] et Beattie[42] qui démontraient une amélioration de l'économie de course et de la puissance musculaire chez des coureurs sur route. Ici, cela peut également se vérifier sur des traileurs. Comme nous l'avions relevé précédemment, il existe encore peu d'étude portant réellement sur le renforcement musculaire et le sportif « Trail ». La plupart des études que nous avions recensées portant sur le sujet, traitaient de sportifs d'endurance comme des cyclistes, triathlètes ou coureurs sur route. Jusqu'ici, nous ne pouvions nous baser que sur ce type d'étude pour justifier l'importance d'un travail complémentaire dissocié pour améliorer les performances directes en course en montée. Le fait de retrouver des résultats similaires dans le cadre de notre étude permet donc, de manière raisonnée, de justifier des mêmes besoins pour cette population spécifique. Nous avions notamment émis l'hypothèse que l'entrainement en musculation, par charge lourde ou de manière explosive permettrait d'améliorer l'économie de course comme il l'avait été démontré précédemment. Cela se vérifie dans le cadre de notre étude.

Enfin, Millet et Sabateur-Pastor [13 7] n'avaient pas pu obtenir de corrélations directes entre amélioration du cout énergétique et performance relative sur des coureurs de Trail. Cette différence de résultats par rapport aux nôtres s'explique notamment par le fait que la population et le type de course étaient différents des nôtres. Dans le cadre de leurs études, les coureurs étaient des ultra-traileurs, sur des distances donc bien plus importantes que celles que nous avons pu expérimenter (pentes parcourues sur 5 minutes maximum, inclues dans des sorties inférieures ou égale à 20km). En revanche, nos résultats corroborent les résultats qu'ils avaient obtenus lors de trail court (27km). L'entrainement en endurance de force pourrait donc être beaucoup plus pertinent pour des sportifs spécialistes de distance courtes à moyennes.

5.2 Limites et perspectives

Nos résultats sont toutefois à mettre en perspective et comportent des limites pour l'étendre à la population générale. Le fait que ce type d'entrainement permet un effet positif sur l'amélioration de la force, grâce à l'amélioration du recrutement neuromusculaire, une meilleure utilisation des fibres de TI [35 45]… n'est plus à remettre en cause grâce aux études précédemment citées. Malgré tout, d'autres paramètres peuvent venir expliquer l'amélioration de la performance de nos athlètes. D'abord l'aspect psychologique qui peut se traduire par la connaissance du parcours à l'avance lors du post-test et donc, il a pu se développer une forme d'anticipation et de stratégisation avec une meilleure gestion de la montée. Le fait de répéter une course de trail identique peut générer un effet de familiarisation, améliorant la performance dès la deuxième tentative. En effet, dans une étude auprès de coureurs expérimentés sur une course de 15,6 km, le temps était significativement plus long lors du premier essai, tandis que les deuxième à quatrième essais montraient une meilleure reproductibilité (temps, MVC, CMJ), démontrant un biais à la première exécution[46]. Ce phénomène doit être soigneusement pris en compte dans la conception expérimentale pour éviter de surestimer l'effet de l'intervention, nous aurions donc pu réaliser une première séance sur l'itinéraire réalisé sans prendre en compte le résultat pour limiter ce biais.

Nous avions pu noter que l'âge de l'athlète peut avoir un impact plus ou moins important sur le gain en force induit par un entrainement en musculation[47]. Dans le cadre de notre étude, ce paramètre a pu impacter les améliorations espérées car notre population, bien qu'elle ait une moyenne d'âge de 35 ans (pas de baisse de gain observé avant environ 40 ans), trois des athlètes avaient plus de 40 ans, dont un avait plus de 50 ans. Comme l'a démontré Walker et al.[48], l'impact de l'entrainement en résistance a pu être réduit à cause de ce paramètre.

La taille de l'échantillon était également très limitée pour permettre de dire qu'il est représentatif de la population de Trail Running actuel. Seul 8 participants sont allés au bout du programme et il y avait une grande diversité des profils. Nous ne comptions que deux femmes, l'ensemble des différentes distances que nous pouvons retrouver dans la pratique était représenté, mais cela de manière aléatoire, ce qui rend très compliqué le fait de cibler ces résultats à un type de coureur en particulier. Nous ne pouvons donc pas vraiment généraliser ces résultats mais plutôt les utiliser comme précurseurs à une étude plus conséquente dans le futur.

