

# **CAPACITÉS PHYSIQUES DE FORCE EN VTT ENDURO DÉTERMINANTES POUR LA PERFORMANCE**

## **CAPACIDADES FISICAS DE FUERZA EN BTT MODALIDAD ENDURO DETERMINANTES PARA EL RENDIMIENTO**

**Autora:** Pradas Abadía, Lucía

**Dirección:** Alejandro Gómez-Bruton

**Fecha de presentación:** 8 de Septiembre 2022

## RÉSUMÉ

**Titre:** Capacités physiques de force en VTT Enduro déterminantes pour la performance

**Résumé:** Le vélo tout terrain ou VTT, est un sport qui est devenu populaire au cours des dernières années et dispose de différentes modalités. La modalité Enduro consiste à réaliser des ascensions et des descentes sur tous les types de terrains, étant chronométrés uniquement les tronçons de descente. Les besoins physiologiques dans ce sport sont exigeants, car il est nécessaire d'une grande capacité aérobie mais d'un autre côté, il a besoin d'explosivité et de force.

La popularité rapide, le manque de connaissances sur les besoins physiologiques et les déterminants de la performance ont été les moteurs de cette étude, dont l'hypothèse est que les capacités physiques liées à la force des membres supérieurs et inférieurs sont liées au rendement. Les objectifs sont décrits les capacités physiques liées à la force dans le mode Enduro et déterminer leur importance dans la performance

**Méthodes:** C'est une étude transversale, avec 11 pilotes âgés de 14 à 31 ans, 5 du groupe VTT de Coupe du Monde (EWS) et 6 du groupe Coupe de France (CDF). Ils ont subi un test de contraction maximale et d'endurance. Avec le logiciel Jamovi les tests statistiques ont été réalisés; Shapiro Wilk, test T-student d'échantillons indépendants, corrélation des variables et régression linéaire.

**Résultats:** Il y a une association entre la  $CMV_{handgrip}$ , droite et gauche, et la performance. Également, il y a une association entre l' $EndF_{gauche}$  gauche et la performance. Par contre, aucune relation n'a été trouvée entre  $CMV_{leg}$ , et RDF avec la performance.

**Conclusions:** Il y a une relation positive entre les capacités physiques liées à la force des membres supérieurs et la performance. Par ailleurs, la force maximale des membres inférieurs n'a pas fourni de données pertinentes liées aux performances.

**Mots-clés:** "Athletic Performance"[Mesh] "Bicycling"[Mesh] "Hand Strength"[Mesh] "Muscle Strength"[Mesh]

## RÉSUMÉ EN ESPAGNOL

**Introducción:** El ciclismo todo terreno conocido como BTT, ha ganado popularidad en los últimos años y cuenta con diferentes modalidades. La enduro consiste en realizar ascensos y descensos por todo tipo de terrenos, siendo cronometrados únicamente los tramos de descenso. Las necesidades fisiológicas en este deporte son exigentes, se necesita una gran capacidad aeróbica, junto con explosividad y fuerza para poder hacer frente a las variaciones de desnivel repentinas mediante esfuerzos sub-máximos y/o máximos intermitentes.

La rápida popularidad y el déficit de conocimiento sobre las necesidades fisiológicas y los determinantes del rendimiento, han sido los propulsores de este estudio, cuya hipótesis es que las capacidades físicas ligadas a la fuerza en extremidades superiores e inferiores presentan relación con el rendimiento. Los objetivos que se han establecido son describir las capacidades físicas relacionadas a la fuerza en esta modalidad y determinar su importancia con el rendimiento.

**Métodos:** Es un estudio transversal, con 11 pilotos de entre 14 y 31 años. 5 del grupo Copa del Mundo (EWS) y 6 del grupo Copa de Francia (CDF). Se realizó un test de fuerza máxima voluntaria isométrica tanto en extremidades superiores como inferiores y un test de resistencia muscular. A través del software Jamovi se realizaron los test estadísticos Shaphiro Wilk, la prueba t-student de muestras independientes, correlación de variables y regresión lineal por bloques.

**Resultados:** Se ha encontrado una asociación entre la fuerza máxima isométrica de prensión, sobre todo en el lado izquierdo, y el rendimiento. También se ha encontrado una asociación entre la resistencia muscular del brazo izquierdo y el rendimiento.

**Conclusión:** Las capacidades físicas de miembros superior ligadas a la fuerza están relacionadas con el rendimiento. Sin embargo, no se han encontrado relaciones entre las variables ligadas a la fuerza del miembro inferior y el rendimiento.

**Palabras clave:** "Athletic Performance"[Mesh] "Bicycling"[Mesh] "Hand Strength"[Mesh] "Muscle Strength"[Mesh]

## **RÉSUMÉ DÉTAILLÉ EN ESPAGNOL**

Con el objetivo de facilitar la comprensión de este trabajo al tribunal, se ha llevado a cabo la realización de un resumen extendido en español, con una extensión mínima a 1000 palabras, que complementa el estudio realizado en francés.

## **INTRODUCCIÓN**

El ciclismo todo terreno conocido como BTT, ha ganado popularidad en los últimos años y cuenta con diferentes modalidades. Centrándonos en la enduro, se caracteriza por unas necesidades fisiológicas exigentes. Requiere de una gran capacidad aeróbica, junto con explosividad y fuerza para poder hacer frente a las variaciones de desnivel repentinas mediante esfuerzos sub-máximos y/o máximos intermitentes.

