

Université de Franche-Comté
U.P.F.R. Sports Besançon

Projet Tuteuré
Diplôme de MASTER Spécialité : EMIS

Déterminants de la performance en cyclo-cross

Théo OUVRARD, Flavien SOENEN et Lucas GARBELLOTO

Directeur Projet : Frédéric GRAPPE (MCU - HDR)
EA4660 Département Sport - Santé C3S

Année 2014 - 2015

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer notre gratitude à l'ensemble des personnes qui ont contribué à la réussite de ce travail :

Tout d'abord à Frédéric Grappe.

Pour son investissement à nos côtés. Un grand merci pour nous avoir guidé à travers cette étude, nous avoir partagé ces savoirs et son expérience ainsi que sa rigueur scientifique.

A l'ensemble des cyclistes qui ont participé à cette étude,

Pour leur implication dans les tests : Deguerce Joffrey, Lhosmot Louis, Navarro Quentin, Goepfert Pierre Louis, Simon Quentin, Pinot Alistair, Tissot Gabin, Labous Quentin, Philibert Aurélien, Charbonnet Corentin, Mosnier Kévin, Humbert Valentin.

A nos proches, qui nous aident et nous soutiennent dans la réalisation de nos projets.

	Temps (heures)		
	F. Soenen	T. Ouvrard	L. Garbellotto
Organisation, gestion du planning, préparation des tests	5	1	1
Passage des tests	21	21	21
Rédaction compte rendu individuel	8	0	0
Analyse des données	4	15	15
Rédaction du mémoire et recherche bibliographique	20	25	18
Total	58	62	55

TABLE DES MATIÈRES

I.	INTRODUCTION GÉNÉRALE	2
	Déterminants physiologiques de la performance cycliste	2
	Déterminants psychologiques de la performance cycliste	3
II.	MÉTHODOLOGIE	5
	Sujets	5
	Détermination du profil de puissance record	6
	Détermination des caractéristiques psychologiques	7
	Analyse statistique	9
III.	RÉSULTATS	10
IV.	DISCUSSION	13
	Performance en cyclo-cross et paramètres physiologiques	13
	Performance en cyclo-cross et paramètres psychologiques	15
V.	PERSPECTIVES	18
VI.	CONCLUSION	19
VII.	BIBLIOGRAPHIE	20
	ABSTRACT	24

I. INTRODUCTION GÉNÉRALE :

Le cyclo-cross est l'une des disciplines historiques et parmi les plus populaires du cyclisme. Cependant, malgré cette popularité, aucune étude scientifique ne s'est encore intéressée, à notre connaissance, à cette discipline et ses spécificités. Le règlement officiel de la Fédération Française de Cyclisme définit le cyclo-cross comme une course cycliste d'une durée de 20 à 60 minutes selon les catégories d'âge, dont le parcours comprend « des routes, des chemins de campagne et de forêt, et des prés, dans une alternance assurant des changements de rythme de la course et permettant de récupérer après une portion difficile » (Règlement des épreuves de cyclo-cross, Fédération Française de Cyclisme). Les circuits présentent ainsi en général un dénivelé important, ainsi que de nombreux obstacles où les participants peuvent être amenés à descendre du vélo.

1) Déterminants physiologiques de la performance cycliste

Ces dernières années, plusieurs études se sont intéressées aux variables physiologiques associées à la performance en cyclisme, et plus particulièrement en cyclisme sur route et en VTT (Faria et coll. 2005, Impellizeri et Marcora 2007). Deux paramètres physiologiques ont ainsi été corrélés à la performance chronométrique en contre-la-montre sur route : 1) la puissance maximale développée lors d'un test incrémental de puissance maximale aérobie (ou PPO, $r = -0,91$; $p < 0,001$, Hawley et Noakes 1992) et 2) la puissance développée au seuil ventilatoire 1 (P_{SV} $r = -0,864$; $p < 0,05$ et $r = -0,923$; $p < 0,05$ pour Padilla et coll. 2004 ; $r = -0,81$ pour Hopkins et McKenzie 1994). La performance en cyclisme sur route serait donc reliée à la capacité à produire des puissances élevées à des intensités correspondant à la puissance maximale aérobie et au seuil ventilatoire 1 (Faria et coll. 2006, Rodriguez-Marroyo et coll. 2003).