Par ailleurs, l'entrainement individuel de nos sujets peut également être un biais à prendre en compte dans l'amélioration des performances. En effet durant les 7 semaines qui ont séparé les deux périodes de test, chaque athlète a réalisé son propre entrainement auquel il a ajouté les séances de renforcement musculaire. Ceci dans le but que le protocole ne soit pas trop invasif. Les programmes étaient assez différents entre chacun et ont pu venir impacter positivement (ex : séances spécifiques, sports croisés…) ou négativement (fatigue dû à une grosse charge d'entrainement, approche compétitive etc…) la performance en post-entrainement.

Dans le cadre du protocole, nous n'avions pas mentionné l'utilisation ou non d'outils techniques (ex : bâtons). Cela peut également être utilisé comme biais relatif, car même si les sujets ne l'ont pas mentionné, une amélioration technique de l'utilisation de bâtons en montée peut venir impacter la performance. Dans le même cadre, un changement de chaussure entre les deux tests peut avoir un impact sur la vitesse en montée (chaussure plus légère, semelle plus adaptée à des pentes rocheuses…). Enfin, sur le plan du matériel, la majorité des athlètes ont réalisé le premier test au début du printemps et le second au cours de l'été. Nous pourrions estimer qu'ils

pouvaient être plus légers lors du second test avec le port de vêtements moins important, rendant donc plus facile la progression (Klughardt et coll[49]).

Enfin, d'autres paramètres peuvent venir impacter les résultats obtenus lors de cette étude tels que la nutrition en amont et pendant la séance d'entrainement, l'hydratation ou encore la programmation de la séance de renforcement au cours du microcycle hebdomadaire d'entrainement pour maximiser les gains.

Pour des recherches futures sur le même sujet, il nous parait important de faire réaliser ce type de protocole à une cohorte plus importante et également plus spécifique. Il pourrait être pertinent d'observer l'impact de ce type d'entrainement chez des jeunes sportifs déjà très entrainés afin de savoir si cette forme d'entrainement peut être intégrée dans un programme à destination de sportifs avec une forte charge de course à pied (volume kilométrique et ascensionnelle importante), dans le but de venir diminuer les charges biomécaniques induites par la course en pente et donc limiter les blessures ou, en tout cas, permettre au corps de mieux accepter les charges d'entrainement.

Egalement, ce protocole nous a permis de répondre à notre hypothèse que l'entrainement en endurance de force est un bon moyen pour améliorer les performances en montée chez des traileurs. Ce type d'entrainement peut donc être intéressant à mettre en place chez des sportifs débutants désirant améliorer leurs vitesses de courses dans le cadre de leur pratique. Ce type d'entrainement pourrait également être intéressant chez des sportifs n'ayant pas les moyens de s'entrainer avec de forts dénivelés à proximité de chez eux (ex : résident en plaine ou avec peu de temps dans la semaine pour se rendre sur ce type de terrain).

“

6 Conclusion

Lors de notre introduction, nous avions pu démontrer l’augmentation exponentielle de l’attrait à la course à pied, et plus particulièrement au Trail Running, lors de ces dernières années. Cela a conduit à une augmentation de la demande sur le plan économique, vestimentaire, évènementiel mais également sur l’entrainement. En effet, même si ce sport prône des vertus récréatives et en lien avec le temps passé dans la nature, une certaine recherche de performance se fait de plus en plus forte. Nous le constatons par l’augmentation de la demande en coaching, la création de club, les prize money lors des courses ainsi que les différentes recherches portant sur l’explication et l’amélioration des performances dans la pratique. Ces dernières ont pu démontrer les différents paramètres qui avaient le plus d’impact sur la performance ainsi que les moments décisifs lors d’une course (cf : la capacité à descendre efficacement). Dans ce contexte, nous avions pu nous demander si l’intérêt de croiser l’entrainement avec du renforcement musculaire dissocié mais sur des composantes spécifiques à la pratique comme l’endurance de force des membres inférieurs pouvaient avoir un impact positif sur la course en montée. Un groupe de traileur a donc réalisé un protocole d’entrainement en renforcement musculaire durant sept semaines, en addition de son programme d’entrainement habituel, et une performance de course en montée a été relevée avant et après l’intervention.