La rápida popularidad y el déficit de conocimiento sobre las necesidades fisiológicas y los determinantes del rendimiento, han sido los propulsores de este estudio, cuya hipótesis es que las capacidades físicas ligadas a la fuerza en extremidades superiores e inferiores presentan relación con el rendimiento. Los objetivos que se han establecido son describir las capacidades físicas relacionadas a la fuerza en esta modalidad y determinar su importancia con el rendimiento.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

Se trata de un estudio transversal, realizado por la universidad de Pays de l'Audor de Pau en el campus de Tarbes, en conjunto con la Universidad de Zaragoza. Esta investigación forma parte de un proyecto más grande que cuenta con evaluaciones físicas, psicológicas y cognitivas. Se cuenta con 11 sujetos, 5 pilotos del grupo Coupe du Monde (EWS) y 6 pilotos del grupo Coupe de France (CDF). Hay 3 mujeres, una del grupo EWS y 2 del grupo CDF. La edad varía de los 14 a los 31 años, situándose la media en 18,5 años, por lo que los pilotos forman parte de diferentes categorías, desde juvenil hasta adulto, tanto femenina como masculina. Las pruebas de condición física tuvieron lugar del 8 al 17 de 2021, en el centro CAPAS-Cité de Tarbes. Se realizó un test de fuerza máxima voluntaria isométrica de cuádriceps con el que se obtuvo también la tasa de desarrollo de la fuerza (RDF); test de fuerza de prensión máxima voluntaria isométrica y un test de resistencia muscular de prensión. En el análisis estadístico se realizó el test Shaphiro Wilk, la prueba T-student para muestras independientes, correlaciones y regresiones lineales por bloques.

## **RESULTADOS**

La prueba T-student para muestras independientes ha demostrado que no hay diferencias significativas entre los dos grupos (EWS vs CDF; tabla 1 y 2). Los test se han realizado teniendo en cuenta que la variable dependiente era la puntuación total de la clasificación general puesto

que esta clasificación indica quién es el ganador y por ello, el mejor atleta. Pero debido a que el número de carreras realizadas varía en los participantes, se ha tenido en cuenta también otra variable dividiendo los puntos obtenidos entre las carreras realizadas para el análisis de correlaciones.

Se observa que con la variable de puntos entre el total de carreras existen tres variables con valores significativos (tabla 3):  $CMV_{handgrip\ derecha} r=0.776$ ,  $p=0.40$  (0.055 – 0.965);  $CMV_{handgrip\ izquierda} r=0.863$ ,  $p=0.012$  (0.315 – 0.980) y  $EndF_{izquierda} r=0.784$ ,  $p=0.037$  (0.076 – 0.967).

Por otra parte, la variable de la clasificación general, muestra una relación estadísticamente significativa más fuerte pero con solo dos variables:  $CMV_{handgrip\ derecha} r=0.847$   $p=0.016$  (0.258 – 0.977) y  $CMV_{handgrip\ izquierda} r=0.934$   $p=0.002$  (0.611 – 0.990).

En la regresión lineal, se incluyen el sexo y la edad en el primer bloque y la variable de rendimiento en el segundo. Con la edad o el género del piloto, se puede llegar a explicar un 38% del rendimiento  $r^2=0.381$  (tabla 4). Por otra parte, incluyendo en el siguiente bloque la variable  $CMV_{handgrip\ izquierda}$ , se explica casi un 93% del rendimiento, obteniendo un valor de  $r^2=0.926$ . Al contrario, no se han encontrado relaciones significativas con las variables de extremidad inferior.

## DISCUSIÓN

Con la realización de este estudio se busca determinar las capacidades físicas ligadas a la fuerza dentro de la modalidad enduro, las cuales muestran una relación con el rendimiento.

En nuestros resultados, se ha encontrado una relación entre las variables de fuerza de extremidad superior y el rendimiento, siendo esta relación más fuerte con el brazo izquierdo.

En la literatura se encuentran resultados similares. Numerosos estudios incluyen como predictores del rendimiento, dentro del ciclismo de montaña, la fuerza de prensión como un potente determinante. También se encuentra una desigualdad entre la fuerza del brazo derecho e izquierdo, siendo el izquierdo superior, lo que concuerda con los resultados de nuestro estudio. Es necesario realizar más investigaciones sobre este tema ya que se podrían encontrar sesgos debido a la posición de los frenos o las indicaciones de los entrenadores sobre el frenado. Hay autores que añaden otro factor a tener en cuenta como la vibración, la cual va ligada a la fuerza de la extremidad tanto superior como inferior y afecta al rendimiento.

En cuanto a la extremidad inferior, existe controversia. En nuestro estudio no se ha encontrado una relación entre la fuerza máxima isométrica y el rendimiento, lo que puede deberse a los test realizados para la valoración ya que son todos isométricos. Si revisamos la literatura, hay estudios que defienden que en etapas de montaña tener una baja masa corporal está relacionado con el rendimiento. Al contrario, otras investigaciones explican que el grosor muscular y la economía en la bicicleta, ligados al aumento de la fuerza máxima y la tasa de desarrollo de fuerza, presentan una correlación positiva con el rendimiento en el ciclismo.

Son necesarias investigaciones futuras sobre determinantes de fuerza de miembro inferior dentro de la modalidad enduro y su relación con el rendimiento.

### **CONCLUSIÓN**

Se cumple que las capacidades físicas de la extremidad superior ligadas a la fuerza están relacionadas con el rendimiento. Al contrario, no se han encontrado relaciones entre las variables ligadas a la fuerza del miembro inferior y el rendimiento.

**INDICE**

<b>ABREVIATIONS</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>2</b>
<b>Objectifs</b>	<b>3</b>
<b>Hypothèse</b>	<b>3</b>
<b>MATÉRIEL ET MÉTHODES</b>	<b>3</b>
<b>Comité d'éthique</b>	<b>4</b>
<b>Participants</b>	<b>4</b>
<b>Test de condition physique</b>	<b>4</b>
Test de la force maximale volontaire isométrique des quadriceps	<b>4</b>
Test de la force de serrage maximale volontaire isométrique	<b>4</b>
Test d'endurance de force de serrage	<b>5</b>
<b>Analyses statistiques</b>	<b>5</b>
<b>RÉSULTATS</b>	<b>6</b>
<b>DISCUSSION</b>	<b>10</b>
<b>LIMITATIONS</b>	<b>13</b>
<b>CONCLUSIONS</b>	<b>13</b>
<b>ANNEXES</b>	<b>14</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>15</b>

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

VTT: Vélo tout terrain.

XCo: Modalité Cross Country de VTT.

DH: Modalité Down Hill de VTT.

UCI: Union Cycliste Internationale.

EWS: Group de VTT Coupe du Monde.

CDF: Group de VTT Coupe de France.

CMV<sub>leg</sub> : Contraction Maximal Volontaire Isométrique de jambes.

RDF: Taux de Développement de la Force ou Rate of Force Development en anglais.