Plusieurs études se sont également intéressées aux déterminants physiologiques de la performance en VTT (Impellizeri et Marcora 2007, Lee et coll. 2002). Pour cette discipline, en raison des nombreuses difficultés et du dénivelé important des circuits, le principal déterminant de la performance serait la capacité à produire de hauts rapports puissance/poids de corps (Impellizeri et Marcora 2007 ; Gregory et coll. 2007). Impellizeri et coll. (2005a) et Gregory et coll. (2007) ont ainsi montré que la performance en VTT chez des cyclistes hétérogènes était significativement corrélée à la PPO et à la puissance développée aux seuils lactiques 1 et 2, normalisées par le poids de corps ($r = -$

0,76 ; $p < 0,01$ et $r = -0,93$; $p < 0,05$ pour la PPO normalisée, $r = -0,89$; $p < 0,001$ et $-0,75$; $p < 0,05$ pour la puissance normalisée au seuil lactique 2, $r = -0,86$; $p < 0,001$ pour la puissance normalisée au seuil lactique 1). Cependant, Impellizzeri et coll. (2005b) ont montré que chez des vététistes homogènes de niveau international seule la P_{SV} normalisée était significativement corrélée à la performance, avec un coefficient de corrélation demeurant réduit ($r = -0,63$; $p < 0,05$).

Les circuits de cyclo-cross présentant des similarités avec ceux de VTT, il est ainsi possible d'émettre l'hypothèse selon laquelle la performance en cyclo-cross serait relié 1) à la capacité à développer une haute PPO normalisée par le poids de corps du cycliste, et 2) à la capacité à développer une haute P_{SV} normalisée par le poids de corps du cycliste.

Suite au développement et à la validation au cours des vingt dernières années des systèmes portatifs de mesure de la puissance (SRM et powertap, Bertucci et coll. 2005, Gardnert et coll. 2004), Pinot et Grappe (2011) ont proposé la détermination de « Profil de Puissance Record » (ou PPR) afin d'évaluer les différentes qualités physiques du cycliste. Ce PPR, réalisé à partir des puissances moyennes maximales développées par le cycliste sur 13 durées différentes allant de 1 s à 4 h, représenterait une « signature » des capacités physiques de l'athlète. D'après ces auteurs, il serait ainsi possible d'évaluer la capacité à produire des puissances élevées pour des intensités correspondantes aux seuils ventilatoires à partir de la puissance moyenne développée lors d'efforts maximaux de 20 à 60 minutes (Pinot et Grappe 2010, 2014). De la même manière, Nimmerichter et coll. (2010) et Bouillod et coll. (en cours de publication) ont mis en évidence que la PPO était assimilable à la puissance moyenne développée lors d'un effort maximal de 4 minutes.

2) Déterminants psychologiques de la performance cycliste

Cependant, de récentes études ont également mis en évidence le rôle majeur joué par le cerveau dans la performance sportive (Marcora et coll. 2009, Sgherza et coll. 2002, Hideki Okano et coll. 2013). Il semble donc désormais nécessaire de prendre également en compte les aspects mentaux et psychologiques pour la prédiction de la performance sportive (Marcora et coll. 2010, Noakes et coll. 2005, 2012).

Plusieurs études ont notamment mis en évidence que les niveaux d'anxiété somatique, cognitive et de confiance en soi précompétitifs étaient de bons prédicteurs de la performance sportive en compétition (McCann et coll. 1992, Woodman et Hardy 2003,

Parfitt et Pates 1999). Le questionnaire « Competitive State-Anxiety Inventory » (CSAI-2, Martens et coll. 1990) ou sa traduction française (« l'échelle d'état d'anxiété en compétition », EEAC, Curry et coll. 1999), a notamment été validé afin d'estimer ces niveaux de confiance en soi, d'anxiété somatique et cognitive précompétitifs (Pérès 1996, Pérès et coll. 1997, Laurent 1998). Une étude de Paquet et coll. (2008) a notamment utilisé ce questionnaire afin de mettre en évidence que les cyclistes les plus performants et ayant les meilleures progressions présentaient systématiquement un profil avec des niveaux d'anxiété précompétitifs faibles et une confiance en soi élevée.

Un autre facteur psychologique, le « Flow », serait relié à la réalisation de hautes performances. Ce concept, mis en évidence par les travaux de Csikszentmihalyi (1975, 1988), illustrerait un état psychologique de fonctionnement optimal, dû à une concentration totale sur la tâche, permettant d'atteindre une efficacité maximale. Cette état ponctuel serait notamment caractérisé par 9 dimensions (congruence défi et habileté, fusion avec l'activité, concentration totale, perte de conscience de soi, transformation du temps, expérience autotélique, sentiment de contrôle total, clarté des objectifs et clarté du feedback ; Demontrond et coll. 2003, Csikszentmihalyi 1990, 2002), évaluées grâce à l'échelle « Flow State Scale-2 » (FSS2, Jackson and Eklund 2002) qui permettrait ainsi d'évaluer le niveau d'atteinte de l'état de « Flow » du sportif en compétition. Cependant, bien que ce questionnaire ait été validé pour l'évaluation du niveau d'atteinte de l'état de « Flow » de sportif en compétition (Jackson and Eklund 2002), aucune étude à ce jour n'a, à notre connaissance, tenté de l'utiliser afin de relier ce concept d'état de « Flow » à la performance en compétition. Or, l'état de « Flow » ayant été montré comme relié à des performances sportives de haut-niveau (Jackson et Roberts 1992, Jackson et Csikszentmihalyi 1999), l'étude des relations entre la performance et le niveau d'atteinte de l'état de « Flow » semble particulièrement intéressante (Csikszentmihalyi 1993, Koehn 2007).