À l’issue de cette expérimentation, nous avons constaté une amélioration significative des performances, avec une diminution relative de 12,3 % du temps nécessaire pour parcourir la distance du pré-test. Ces résultats soutiennent l’hypothèse selon laquelle un cycle d’endurance de force constitue une stratégie pertinente pour optimiser la performance en course en montée, et plus largement en trail running. Néanmoins, la portée de ces conclusions reste limitée par la taille restreinte de l’échantillon et les conditions expérimentales. Des travaux complémentaires, réalisés sur des cohortes plus importantes et avec un protocole mieux standardisé, seraient nécessaires pour confirmer l’intérêt de l’intégration systématique de l’entraînement en résistance dans la préparation des traileurs.

7 Bibliographie

1. LE-TRAIL-UN-PHENOMENE-EN-PLEINE-EXPANSION.pdf. Accessed April 14, 2025. https://pro.auvergnerhonealpes-tourisme.com/wp-content/uploads/2020/12/LE-TRAIL-UN-PHENOMENE-EN-PLEINE-EXPANSION.pdf
2. Pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques, ed. *Enjeux et perspectives des filières industrielles de la valorisation énergétique du sous-sol profond: rapport final*. Pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques; 2016.
3. Reynaud V. Le cyclisme comme sport alternatif. *Rev Podol*. 2022;18(104):18-19. doi:10.1016/j.revpod.2022.02.007
4. MEMOIRE-DU-Trail-Thibault-Duchesne.pdf. Accessed April 15, 2025. https://du-trail-running.univ-grenoble-alpes.fr/medias/2022/07/MEMOIRE-DU-Trail-Thibault-Duchesne.pdf
5. Gindre C, Lussiana T, Hebert-Losier K, Mourot L. Aerial and Terrestrial Patterns: A Novel Approach to Analyzing Human Running. *Int J Sports Med*. 2016;37(1):25-29. doi:10.1055/s-0035-1555931
6. ITRA Discover Trail Running. Accessed April 17, 2025. https://itra.run/About/DiscoverTrailRunning
7. Pastor FS, Besson T, Varesco G, et al. Performance Determinants in Trail-Running Races of Different Distances. *Int J Sports Physiol Perform*. 2022;17(6):844-851.
8. Bassett DR, Howley ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32(1):70-84. doi:10.1097/00005768-200001000-00012
9. McArdle WD. *Exercise Physiology : Nutrition, Energy, and Human Performance*. Philadelphia : Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins; 2015. Accessed May 20, 2025. http://archive.org/details/exercisephysiolo0000mcar_r8y3
10. di Prampero PE, Atchou G, Brückner JC, Moia C. The energetics of endurance running. *Eur J Appl Physiol*. 1986;55(3):259-266. doi:10.1007/BF02343797
11. Xu F, Rhodes EC. Oxygen uptake kinetics during exercise. *Sports Med Auckl NZ*. 1999;27(5):313-327. doi:10.2165/00007256-199927050-00003
12. Butts NK, Henry BA, Mclean D. Correlations between VO2max and performance times of recreational triathletes. *J Sports Med Phys Fitness*. 1991;31(3):339-344.
13. Sabater-Pastor F, Tomazin K, Millet GP, Verney J, Féasson L, Millet GY. VO2max and Velocity at VO2max Play a Role in Ultradistance Trail-Running Performance. *Int J Sports Physiol Perform*. 2023;18(3):300-305.
14. Waal SJ de, Gomez-Ezeiza J, Venter RE, Lamberts RP. Physiological Indicators of Trail Running Performance: A Systematic Review. Published online January 28, 2021. doi:10.1123/ijspp.2020-0812
15. Crettaz J. Comparaison de méthodes de prédiction pour des performances en course de montagne. Published online 2019. Accessed May 21, 2025. https://folia.unifr.ch/global/documents/308207
16. Paavolainen L, Nummela A, Rusko H. Muscle power factors and VO_{2max} as determinants of horizontal and uphill running performance. *Scand J Med Sci Sports*. 2000;10(5):286-291. doi:10.1034/j.1600-0838.2000.010005286.x
17. Lember LM, Di Virgilio TG, Brown EM, Rodriguez-Sanchez N. Hill Runner's Physiology, Performance and Nutrition: A Descriptive Study. *Front Sports Act Living*. 2021;3:676212. doi:10.3389/fspor.2021.676212
18. Lemire M, Remetter R, Hureau TJ, et al. Energy Cost of Running in Well-Trained Athletes: Toward Slope-Dependent Factors. *Int J Sports Physiol Perform*. 2022;17(3):423-431. doi:10.1123/ijspp.2021-0047