CMV<sub>handgrip</sub> : Contraction Maximal Volontaire Isométrique de serrage.

EndF: Endurance de la Force de serrage.

S: Secondes

N: Newtons

## INTRODUCTION

Le vélo de montagne, vélo tout terrain ou VTT, est un sport qui a gagné en popularité ces dernières années. Contrairement au cyclisme sur route, les participants parcourent différents terrains à vélo. À l'intérieur du VTT, on distingue plusieurs disciplines. Traditionnellement, on trouve le Cross Country (XCo) et la Descente (DH) (Palmer et al., 2021), et chaque discipline a ses spécificités en terme de temps de course et de profil.

En Cross Country, les participants parcourent à vélo des terrains variables allant des chemins de gravier et forestiers aux champs avec des élévations et des descentes significatives dans son format olympique (XCo), un parcours de 4 à 6km est répété de façon à ce que l'épreuve dure de 80 à 100 minutes, en fonction des catégories (UCI, 2022). L'analyse des déterminants physiologiques de cette discipline incluent des déterminants de force, de puissance et d'endurance musculaire. Ainsi, Bejder et al. (2019) montrent la contribution en premier lieu de la  $VO_2$  maximale ( $VO_2$  max), puis de la résistance à la fatigue, et finalement, pour une moindre part, de la force maximale des quadriceps. La force maximale de préhension apparaît également comme un facteur déterminant des performances dans certaines études (Novak et al., 2014).

En Descente (DH), les participants sont transportés vers les zones de plus grande hauteur, d'où ils effectuent la descente contre la montre en suivant un parcours descendant constitué de virages et d'obstacles variés, naturels et faits par l'homme, avec une variation de tronçons techniques et de tronçons rapides, sur différents terrains. La durée de l'épreuve varie de 2 à 5 minutes pour une longueur maximale de parcours de 3500m (UCI, 2022).

L'étude de Chidley et al. (2015) indique que les pilotes identifient la capacité aérobie, l'endurance de préhension, la puissance anaérobie, l'habileté et la confiance en soi comme des facteurs de performance potentiels. De plus, ils montrent que la performance en DH dépend principalement de l'habileté comme premier prédicteur, et de l'endurance de préhension comme second prédicteur.

Avec le développement du VTT, de nouvelles modalités ont émergé comme l'enduro qui résulte de la combinaison des deux précédentes disciplines. Ainsi, il s'agit de plusieurs spéciales descendantes chronométrées, liées par des ascensions non chronométrées, mais à réaliser dans un temps restreint. En outre, si l'on suit les normes d'Enduro World Series, il est indiqué que les spéciales chronométrées comprennent un maximum de 20% en montée et 80% en descente, avec des terrains semblables à ceux de la DH (UCI, 2022). Les compétitions sont réparties sur un minimum de 2 jours pour les EWS et sur 2 jours exactement pour les Coupés de France, avec un maximum de dénivelé positif de 2000m par jour et de 3200m pour 2 jours de course. Le temps moyen passé sur le vélo est aux alentours de 6 heures 40 minutes par jour, avec un temps cumulé des spéciales allant de 20 à 40 minutes (EWS, 2022). Ainsi, c'est possible de penser qu'il faudra les caractéristiques de deux disciplines précédentes, avec une prédominance de celle de la Descente (Kirkwood et al. 2017).

Considérant que l'Enduro est une combinaison des deux précédentes disciplines, si l'on compare les caractéristiques des pilotes en fonction de la discipline, on constate que les athlètes de XCo, ont une plus grande capacité aérobie et sont en mesure de produire de la puissance sur les périodes de plus de 15 secondes, tandis que les athlètes pratiquant la DH, sont en mesure de produire plus de puissance sur des intervalles de moins de 15 secondes, donc ils sont plus explosifs (Baron, 2001; Novak et Dascombe, 2015; Stapelfeldt et al., 2004, cités par Kirkwood et al., 2017). Les pilotes d'Enduro devraient avoir des profils à l'intersection de ces 2 disciplines.

Malgré la popularité rapide de l'Enduro et le grand nombre de sportifs de ce sport, on constate aujourd'hui un déficit de connaissances sur les caractéristiques physiologiques et les déterminants de la performance dans ce type de course.

Pour cette raison, il a été décidé de réaliser cette étude dont les objectifs sont:

- Les capacités physiques liées à la force dans le mode Enduro.
- Comparer les capacités ou les besoins avec ceux des modes Cross Country et Down Hill.
- Déterminer leur importance dans la performance.

#### **Hypothèse:**

- Comme pour le XCo, la force maximale des membres inférieurs et supérieurs devraient être en relation avec la performance.
- Comme pour la DH, l'endurance de force des membres supérieurs devrait être en relation avec la performance.

## **MATÉRIEL ET MÉTHODES**

Il s'agit d'une étude transversale, réalisée par l'université des Pays de l'adour de Pau sur le Campus de Tarbes. Ainsi, pour réaliser l'étude, des informations ont été recueillies sur le classement général de la compétition Enduro Series – Coupe de France d'Enduro VTT 2021. Le nombre total de courses du classement général a été 8 courses qui ont eu lieu différents jours.

Le projet principal comporte l'évaluation des capacités tant physiques: capacité aérobie, anaérobie et explosivité; comme capacités cognitives, parmi lesquelles ont été évaluées la réactivité visuelle, les caractéristiques de la personnalité, les sensations émotionnelles de la compétition et les stratégies mentales.

Ce projet se concentre sur les facteurs musculaires, liés à la force, des membres inférieurs et supérieurs.

## COMITÉ D'ÉTHIQUE

Pour réaliser cette étude, aucun comité d'éthique n'a été réalisé dont les principes établis par la déclaration d'Helsinki ont été suivis.

## PARTICIPANTS

Il y a des participants de deux groupes de VTT Enduro. Le groupe 1, c'est le groupe Coupe du Monde (EWS), qui compte avec 6 pilotes. Le groupe 2 est le groupe Coupé De France (CDF), qui compte avec 12 pilotes. L'âge des participants varie de 14 à 31 ans, avec un âge moyen de 18,5ans. Ils se trouvent entre les catégories d'adultes masculin et féminin et juvénile.