Ces différentes études sur les déterminants psychologiques de la performance sportive permettent ainsi de formuler les hypothèses selon lesquelles la performance en cyclo-cross serait 3) positivement reliée aux niveaux de confiance en soi et d'atteinte de l'état de « Flow » et 4) négativement reliée aux niveaux d'anxiété somatique et cognitive précompétitifs.

Cette étude poursuit donc l'objectif novateur d'analyser les relations entre la performance en cyclo-cross et des variables physiologiques (puissances maximales moyennes

développées par le cycliste dans le cadre d'un PPR) comme psychologiques (niveaux de confiance en soi, d'anxiété, et d'atteinte de l'état de Flow). Cette étude est ainsi la première à notre connaissance à relier ainsi les déterminants physiologiques et psychologiques de la performance sur le terrain, tel que préconisé par Marcora et coll. (2009) et Noakes et coll. (2005).

II. MÉTHODOLOGIE

3) Sujets

12 cyclistes masculins volontaires, dont 6 juniors (âge : $17,6 \pm 0,5$ ans) et 6 espoirs (âge : $19,7 \pm 1,2$ ans), ont participé à cette étude. Ces cyclistes répondaient, de part leurs caractéristiques physiologiques (PPO : $347,5 \pm 36,7$ W), aux critères d'appartenance des catégories de cyclistes « très entraînés » (n = 10 dont 4 espoirs) et « entraînés » (n = 2 dont 2 espoirs) définies par Jeukendrup et coll. (2000).

L'étude s'est déroulée autour de la première manche de la Coupe de France de Cyclo-cross se disputant à Besançon le 12 Octobre 2014. Un circuit de 2,9 km (figure 1), avec 30 m de dénivelé positif, était à réaliser à 5 reprises pour les juniors et 7 reprises pour les espoirs. Les départs ont été donnés respectivement à 10h avec une température de 12°C et à 11h15 avec une température de $13,6^{\circ}\text{C}$. Le taux d'humidité de l'air ambiant était de 96% tout au long de la matinée.



Figure 1 : Parcours de la compétition de cyclo-cross

Cette compétition servait de support pour le recueil des performances en cyclo-cross de cette étude. En raison de la règle des 80%, qui stipule que « les coureurs doublés doivent terminer le tour au cours duquel ils ont été rejoint et quitter l'épreuve » (Règlement des épreuves de cyclo-cross, Fédération Française de Cyclisme), seul le classement final des sujets a pu être retenu comme indicateur de la performance. En cas de coureurs mis hors course, les cyclistes sont alors classés « en fonction de l'ordre où ils ont été retirés du parcours ».

4) Détermination du Profil de Puissance Record

Les sujets ont réalisé 4 tests de puissance maximale moyenne développée visant à déterminer leur Profil Puissance Record (PPR, Pinot et Grappe 2011) pour des durées allant d'une seconde à 20 minutes. Ces tests ont été réalisés sur deux jours, les protocoles complets de ces tests sont présentés en tableau 1 et 2. L'ensemble des tests a été réalisé sur un home trainer C-1300 (Cateye, Osaka, Japon) avec le vélo personnel du cycliste. Un capteur de puissance PowerTap (Saris Cycling Group, Madison, USA) ainsi que des compteurs Garmin 500 et 800 (Garmin, Olathe, États-Unis) ont été utilisés pour l'enregistrement des données de puissance.

Table 1 et 2 : Protocoles des tests PPR

Protocole séance 1		
Temps cumulé	Intervalls d'effort	Correspondance
2min	2min I1	Mise en route
7min	5min I2	Endurance
9min	2min I3	Rythme
10min	1min I4	Seuil
10min30	30sec I5	PMA
15min	4min30 I1-I2	récup
15min 07	7sec sprint I7	Sprint max mix
18min	2min53 I1-I2	récup
18min07	7sec sprint I7	Sprint max force
23min	5min I1-I2	récup
27min	4min PMA	Test PMA meilleur perf
35min	8min I1	Retour au calme

Protocole séance 2		
Temps cumulé	Intervalls d'effort	Correspondance
2min	2min I1	Mise en route
6min	4min I2	
8min	2min I3	Rythme
9min	1min I4	Seuil
12min	2min I1-I2	récup
12min05	5sec I7	Sprint max
17min	4min55 I1-I2	récup
17min30	30sec à bloc	Test Wingate
23min	5min30	récup
43min	20min	Test 20min
48min	5min I1	retour au calme