19. Minetti AE, Moia C, Roi GS, Susta D, Ferretti G. Energy cost of walking and running at extreme uphill and downhill slopes. *J Appl Physiol*. 2002;93(3):1039-1046. doi:10.1152/japplphysiol.01177.2001

20. Balducci P. LA PLACE DU COUT ENERGETIQUE DANS LES FACTEURS DE PERFORMANCE EN TRAIL RUNNING. Published online 2016.

21. Billat V, Lepretre PM, Heugas AM, Laurence MH, Salim D, Koralsztein JP. Training and bioenergetic characteristics in elite male and female Kenyan runners. *Med Sci Sports Exerc*. 2003;35(2):297-304; discussion 305-306. doi:10.1249/01.MSS.0000053556.59992.A9

22. Sabater Pastor F, Varesco G, Besson T, Koral J, Feasson L, Millet GY. Degradation of energy cost with fatigue induced by trail running: effect of distance. *Eur J Appl Physiol*. 2021;121(6):1665-1675. doi:10.1007/s00421-021-04624-5

23. Puigarnau S, Fernàndez A, Obis E, et al. Metabolomics reveals that fittest trail runners show a better adaptation of bioenergetic pathways. *J Sci Med Sport*. 2022;25(5):425-431. doi:10.1016/j.jsams.2021.12.006

24. Balducci P, Clémençon M, Trama R, Blache Y, Hautier C. Performance Factors in a Mountain Ultramarathon. *Int J Sports Med*. 2017;38(11):819-826.

25. Pastor FS, Besson T, Berthet M, et al. Elite Road vs. Trail Runners: Comparing Economy, Biomechanics, Strength, and Power. *J Strength Cond Res*. 2023;37(1):181-186.

26. Besson T, Pastor FS, Varesco G, et al. Elite vs. Experienced Male and Female Trail Runners: Comparing Running Economy, Biomechanics, Strength, and Power. *J Strength Cond Res*. 2023;37(7):1470-1478.

27. Fornasiero A, Savoldelli ,Aldo, Fruet ,Damiano, Boccia ,Gennaro, Pellegrini ,Barbara, and Schena F. Physiological intensity profile, exercise load and performance predictors of a 65-km mountain ultra-marathon. *J Sports Sci*. 2018;36(11):1287-1295. doi:10.1080/02640414.2017.1374707

28. Alvero-Cruz JR, Parent Mathias V, Garcia Romero J, et al. Prediction of Performance in a Short Trail Running Race: The Role of Body Composition. *Front Physiol*. 2019;10. doi:10.3389/fphys.2019.01306

29. de Waal SJ, Gomez-Ezeiza J, Venter RE, Lamberts RP. Physiological Indicators of Trail Running Performance: A Systematic Review. *Int J Sports Physiol Perform*. 2021;16(3):325-332. doi:10.1123/ijspp.2020-0812

30. Hoffman MD, Lebus DK, Ganong AC, Casazza GA, Van Loan M. Body composition of 161-km ultramarathoners. *Int J Sports Med*. 2010;31(2):106-109. doi:10.1055/s-0029-1241863