Pour cette étude, des données ont été recueillies auprès de 11 sujets au total, 5 participants du premier groupe et 6 participants du second. Au total, trois femmes ont participé à l'étude, dont une du premier groupe et deux du second.

## TEST DE CONDITION PHYSIQUE

Afin d'évaluer les capacités physiques liées à la force, différents tests ont été réalisés. Cest tests ont été réalisés au centre CAPAS-Cité, avec un médecin et un participant au projet. Tous les tests ont eu lieu du 8 au 17 décembre 2021.

### **Test de la force maximale volontaire isométrique des quadriceps**

Il y a une chaise instrumentée (LegControl, Matsport Training, Ecole-Valentin, France) dans laquelle les participants sont assis avec une flexion du genou de 90°. Avant le test, les pilotes effectuent des contractions isométriques sous-maximes et après cela, ils effectuent trois contractions isométriques maximales volontaire ( $CMV_{leg}$ ), vigoureusement et rapidement pendant un minimum de 3 secondes. Entre chaque effort, il y a une minute de récupération. Pendant qu'ils effectuent les trois tests, ils sont encouragés verbalement à chaque contraction. La force apparaît directement et en temps réel sur le moniteur devant les participants et celle-ci est mesurée à l'aide d'un capteur à jauge de contrainte étalonné (modèle 333A,K-TOYO, Séoul, Corée). Les signaux de ce capteur ont été échantillonnées à 100kHz et enregistrés linéairement de 0 à 2500N sur un système informatisé (Logiciel Mooky Force, Matsport Training, École-Valentin, France).

La plus grande valeur de force, obtenue dans les trois efforts, est celle considérée comme force isométrique maximale. Le taux de développement de la force (RFD) a été déterminé pour la valeur de force la plus élevée atteinte dans les premières 200ms après le début des  $CMV_{leg}$ .

### **Test de la force de serrage maximale volontaire isométrique**

Les pilotes étaient assis devant une barre fixe. La hauteur de cette barre était ajustée de manière à ce que les pilotes puissent la prendre en mains comme s'ils tenaient un cintre de VTT (anexes

photo 1). Un capteur à jauge de contrainte étalonnée (modèle 333A, k-TOYO, Séoul, Corée) était fixé sur le mur en face de cette barre. Un câble était fixé au capteur. À l'autre bout de ce câble, une boucle permettait aux pilotes de l'agripper avec les doigts, la paume de la main toujours en appui sur la barre fixe. Les pilotes devaient alors serrer le plus fort possible le câble en direction de la barre fixe, de manière à simuler le maintien de la poignée de VTT (anexes photo 2). Après des essais de contractions isométriques sous-maximales, les participants ont effectué trois contractions maximales volontaires isométriques ( $CMV_{handgrip}$ ) aussi vigoureusement et rapidement que possible pendant un minimum de 3 secondes. Ils ont reçu des encouragements verbaux à chaque contraction. Un repos d'au moins 1 minute était prévu entre les efforts de  $CMV_{handgrip}$ . La force instantanée était affichée en temps réel sous forme de retour visuel sur un moniteur placé en face des pilotes. La force était mesurée à l'aide d'un capteur à jauge de contrainte étalonné (modèle 333A, K-TOYO, Séoul, Corée). Les signaux de ce capteur ont été échantillonnés à 1''kHz et enregistrés linéairement de 0 à 2500N sur un système informatisé (Logiciel Mooky Force, Matsport Training, Ecole-Valentin, France). La plus grande valeur de force enregistrée lors de ces 3 essais était considérée comme la force de serrage maximale isométrique.

### **Test d'endurance de force de serrage**

Après 10 minutes de récupération, les pilotes ont réalisé un test d'endurance de force de serrage. Dans la même position que lors de  $CMV_{handgrip}$ , les pilotes devaient maintenir une force de serrage de 50% de la Force de serrage maximale isométrique, le plus longtemps possible. Les pilotes disposaient d'un écran placé devant eux afin d'avoir un retour visuel (sous forme de jauge) sur le niveau de force à maintenir (anexes photo 3). Si les pilotes, sortaient de la zone cible sans pouvoir y revenir après un encouragement, le test était terminé et le chronomètre arrêté (EndF). Les pilotes n'avaient pas connaissance du temps réalisé.

Ce test était réalisé alternativement sur les 2 côtés avec 10 minutes de récupération entre chaque passage.

### **ANALYSES STATISTIQUES**

Les données ont été analysées avec le logiciel statistique jamovi. Le test shapiro Wilk a été effectué pour vérifier la normalité. Par la suite, le test T-student pour des échantillons indépendants, des analyses de corrélation et des régressions linéaires ont été effectués.

L'intervalle de confiance avec lequel toutes les analyses ont été effectuées est de 95% et la valeur considérée comme statistiquement significative est de  $p < 0,05$ .

## RÉSULTATS

Après avoir analysé les tests recueillis auprès des 11 participants et effectué le test de Shapiro Wilk, on peut observer que  $p > 0.05$ , de sorte qu'ils suivent une normalité.

En raison de la petite taille de l'échantillon, le test T-student a été effectué pour des échantillons indépendants, ce que a pour résultat qu'il n'y a pas de signification entre les valeurs, il n'y a donc pas de différence statistiquement significative entre les groupes (Tableau 1 et 2).