D'après Pinot et Grappe (2011), les puissances maximales enregistrées sur 1 et 5 secondes (P_{1s} et P_{5s}) permettent d'évaluer les qualités d'explosivité des sujets. La puissance maximale développée sur 30 secondes (P_{30s}) permet d'évaluer les qualités de tolérance lactique. La puissance maximale développée sur 4 minutes (P_{4min}) est assimilable à la puissance maximale aérobie (Nimmerichter et coll. 2010, Bouillod et coll. en cours d'acceptation). Enfin la puissance maximale développée sur 20 minutes (P_{20min}) illustrerait la capacité à développer de hautes puissances au seuil anaérobie (Figure 2). Les données de puissance ont été analysées à l'aide du logiciel Poweragent (Version 7.5.8.43, Saris Cycling Group, Madison, États-Unis).

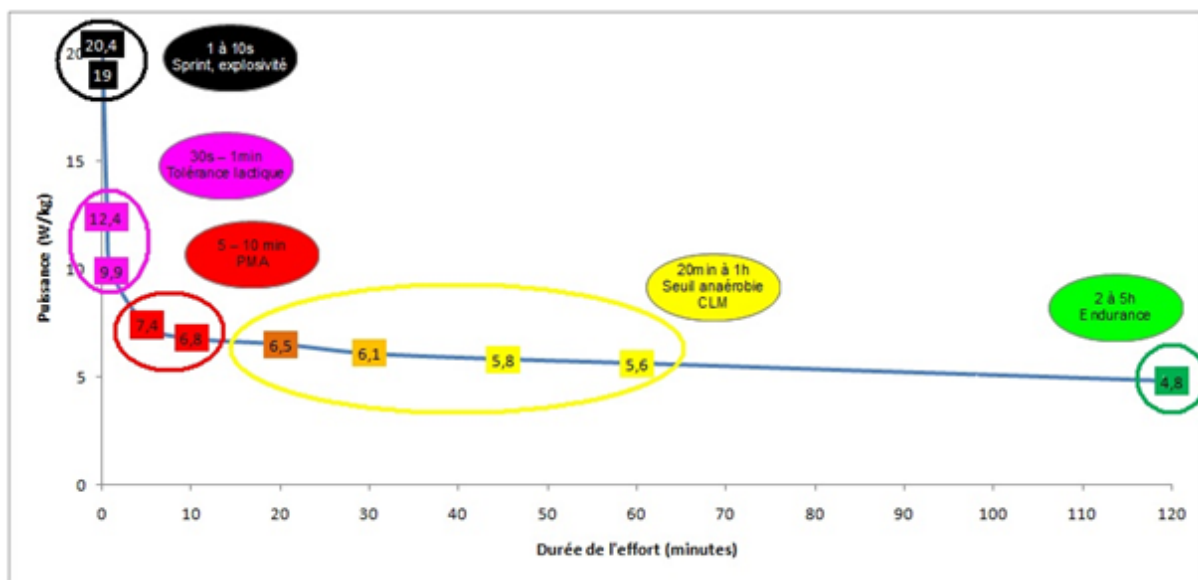


Figure 2 : Détermination des qualités physiques à partir du PPR

5) Détermination des caractéristiques psychologiques

Les paramètres psychologiques de niveau d'atteinte de l'état de « Flow », d'anxiété somatique, d'anxiété cognitive et de confiance en soi des sujets lors de la compétition étudiée ont été recueillis.

Les niveaux d'atteinte de l'état de « Flow » ont été évalués à l'aide de la version traduite du questionnaire « Flow State Scale-2 » (FSS-2, Jackson et Marsh 1996). Ce questionnaire se compose de 36 affirmations (4 pour chacune des 9 sous-dimensions du « flow ») pour lesquelles le sujet doit noter de 1 à 5 le degré de correspondance entre cette affirmation et ce qu'il a ressenti durant la compétition (de « 1=Pas du tout d'accord » à « 5=Parfaitement

d'accord). Un score global du niveau d'atteinte de l'état de « Flow » est ainsi déterminé à partir du score pour chacune des 9 sous-dimensions (Figure 3). A noter que ce questionnaire a été validé en version originale (Jackson and Eklund 2002) et en version française (Fournier et coll. 2007) pour l'évaluation du niveau d'atteinte de l'état de « Flow » de sportifs en compétition.