31. TAILLE ET COMPOSITION CORPORELLE DES COUREURS D'ULTRA-TRAIL : DIFFÉRENCES ENTRE GROUPES RÉCRÉATIFS ET COMPÉTITIFS | Physiothérapie mondiale. Accessed May 29, 2025. https://world.physio/congress-proceeding/body-size-and-composition-ultra-trail-runners-differences-between-recreational

32. Hughes DC, Ellefsen S, Baar K. Adaptations to Endurance and Strength Training. *Cold Spring Harb Perspect Med*. 2018;8(6):a029769. doi:10.1101/cshperspect.a029769

33. Myosin heavy chain IIX overshoot in human skeletal muscle | Request PDF. *ResearchGate*. Accessed May 31, 2025. https://www.researchgate.net/publication/12436085_Myosin_heavy_chain_IIX_overshoot_in_human_skeletal_muscle

34. (PDF) Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: Specificity of repetition maximum training zones. *ResearchGate*. doi:10.1007/s00421-002-0681-6

35. Schoenfeld BJ. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J Strength Cond Res*. 2010;24(10):2857-2872. doi:10.1519/JSC.0b013e3181e840f3

36. Campos GER, Luecke TJ, Wendeln HK, et al. Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *Eur J Appl Physiol*. 2002;88(1-2):50-60. doi:10.1007/s00421-002-0681-6

37. Østerås H, Hammer S. The effectiveness of a pragmatic worksite physical activity program on maximal oxygen consumption and the physical activity level in healthy people. *J Bodyw Mov Ther*. 2006;10(1):51-57. doi:10.1016/j.jbmt.2005.02.003

38. Prieto-González P, Sedlacek J. Effects of Running-Specific Strength Training, Endurance Training, and Concurrent Training on Recreational Endurance Athletes' Performance and Selected Anthropometric Parameters. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(17):10773. doi:10.3390/ijerph191710773

39. Llanos-Lagos C, Ramirez-Campillo R, Moran J, Sáez de Villarreal E. The Effect of Strength Training Methods on Middle-Distance and Long-Distance Runners' Athletic Performance: A Systematic Review with Meta-analysis. *Sports Med Auckl Nz*. 2024;54(7):1801-1833. doi:10.1007/s40279-024-02018-z

40. Mikkola J, Vesterinen V, Taipale R, Capostagno B, Häkkinen K, Nummela A. Effect of resistance training regimens on treadmill running and neuromuscular performance in recreational endurance runners. *J Sports Sci*. 2011;29(13):1359-1371. doi:10.1080/02640414.2011.589467

41. Yamamoto LM, Lopez RM, Klau JF, Casa DJ, Kraemer WJ, Maresh CM. The effects of resistance training on endurance distance running performance among highly trained runners: a systematic review. *J Strength Cond Res*. 2008;22(6):2036-2044. doi:10.1519/JSC.0b013e318185f2f0

42. Beattie K, Kenny IC, Lyons M, Carson BP. The effect of strength training on performance in endurance athletes. *Sports Med Auckl NZ*. 2014;44(6):845-865. doi:10.1007/s40279-014-0157-y

43. Alcaraz-Ibañez M, Rodríguez-Pérez M. Effects of resistance training on performance in previously trained endurance runners: A systematic review. *J Sports Sci*. 2018;36(6):613-629. doi:10.1080/02640414.2017.1326618

44. Llanos-Lagos C, Ramirez-Campillo R, Moran J, Sáez de Villarreal E. Effect of Strength Training Programs in Middle- and Long-Distance Runners' Economy at Different Running Speeds: A Systematic Review with Meta-analysis. *Sports Med Auckl NZ*. 2024;54(4):895-932. doi:10.1007/s40279-023-01978-y

45. Plotkin DL, Roberts MD, Haun CT, Schoenfeld BJ. Muscle Fiber Type Transitions with Exercise Training: Shifting Perspectives. *Sports*. 2021;9(9):127. doi:10.3390/sports9090127

46. Easthope CS, Nosaka K, Caillaud C, Vercruyssen F, Louis J, Brisswalter J. Reproducibility of performance and fatigue in trail running. *J Sci Med Sport*. 2014;17(2):207-211. doi:10.1016/j.jsams.2013.03.009