Figure 1: Tableau descriptives

	Groupe	Âge (mois)	Âge (ans)	Points Classement Générale
N	EWS	5	5	2
	CDF	6	6	5
Moyen	EWS	196	16.0	282
	CDF	253	20.7	797
Écart type	EWS	30.7	2.45	245
	CDF	60.9	5.24	458
Minimum	EWS	168	14	108
	CDF	214	17	20
Maximum	EWS	244	20	455
	CDF	373	31	1225
Shapiro-Wilk W	EWS	0.870	0.833	NaN
	CDF	0.712	0.718	0.830
Shapiro-Wilk p	EWS	0.265	0.146	NaN
	CDF	0.008	0.010	0.138

N: 11 Participants; Femmes: 3, 1 participante EWS; Hommes: 8, 4 participants EWS; EWS: Groupe VTT Coupe du Monde; CDF: Groupe de VTT Coup de France; CMV Leg droite - gauche : Contraction maximale volontaire jambe droite - gauche [N]; RFD Droite - gauche: Taux de développement de la force jambe droite - gauche; [N/sec]; CMV Handgrip droite - Gauche: Contraction maximale volontaire de serrage du bras droit - gauche [N]; EndF droite - gauche: Endurance de Force maximale droite - gauche [sec]

Figure 2: Tableau avec des comparaisons des variables de force des athlètes de CDF et EWS

	Group	N	Mean	p	Écart moyen	SE difference	95% Confidence Interval			Taille de l'effet	95% Confidence Interval	
							bas	Haut			Bas	Haut
<b>CMVleg Droite</b>	EWS	5	556.20	0.226	-157.967	121.59	-433.02	117.08	Cohen's d	-0.7867	-2.05	0.550
	CDF	6	714.17									
<b>RFD droite</b>	EWS	5	2657.60	0.804	-166.233	650.55	-1637.89	1305.42	Cohen's d	-0.1547	-1.34	1.046
	CDF	6	2823.83									
<b>CMVleg Gauche</b>	EWS	5	560.80	0.325	-138.033	132.68	-438.18	162.12	Cohen's d	-0.6299	-1.86	0.663
	CDF	6	698.83									
<b>RFD Gauche</b>	EWS	5	2667.60	0.229	-1.034.067	801.43	-2847.02	778.89	Cohen's d	-0.7813	-2.04	0.554
	CDF	6	3701.67									
<b>CMV handgrip droite</b>	EWS	5	487.00	0.103	-152.667	84.21	-343.16	37.82	Cohen's d	-10.978	-2.45	0.343
	CDF	6	639.67									
<b>EndF droite</b>	EWS	5	88.00	0.965	0.500	11.24	-24.92	25.92	Cohen's d	0.0269	-1.16	1.212
	CDF	6	87.50									
<b>CMVhandgripgauche</b>	EWS	5	487.60	0.105	-131.400	72.95	-296.43	33.63	Cohen's d	-10.906	-2.44	0.348
	CDF	6	619.00									
<b>EndFgauche</b>	EWS	5	90.20	0.698	-4.300	10.73	-28.57	19.97	Cohen's d	-0.2427	-1.43	0.969
	CDF	6	94.50									

<sup>a</sup> Levene's test is significant ( $p < .05$ ), suggesting a violation of the assumption of equal variances

EWS: Groupe VTT Coupe du Monde; CDF: Groupe de VTT Coup de France; CMVLeg droite - gauche : Contraction maximale volontaire jambe droite - gauche [N]; RFD Droite - gauche: Taux de de développement de la force jambe droite - gauche; [N/s]; CMV Handgrip droite - Gauche: Contraction maximale volontaire de serrage du bras droit - gauche [N]; EndF droite - gauche: Endurance de Force maximale droite - gauche [s]

Les tests statistiques ont été réalisés en tenant compte des points obtenus dans le classement général du fait que le nombre de courses effectuées parmi les participants était très varié, une moyenne de points a été réalisée en tenant compte des points obtenus dans le classement général du fait que le nombre de courses effectuées parmi les participants était très varié, une moyenne de points a été réalisée parmi le nombre de courses effectuées pour tenter d'obtenir des données comparables. Par contre, les valeurs les plus élevées statistiquement significatives ont été trouvées en tenant compte de la variable des points totaux dans le classement général.

Après, une corrélation de variables, ont constaté que si on observe la moyenne des points il y a 3 variables avec des valeurs statistiquement significatives (Tableau 3):  $CMV_{handgrip\ droite} r = 0.776$ ,  $p = 0.40$  (0.055 – 0.965);  $CMV_{handgrip\ gauche} r = 0.863$ ,  $p = 0.012$  (0.315 – 0.980) et  $EndF_{gauche} r = 0.784$ ,  $p = 0.037$  (0.076 – 0.967).

D'autre part, la corrélation avec la variable des Points Classement Général, on constate qu'il y a des valeurs statistiquement plus fort dans deux variables:  $CMV_{handgrip\ droite} r = 0.847$   $p = 0.016$  (0.258 – 0.977); et  $CMV_{handgrip\ gauche} r = 0.934$   $p = 0.002$  (0.611 – 0.990).

Les valeurs sont plus puissantes lors de la relation avec les points du classement général.

Figure 3: tableau de correlations des variables de force avec le Classement Général

		<b>Points Classement Général</b>	<b>Moyenne Points / courses</b>
<b>CMV leg Droite [N]</b>	<b>Pearson's r</b>	<b>0.325</b>	<b>0.447</b>
	<b>p-value</b>	<b>0.477</b>	<b>0.314</b>
	95% CI Upper	0.866	0.898
	95% CI Lower	-0.567	-0.461
	N	7	7
<b>RFD droite [N/s]</b>	<b>Pearson's r</b>	<b>-0.047</b>	<b>-0.182</b>
	<b>p-value</b>	<b>0.921</b>	<b>0.696</b>
	95% CI Upper	0.732	0.662
	95% CI Lower	-0.773	-0.822
	N	7	7
<b>CMVleg Gauche [N]</b>	<b>Pearson's r</b>	<b>0.343</b>	<b>0.567</b>
	<b>p-value</b>	<b>0.452</b>	<b>0.184</b>
	95% CI Upper	0.871	0.925
	95% CI Lower	-0.553	-0.325
	N	7	7
<b>RFD Gauche [N/s]</b>	<b>Pearson's r</b>	<b>0.693</b>	<b>0.313</b>
	<b>p-value</b>	<b>0.084</b>	<b>0.494</b>
	95% CI Upper	0.950	0.863
	95% CI Lower	-0.126	-0.576
	N	7	7