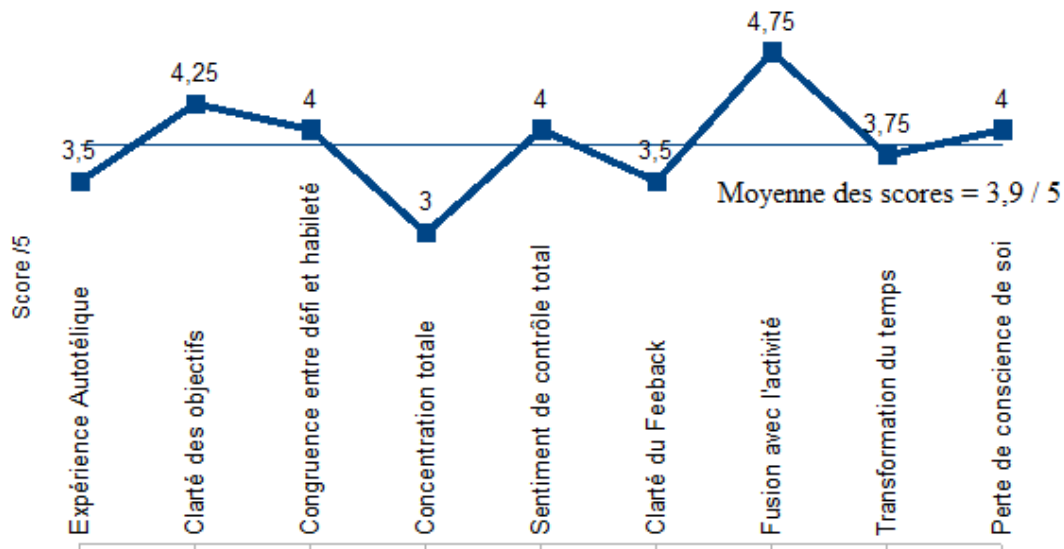


Figure 3 : Exemple de profil d'atteinte de l'état de "Flow" en compétition

Les niveaux d'anxiété somatique, d'anxiété cognitive et de confiance en soi ont été évalués à l'aide du questionnaire « Echelle d'état d'anxiété en compétition » (EEAC, Curry et coll. 1999). Ce questionnaire a été validé pour l'évaluation en compétition des niveaux d'anxiété somatique, d'anxiété cognitive et de confiance en soi chez des sportifs (Curry et coll. 1999). Il se compose de 23 affirmations (8 pour l'anxiété somatique, 8 pour l'anxiété cognitive et 7 pour la confiance en soi) pour lesquelles le sujet doit donner une note de 1 à 4 afin de déterminer le degré de correspondance de celle-ci avec ce qu'il a ressenti lors de la compétition concernée (de « 1=Pas du tout » à « 4=Beaucoup »). Ce questionnaire permet ainsi d'obtenir des scores évaluant les niveaux d'anxiété somatique, d'anxiété cognitive et de confiance en soi pour la compétition concernée (Figure 4).

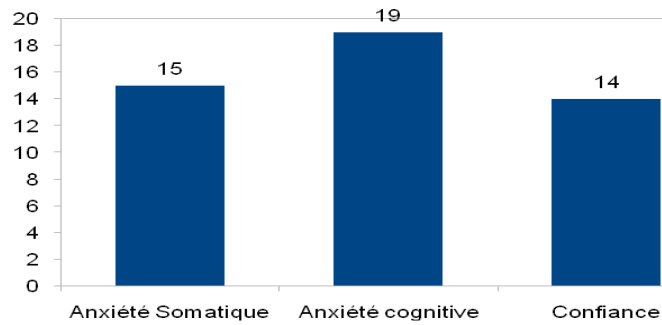


Figure 4 : Exemple de profil d'anxiété réalisé à partir de l'échelle EEAC

Bien que ce questionnaire ait été validé pour évaluer l'anxiété d'état et la confiance en soi avant ou au cours de la performance, les sujets y ont ici répondu à posteriori avec pour consigne de se remémorer ce qu'ils ressentaient au cours de la compétition concernée. Plusieurs études ont utilisé ce mode d'évaluation rétrospectif et n'ont pas identifié de différence avec le mode d'évaluation antérieur à la compétition (Paquet et coll. 2008, Gros Lambert et coll. Données non publiées, Marcel 2010). Ce mode de passation rétrospectif diminue non seulement les difficultés de recueil des résultats mais respecte de plus davantage l'éthique de la démarche scientifique : l'administration d'un questionnaire dans l'heure précédant la compétition présentant le risque de perturber la préparation du sportif et donc de nuire à sa performance (Marcel 2010).

6) Analyse statistique

Les normalités des variables recueillies ont été vérifiées à l'aide de tests de Shapiro-Wilk.

L'analyse statistique des relations entre la performance chronométrique et les différentes variables étudiées (P_{1s} , P_{5s} , P_{30s} , P_{4min} , P_{20min} , niveau d'atteinte de l'état Flow, niveau de confiance en soi et niveaux d'anxiété somatique et cognitive) a été réalisée à partir de tests de corrélation de Spearman pour régression non linéaire.

Les différences entre les groupes junior et espoir ont été analysées à partir d'un test t de Student (échantillons non-appariés) pour les variables suivant une loi normale (P_{1s} , P_{5s} , P_{30s} , P_{4min} , P_{20min} , niveau de confiance en soi et niveaux d'anxiété somatique et cognitive). Les variables ne suivant pas une loi normale (niveau d'atteinte de l'état de « Flow ») ont été analysées à partir d'un test Mann-Whitney.