47. Siddique U, Frazer AK, Avela J, et al. Determining the cortical, spinal and muscular adaptations to strength-training in older adults: A systematic review and meta-analysis. *Ageing Res Rev*. 2022;82:101746. doi:10.1016/j.arr.2022.101746

48. Walker S, Häkkinen K. Similar increases in strength after short-term resistance training due to different neuromuscular adaptations in young and older men. *J Strength Cond Res*. 2014;28(11):3041-3048. doi:10.1519/JSC.0000000000000381

49. Klughardt S, Schaar B. Performance with an additional load: formula-based predictions for controlling the load intensity when carrying backpacks. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 2025;17(1):70. doi:10.1186/s13102-025-01111-8

"

8 Annexes

Annexe 1 : Séance Endurance de Force en salle

Endurance de Force

Protocole DU TRAIL 2025

AGILE

Préparation circuit bas — Format Circuit par série

	Tuto	Type	Charge	Tempo	Récup	Remarques	Série 1	Série 2	Série 3	Série 4	Série 5
P1 Prière gobelet	4FzFLazXXGgosJ	Séquences	Léger		Talk test		20 sec	20 sec	20 sec		
P2 Pont actif	HXWUrjvOWNpig						15 sec	15 sec	15 sec		
P3 Marche Crabe			élastique				30 sec	30 sec	30 sec		

Remarques : possibilite de remplacer par footing 15 min ou ergo

Corps de Séance — Endurance de Force progressive

	Tuto	Séance	Charge	Tempo	Récup	Remarques	Série 1	Série 2	Série 3	Série 4	Série 5
A1 Squat (demi, 45°)	https://drive.goo	1 & 2	12 RMT	3 0 1 0	1'30 à 2'	Séquences	10	10	Isomax	Isomax	
A2 Fente arrière	https://drive.goo		12 RMT	1 0 1 0	1'30 à 2'		8-8	8-8	Isomax		
		3 & 4 & 5					10	10	12	Isomax	Isomax
							10-10	10-10	Isomax		
		6 & 7					12	12	12	Isomax	Isomax
							10-10	10-10	10-10	Isomax	

Remarques : Isomax = Passer le maximum de temps possible en position statique lors du pic de contraction (Ex: En bas de la position squat)

Complémentaire / Ciblé — Endurance de Force & Unilatéral

	Tuto	Séance	Charge	Tempo	Récup	Remarques	Série 1	Série 2	Série 3	Série 4	Série 5
B1 Leg extension 1 jambe	https://drive.goo	1 à 7	20 RMT	1 3 3 0	1'15 à 1'30	Séquences	8	10	8		
B3 SDT Roumain	XqUbBa8Sulvdyx		10 RMT		1'15 à 1'30		8-8	8-8	8-8		
B4 Elevation mollet 1 jambe	https://drive.goo		12 RMT	1 3 3 0	1'15 à 1'30		10-10	Isomax	10-10		

Remarques : Bloquer la position 3 secondes en haut du mouvement pour Leg Extension et Elevation mollet et retenir le retour (Tempo 1 3 3 0)

Core training niveau 1 — Format Circuit par série

	Tuto	Séance	Charge	Tempo	Récup	Remarques	Série 1	Série 2	Série 3	Série 4	Série 5
CO1 Planche frontale	k_02Rua82u-3-	1 à 3	Léger		Talk test	Iso	45 sec	45 sec	45 sec		
CO2 Planche latérale	aVwb_xselR1er						30 sec / coté	30 sec / coté	30 sec / coté		
CO3 Bouclier Iranien	https://drive.goo						30 sec	30 sec	30 sec		

Remarques : l'intention est d'être indéformable. Enchainer CO1, CO2 et CO3 sans pause, et les series avec le moins de pause possible.