		Points Classement Général	Moyenne Points / courses
<b>CMV handgrip droite [N]</b>	<b>Pearson's r</b>	<b>0.847*</b>	<b>0.776*</b>
	<b>p-value</b>	<b>0.016</b>	<b>0.040</b>
	95% CI Upper	0.977	0.965
	95% CI Lower	0.258	0.055
	N	7	7
<b>EndF droite [s]</b>	<b>Pearson's r</b>	<b>0.540</b>	<b>0.497</b>
	<b>p-value</b>	<b>0.211</b>	<b>0.257</b>
	95% CI Upper	0.919	0.910
	95% CI Lower	-0.359	-0.410
	N	7	7
<b>CMV handgrip gauche [N]</b>	<b>Pearson's r</b>	<b>0.934**</b>	<b>0.863*</b>
	<b>p-value</b>	<b>0.002</b>	<b>0.012</b>
	95% CI Upper	0.990	0.980
	95% CI Lower	0.611	0.315
	N	7	7
<b>EndF gauche [s]</b>	<b>Pearson's r</b>	<b>0.324</b>	<b>0.784*</b>
	<b>p-value</b>	<b>0.478</b>	<b>0.037</b>
	95% CI Upper	0.866	0.967
	95% CI Lower	-0.567	0.076
	N	7	7
<b>Groupe</b>	<b>Pearson's r</b>	<b>0.545</b>	<b>0.320</b>
	<b>p-value</b>	<b>0.205</b>	<b>0.484</b>
	95% CI Upper	0.920	0.865
	95% CI Lower	-0.352	-0.570
	N	7	7
<b>Genre</b>	<b>Pearson's r</b>	<b>-0.602</b>	<b>-0.619</b>
	<b>p-value</b>	<b>0.153</b>	<b>0.138</b>
	95% CI Upper	0.276	0.251
	95% CI Lower	-0.932	-0.936
	N	7	7

Note. \* p < .05, \*\* p < .01, \*\*\* p < .001

CMVLeg droite - gauche : Contraction maximale volontaire jambe droite - gauche [N]; RFD Droite - gauche: Taux de développement de la force jambe droite - gauche; [N/s]; CMV Handgrip droite - gauche: Contraction maximale volontaire de serrage du bras droite - gauche [N]; EndF droite - gauche: Endurance de Force maximale droite - gauche [s]

Pour terminer l'analyse, une régression linéaire a été réalisée afin de connaître la relation de dépendance qui existe entre la variable de force la plus significative statistiquement trouvée dans les analyses précédentes,  $CMV_{handgrip\ gauche}$ , et la performance, c'est-à-dire les points du classement général (tableau 4, 5 et 6).

Cette régression a été réalisée par blocs, dans lesquels des facteurs tels que le genre, le groupe et l'âge ont été inclus.

Le résultat obtenu a été que si l'on connaît l'âge et le sexe du pilote on peut arriver à expliquer un 38% de la performance dont dépendent les points du classement général, en obtenant une valeur de  $r^2 = 0.381$  (tableau 4). D'autre part, lorsqu'on inclut dans le bloc deux avec la variable  $CMV_{handgrip\ gauche}$ , on constate que celle-ci explique presque 93% du rendement exprimé en points obtenus dans le classement général, en obtenant une valeur de  $r = 0.926$ . Pourtant, d'après les données obtenues à partir des statistiques, il a été constaté que, parmi toutes les variables, celle qui a démontré un rapport élevé avec la performance a été la  $CMV_{handgrip\ gauche}$  et celle-là est prédicteur ou déterminant de la performance.

Figure 4: Tableau de relation de dépendance des variables de force et les points du Classement Général

Model	R	R <sup>2</sup>
1	0.618	0.381
2	0.962	0.926

Model 1: les variables genre et âge (mois) ont été incluses; Model 2: les variables de force CMV handgrip gauche et droite [N] ont été incluses

Figure 5: Relation de dépendance des variables du deuxième bloc avec le Classement Général

Predictor	Estimate	SE	t	p
Intercept <sup>a</sup>	482.13	797.78	0.604	0.578
<b>Genre:</b>				
feminin – masculin	-747.49	481.44	-1.553	0.195
<b>Âge (mois)</b>	1.10	3.14	0.351	0.743

<sup>a</sup> Represents reference level

CMV Handgrip droite - Gauche: Contraction maximale volontaire de serrage du bras droit - gauche [N]

Figure 6: relation de dépendance des variables du deuxième bloc avec le Classement Générale

Predictor	Estimate	SE	t	p
Intercept <sup>a</sup>	-2650.10	739.28	-3.58	0.037
<b>Genre:</b>				
feminin – masculin	411.81	312.98	1.32	0.280
<b>Âge (mois)</b>	-1.47	1.37	-1.07	0.362
<b>CMVhandgrippgauche</b>	5.76	1.23	4.70	0.018

<sup>a</sup> Represents reference level

CMV Handgrip droite - Gauche: Contraction maximale volontaire de serrage du bras droit - gauche [N]

Cela correspond à ce qui a été vu dans d'autres études, qui décrivent la force comme un puissant prédicteur de la performance. Par contre, en ce qui concerne les valeurs de membre inférieur, aucune valeur significative n'a été trouvée.

## DISCUSSION

Avec la réalisation de cette étude, on cherche à déterminer les capacités physiques liées à la force dans le mode enduro qui montrent une relation avec la performance. Selon l'hypothèse précédemment établie, tant dans la force des membres supérieurs que dans la force des membres inférieurs, on s'attend à trouver une relation avec la performance.

La première conclusion qui a été trouvée, est que des résultats statistiquement significatifs ont été obtenus pour la variable CMV<sub>handgrip</sub>, établissant une relation positive avec la performance. Une relation a été trouvée aussi bien pour le bras droit que pour le bras gauche, cette dernière étant plus forte.