L'ensemble de ces analyses a été réalisé à l'aide de logiciel Xlstat Pro (Addinsoft SARL, Paris, France).

III. RÉSULTATS

Les données recueillies pour l'ensemble des sujets ont été consignées dans le tableau 3. Chez les juniors, les sujets se sont classés de la 6^e à la 95^e place et ont tous terminé la course dans le même tour. Chez les espoirs, les sujets se sont classés de la 6^e à la 88^e place. 4 des 6 sujets espoirs ont été arrêtés en raison de la règle des 80 %.

Table 3 : Caractéristiques physiologiques et psychologiques des sujets

	Sujets	Place	Puissance normalisée (W.kg ⁻¹)					EEAC (u.a)			Flow (u.a)
								Anxiété		Confiance	
			1s	5s	30s	4min	20min	Somatique	Cognitive		
Espoir	Sujet 1	84	14,83	14,07	10,79	5,69	4,22	20	11	27	3,28
	Sujet 2	88	16,97	15,62	10,35	5,22	3,93	19	12	24	3,42
	Sujet 3	22	14,92	14,14	9,84	5,73	4,04	14	16	17	3,53
	Sujet 4	69	18,50	15,64	11,43	5,07	3,80	19	21	20	3,36
	Sujet 5	78	18,31	16,82	11,69	5,94	2,58	15	11	17	2,83
	Sujet 6	6	17,10	16,31	11,41	5,73	4,48	20	24	17	2,64
Juniors	Sujet 7	34	15,11	14,06	10,19	4,69	3,24	12	13	20	3,94
	Sujet 8	95	16,51	15,80	10,80	4,62	3,60	17	18	21	2,67
	Sujet 9	6	16,77	15,83	11,31	5,31	4,20	14	19	17	3,53
	Sujet 10	66	16,77	14,83	10,42	5,57	4,23	10	16	21	3,97
	Sujet 11	28	14,56	13,61	9,87	5,10	3,91	7	9	26	3,97
	Sujet 12	12	14,38	13,45	10,44	6,00	4,35	13	9	27	4,11

Chez les espoirs, une corrélation significative a été obtenue entre le classement final et la P_{4min} ($r = -0,94$; $p < 0,05$; figure 5). Une corrélation significative a également été obtenue entre le classement final et la P_{20min} ($r = -0,89$; $p < 0,05$; figure 6). Aucune corrélation significative n'a été obtenue entre la performance et P_{1s} , P_{5s} et P_{30s} .