Core training niveau 2 — Format Circuit par série

	Tuto	Séance	Charge	Tempo	Récup	Remarques	Série 1	Série 2	Série 3	Série 4	Série 5
CO1 Tour du bassin	https://drive.goo	4 à 7	Léger		Talk test		45 sec	45 sec	45 sec		
CO2 TRX Fusée	https://drive.goo						30 sec	30 sec	30 sec		
CO3 KB Swing 1 main	https://drive.goo						5 - 5	5 - 5	5 - 5		

Remarques : l'intention est d'être indéformable. Enchainer CO1, CO2 et CO3 sans pause, et les séries avec le moins de pause possible.

Annexe 2 : Document de présentation envoyé aux athlètes

Protocole

Endurance de Force et Performance en montée

Organisation du protocole

Le cycle d'endurance de force s'étend sur 7 semaines, à raison d'une séance de renforcement musculaire d'une durée de 1 heure par semaine. Cette séance vient s'ajouter à la charge d'entrainement du sujet ou peut remplacer sa routine hebdomadaire de renforcement musculaire / prévention, mais ne peut pas remplacer une séance de course à pied. Un test est réalisé avant le début du cycle et la semaine qui suit la fin du cycle (évaluation pré et post intervention).

Evaluation Pré et Post intervention

L'évaluation initiale consiste à réaliser une montée de pente **égale ou supérieur à 10%** durant **5 minutes, le plus vite possible**. Cette pente peut être insérer sur une sortie course à pied à partir du moment ou cette séance sera réalisé à l'identique à l'évaluation de fin de protocole (sur le plan de l'itinéraire et l'intensité visé). Nous prendrons en compte la distance parcourue. A la fin du protocole, le sujet réalisera cette même montée le plus vite possible pour atteindre la distance parcourue lors du premier test.

Note : Une version Excel sera envoyé aux sujets afin de bénéficier des liens explicatifs des exercices.

Sélection des sportifs

Notre population sera un groupe de pratiquant de Trail, ayant accès à une salle de musculation. Le sexe n'est pas un critère d'exclusion et nous centrons notre population sur un âge minimum de 20 ans et maximum de 40 ans. L'expérience dans la pratique du Trail et du renforcement musculaire / musculation n'est pas un facteur d'exclusion mais il sera quand même demandé dans le questionnaire de sélection afin d'amener des éléments de discussion de nos résultats.

Annexe 3 : Questionnaire de recrutement au protocole

Protocole Endurance de Force Trail

Ma recherche porte sur l'impact d'un protocole d'endurance de force en musculation sur la performance de la course en montée en Trail. Pour participer à cette étude, quelques informations personnelles sont nécessaires. Merci de répondre à ce formulaire.

* Indique une question obligatoire

Nom/Prénom *

Votre réponse

Age *

Votre réponse

Expérience dans la pratique du trail

	Inférieur à 1 ans	1 à 3 ans	3 à 5 ans	Supérieur à 5 ans
Expérience	○	○	○	○

Votre distance favorite en compétition *

- ○ Trail Découverte (Inférieur à 25km)
- ○ Trail Court (25 à 50km)
- ○ Trail Moyen (50km à 80km)
- ○ Trail Long et Ultra (Supérieur à 80km)
- ○ Autre : _____

Combien de séances dédiées à la CAP/Trail réalisez vous par semaine?

	1	2	3	4 ou plus
Nombre de séance	○	○	○	○

Moyenne de vos séances en volume

	Inférieur à 45'	45' à 1H15	Supérieur à 1H15
Temps de séance moyen	○	○	○

Quel est votre dénivelé hebdomadaire moyen ?

	Inférieur à 500	Entre 500 et 1000m	Entre 1000 et 2000m	Supérieur à 2000m
Dénivelé	○	○	○	○

Expérience dans la pratique de la musculation / renforcement musculaire

	Inférieur à 1 ans	1 à 3 ans	3 à 5 ans	Supérieur à 5 ans
Expérience	○	○	○	○

Combien de séance(s)/semaine?

	1	2	3 ou plus
Nombre de séance	○	○	○

Pratiquez vous des sports croisés en complément de votre activité *

- ☐ Oui
- ☐ Non

Si oui le ou lesquelles *

Votre réponse

Avez vous des informations importantes à rajouter?

Votre réponse

Envoyer

Effacer le formulaire