En examinant la littérature existante, des résultats similaires ont été trouvés dans d'autres études, dans lesquelles la description des prédicteurs de la performance dans le VTT souligne la force de serrage comme un puissant déterminant de la performance. Dans l'étude de Chidley et al. (2015), réalisée sur 43 participants du mode DH, appartenant à différentes catégories, du junior à l'élite, ils ont évalué différentes capacités physiques et ont constaté que seules deux d'entre elles avaient un rapport avec la performance, à savoir la capacité du pilote et la résistance au serrage. Son étude explique que ces deux variables représentent 73% du rendement. Dans notre étude, il a été constaté qu'il existe une relation entre la performance et la résistance de la poignée de la main gauche en entendant comme performance la variable de la moyenne des points entre le nombre de courses effectuées par les participants. D'autre part, la plus grande découverte qui a été trouvée est la force maximale de serrage. Dans l'article de Novak et al. (2018), réalisé sur des pilotes d'endurance de la modalité de XCo, puisqu'il s'agit de courses de 4 heures, ils ont constaté qu'après avoir effectué les tests de serrage, la force maximale du bras gauche était un puissant prédicteur de la performance, ce qui correspond au résultat. L'explication donnée pour faire face à l'inégalité entre les deux bras peut être expliquée en tenant compte du rôle de chaque bras sur le vélo. Dans les studios de Novak et al., (2018) tous les participants sauf un, avaient le frein arrière dans la main gauche et le frein d'avant dans la main droite parce qu'ils étaient des études menées en Australie et il est commun de trouver cette disposition bien qu'à ce jour la disposition des freins peut être modifiée. Ils expliquent que, le cas échéant, malgré l'inversion des freins, en raison des conseils des entraîneurs de freinage avec le frein avant 70% pour éviter de casser la roue arrière, en raison de cette disposition, il y a une plus grande charge de travail de la main droite que de la main gauche, ce qui permet à ce bras d'acquiescer d'autres fonctions telles que la manipulation, la direction et le maintien du guidon, minimisant la fatigue de la main droite due au freinage supplémentaire. Cette explication peut être en partie conforme aux conclusions de notre étude.

Il est fréquent de trouver dans les pays que l'on conduit par la droite, le frein avant sur le bras gauche et le frein arrière sur le bras droit, ce dernier étant le plus utilisé pour la descente en la modalité Enduro. Bien que les freins aient été inversés par rapport à Novak et al., (2018) les deux études présentent un pourcentage élevé d'utilisation du bras droit, de sorte que dans les deux cas, c'est le bras gauche qui est responsable de la direction, de la fixation et de la manipulation du guidon. En outre, il existe d'autres facteurs tels que la position des freins pouvant être supérieure ou inférieure sur le guidon (Duc et al., 2008) ou les vibrations (Kirkwood. L 2019), qui peuvent affecter les performances.

Concrètement, dans l'étude de Kirkwood. L. (2019) sur les athlètes en la modalité Enduro, le facteur de vibration est décrit comme une variable liée à la force de membre supérieur, qui affecte la performance du pilote. Ils expliquent l'importance de la force et de la résistance de la poignée de main, mais aussi l'importance de la capacité du membre supérieur à amortir ces vibrations

produites par le terrain, par des contractions musculaires du même (Hurst et al., 2012 cité par Kirkwood 2019). Un bon freinage et donc une bonne force et la puissance dans la main et l'avant-bras, sont efficaces pour la performance, les aspects qui sont affectés par une exposition prolongée aux vibrations, atteignant même une réduction de 30% de la force de préhension (Florida-James, Ball et Westubry 2010, cités par kirkwood. L. 2019).

En outre, dans l'article des Ecoissais de Florida -James, Ball et Westbury (2010), la force d'adhérence maximale a été trouvée réduite dans une plus grande partie de la main droite que dans la main gauche, de la même manière qu'elle a été trouvée dans Novak et al., (2018) et aussi dans notre étude. Il faut donc poursuivre les recherches dans ce sujet.

D'autre part, non seulement les vibrations affectent le membre supérieur, mais aussi le membre inférieur est affecté en diminuant la résistance de la contraction maximale volontaire de la musculature de la cuisse (kirkwood. L. 2019).

La plupart des articles sont généralement d'accord sur l'importance de l'explosivité, de l'endurance et de la résilience après des efforts intermittents sous-maximaux ou maximaux, caractéristiques de ce sport, comme points à prendre en compte pour la performance.

En ce qui concerne le membre inférieur, dans cette étude on n'a pas trouvé des grandes découvertes qui relient les variables, liées à la force, à la performance. Si nous regardons la littérature, nous pouvons trouver la controverse.

D'un côté, nous constatons, avec la littérature, que dans le cyclisme sur route, avoir une masse musculaire plus élevée peut générer une meilleure énergie et puissance pour surmonter les résistances sur des surfaces planes, mais à des étapes de montagne, aux moments où les vitesses sont faibles, ces pilotes avec base de masse corporelle ont à être plus de succès (Phillips et al., 2020). Au contraire, Cesanelli et al., (2022), dont l'étude porte également sur le cyclisme sur route, cité par Lee et al, (2018), explique que l'épaisseur musculaire dans la musculature prédominante présentait une corrélation positive avec le pouvoir anaérobie des cyclistes. Dans ce même article de Cesanelli et al, une intervention d'entraînement de force est effectuée et après d'un an d'intervention, ils ont constaté une amélioration des performances en puissance et en force, avec des améliorations au test de force maximale de 1RM.

Parmi, les mécanismes susceptibles de contribuer à cette amélioration, on peut citer l'augmentation de la résistance des fibres de type I et le retard d'épuisement et d'activation des fibres de type II ; l'augmentation des fibres de type IIA et la réduction des IIX ; l'augmentation de la force maximale et le taux de développement de la force, entre autres. Toutes ces adaptations promotrices de la performance dans le cyclisme. Cela concède avec l'étude de Beattite et al., (2017), dans laquelle ils soulignent l'importance de l'économie sur le vélo comme aspect de la performance, qui peut être améliorée par des entraînements de force soit en augmentant la force maximale et le taux de développement de celui-ci.

Contrairement à notre étude car nous nous n'avons pas trouvé de données significatives qui relient nos variables de force à la performance. Cela peut être dû au faible nombre de participants, à la modalité du cyclisme puisque les études précédentes portent sur des cyclistes sur route ou même, sur les tests sélectionnés pour l'évaluation. Il serait intéressant de poursuivre les recherches à l'avenir sur cet aspect dans la modalité Enduro.

Pour finir, il est possible de trouver d'autres facteurs qui interfèrent dans la performance comme la capacité, qui peut être liée à l'expérience, le sexe ou l'âge (Moss et al. 2019). En ce qui concerne le dernier facteur, Haupt et al., (2013), qui parle de la baisse des performances avec l'âge dans le VTT et parmi ses conclusions, souligne que le meilleur âge lié à la performance dans les courses de VTT se trouve entre 25 et 34 ans.