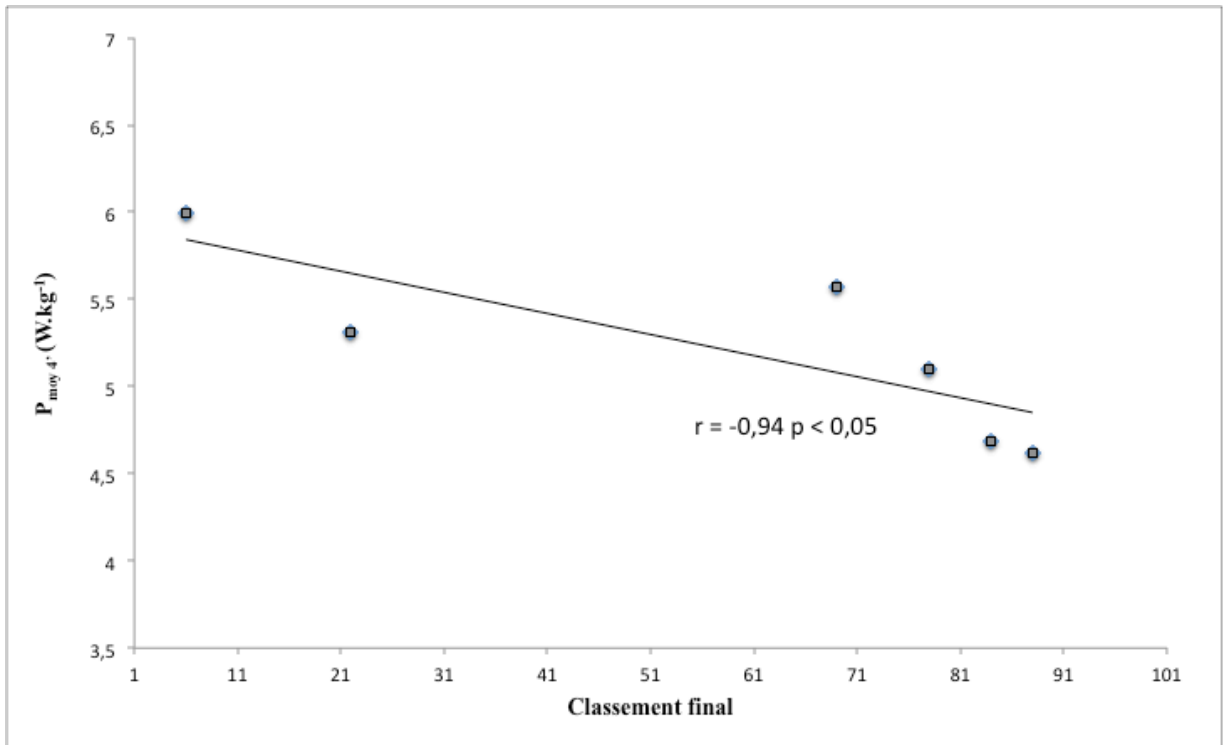


Figure 5 : Relation entre la P_{4min} et la performance pour le groupe espoir

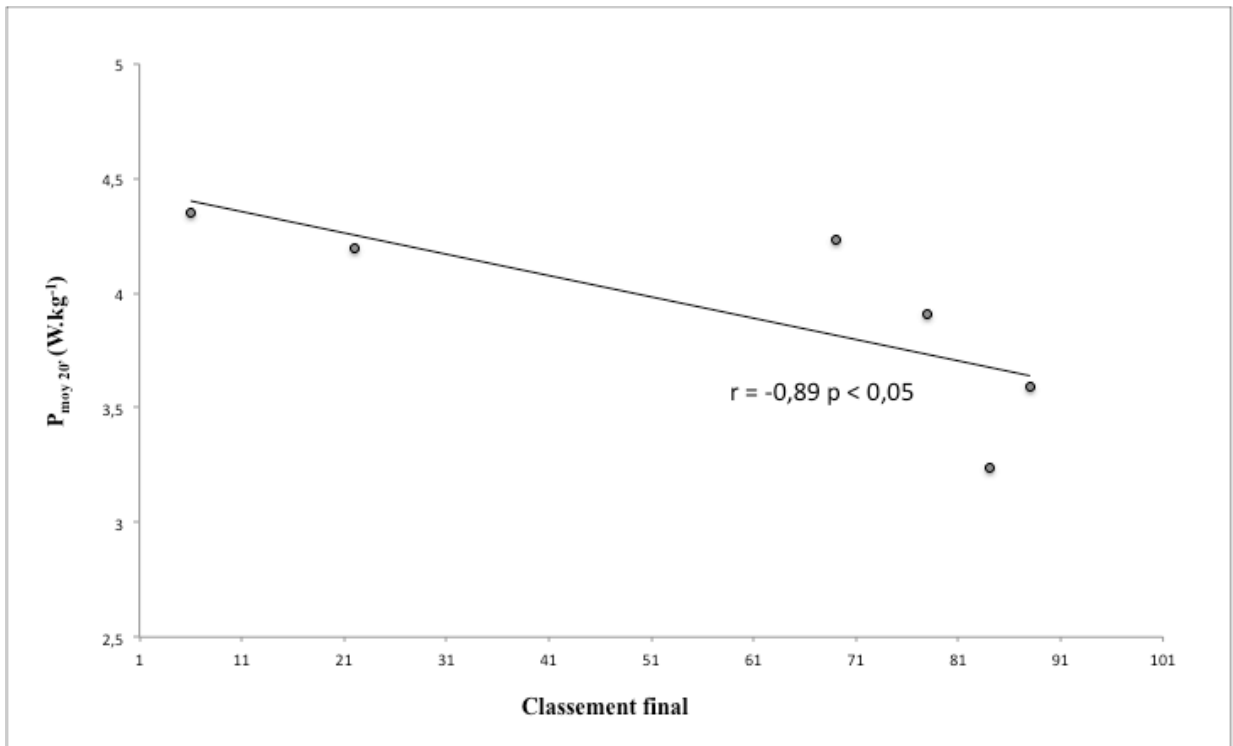


Figure 6 : Relation entre la P_{20min} et la performance pour le groupe espoir

Pour la catégorie junior, aucune relation significative n'a été obtenue entre les données de puissance normalisée et la performance réalisée. Cependant, une tendance non-significative à la corrélation a été observée entre le classement final et la P_{4min} ($r = -0,77$; $p < 0,10$; figure 7).