Dans notre étude, il y a des pilotes âgées de 14 à 31 ans, la moyenne étant à 18 ans, principalement de genre masculin et s'il s'avère que le genre et l'âge sont des prédicteurs de la performance, bien que des recherches supplémentaires seraient nécessaires dans l'avenir du cyclisme de montage, notamment de la modalité Enduro.

## **LIMITATIONS**

Cette étude présente plusieurs limites. Tout d'abord, l'étude compte avec très peu de participants car il y a un total de 11 pilotes, dans lequel l'âge varie de 14 à 31 ans, de sorte que les capacités physiques et leur développement seront affectés par la soustraction de la première variable. En ce qui concerne les participants, il y a quatre d'entre eux dont le score n'est pas connu dans la course, donc il y a des pertes. Bien qu'ils aient donné des résultats statistiquement significatifs, ils ne peuvent pas être extrapolés car il ne s'agit pas d'un échantillon représentatif.

D'autre part, la manque de littérature sur la modalité enduro par rapport aux autres modalités, est la plus grande contrainte à l'intérieur de l'étude, car il est nécessaire de rechercher une littérature centrée sur des modalités différentes et dont les capacités physiques ne sont pas exactement les mêmes. Il serait intéressant de faire plus de recherches et d'études dans ce sport, de plus en plus connu et pratiqué.

## **CONCLUSION**

Parmi les variables expliquées ci-dessus, dans cette étude et d'après ce qui a été trouvé dans la littérature, une relation positive a été trouvée entre la force maximale du membre supérieur, le côté gauche étant plus statistiquement que le côté droit, et la performance. Le rapport augmente si, en outre, le genre et le club auquel appartiennent les participants sont pris en compte.

Par ailleurs, dans cette étude, la force maximale des membres inférieurs n'a pas fourni de données pertinentes liées aux performances.

## ANNEXES



*Figure 1: Test force de serrage maximale volontaire isometrique*



*Figure 2: Test force de serrage maximale volontaire isometrique*



Figure 3: Test d'endurance de la force de serrage

## BIBLIOGRAPHIE

Palmer D, Florida-James G, Ball C. Enduro World Series (EWS) Mountain Biking Injuries: A 2-year Prospective Study of 2010 Riders. *Int J Sports Med.* 2021 Oct;42(11):1012-8.

Règlements Titre IV épreuves de Mountain Bike. [internet]. Union Cycliste Internationale (UCI). 2022.[Cited 2 mai 2022]. Available from:

<https://fr.uci.org/reglements/3MyLDDrwJCJJ0BGGOFzOat#titre-iv-mountain-bike>

Bejder J, Bonne TC, Nyberg M, Sjøberg KA, Nordsborg NB. Physiological determinants of elite mountain bike cross-country Olympic performance. *J Sports Sci.* 2019 May;37(10):1154-61

Novak AR, Dascombe BJ. Physiological and performance characteristics of road, mountain bike and BMX cyclists. *J Sci Cycling [Internet].* 2014 Oct.30 [cited 2022. Mai. 8];3(3):9-16. Available from: <https://jsc-journal.com/index.php/JSC/article/view/104>

Chidley JB, MacGregor AL, Martin C, Arthur CA, Macdonald JH. Characteristics explaining performance in downhill mountain biking. *Int J Sports Physiol Perform.* 2015 Mar;10(2):183-90

EWS Rules and Anti-Doping Information [Internet]. Enduro World Series (EWS). 2022 [Cited 2022 Mai 5] Available from: <https://www.enduroworldseries.com/ews-general/rules-and-resources/>

Kirkwood LA, Ingram LA, Cunningham J, Malone E, Florida-James GD. Physiological characteristics and performance in elite enduro mountain biking. J Sci Cycling [Internet]. 2017Dec.31 [cited 2022mai4];6(2):13-21. Available from: <https://www.jsc-journal.com/index.php/JSC/article/view/318>

Moss SL, Francis B, Calogiuri G, Highton J. Pacing during a cross-country mountain bike mass-participation event according to race performance, experience, age and sex. Eur J Sport Sci. 2019 Jul;19(6):793-801.

Baron R. Aerobic and anaerobic power characteristics of off-road cyclists. Med Sci Sports Exerc. 2001 Aug;33(8):1387-93

Hassenfratz C, Ravier G & Grappe F. Etude des responses mecaniques et physiologiques en Enduro VTT. Seminaires Des Entraîneures et Cadres Techniques Du Cyclisme. 2012.

Novak AR, Bennett KJM, Fransen J, Dascombe BJ. Predictors of performance in a 4-h mountain-bike race. J Sports Sci. 2018 Feb;36(4):462-8.

Duc S, Bertucci W, Pernin JN, Grappe F. Muscular activity during uphill cycling: effect of slope, posture, hand grip position and constrained bicycle lateral sways. J Electromyogr Kinesiol. 2008 Feb;18(1):116-27.

Haupt S, Knechtle B, Knechtle P, Rüst CA, Rosemann T, Lepers R. The age-related performance decline in ultraendurance mountain biking. Res Sports Med. 2013;21(2):146-58.

Kirkwood, L.A. Performance in enduro mountain biking: the influence of training status, recovery, and vibration. [Ph Doctor] Napier University of Edinburgh; 2019

Florida-James, G., Ball, C. and Westbury, T. Demands of DH mountain biking, in *World Science in Cycling*. Edinburgh. 2010

Phillips KE, Hopkins WG. Determinants of Cycling Performance: a Review of the Dimensions and Features Regulating Performance in Elite Cycling Competitions. Sports Med Open. 2020 Jun 3;6(1):23

Cesanelli L, Ammar A, Arede J, Calleja-González J, Leite N. Performance indicators and functional adaptive windows in competitive cyclists: effect of one-year strength and conditioning training programme. *Biol Sport*. 2022 Mar;39(2):329-40.

Lee HJ, Lee KW, Lee YW, Kim HJ. Correlation between Cycling Power and Muscle Thickness in Cyclists. *Clin Anat*. 2018 Sep;31(6):899-906.

Beattie K, Carson BP, Lyons M, Kenny IC. The Effect of Maximal- and Explosive-Strength Training on Performance Indicators in Cyclists. *Int J Sports Physiol Perform*. 2017 Apr;12(4):470-80.