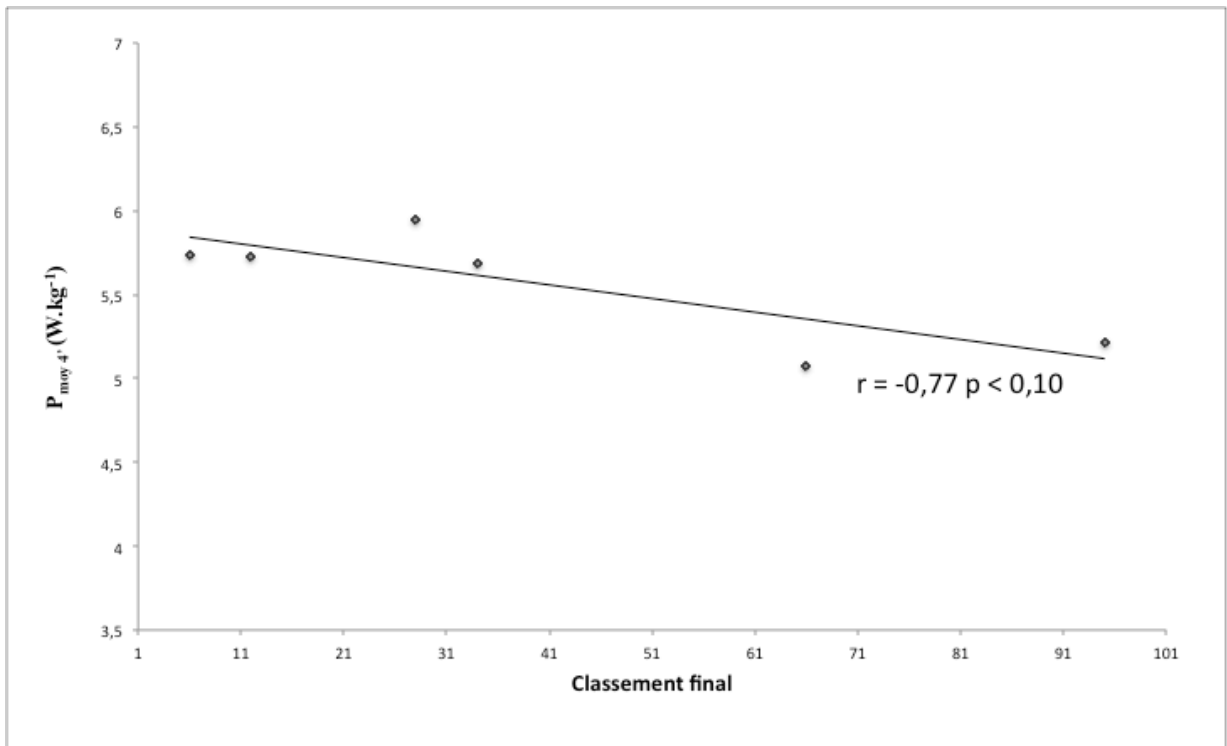


Figure 7 : Relation entre la P4min et la performance pour le groupe junior

Aucune relation significative n'a été observée entre la performance et les variables psychologiques évaluées, aussi bien pour l'échelle FSS-2 que pour l'échelle EEAC, chez les espoirs comme chez les juniors (table 4).

Table 4 : Coefficients de corrélation entre le classement final et les variables mesurées

Groupes	Puissance normalisée (W.kg ⁻¹)					EEAC (u.a)		Flow (u.a)	
	1s	5s	30s	4min	20min	Anxiété			
						Somatique	Cognitive	Confiance	
Junior	0,20	-0,09	0,14	-0,77 [#]	-0,37	-0,03	0,12	0,06	-0,32
Espoir	0,09	0,26	-0,26	-0,94*	-0,89*	0,01	-0,76	0,76	0,26

* : $p < 0,05$; # : $p < 0,1$

Aucune différence significative n'a été observée entre les groupes junior et espoir pour l'ensemble des variables mesurées.

IV. DISCUSSION

1) Performance en cyclo-cross et paramètres physiologiques

Le principal résultat de cette étude réside dans le fait que la performance en cyclo-cross peut être corrélée à la capacité à développer de hautes puissances à des intensités équivalentes à la puissance maximale aérobie (P_{4min}) et au seuil anaérobie (P_{20min}). En effet, des corrélations significatives ont été identifiées entre la performance et les P_{4min} ($r = -0,94$; $p < 0,05$) et P_{20min} ($r = -0,89$; $p < 0,05$) normalisées par le poids de corps pour le groupe espoir. Ces résultats sont en accord avec ceux d'Impellizzeri et coll. (2005a) et de Gregory et coll. (2007), qui avaient observé des corrélations significatives entre la performance en VTT cross-country et la PPO normalisée ($r = -0,81$; $p < 0,001$ pour Impellizzeri et coll. 2005a, $r = -0,87$; $p < 0,05$ pour Gregory et coll. 2007). De la même manière, des relations significatives entre la performance en VTT cross-country et la puissance au seuil anaérobie normalisée ont été observées par Impellizzeri et coll. (2005a, $r = -0,88$; $p < 0,001$).

Cependant, ces résultats sont différents pour le groupe junior. Pour ce groupe, aucune relation significative n'a pu être identifiée entre la performance et la P_{20min} normalisée. Seul une tendance non-significative peut être observée entre le classement final et la P_{4min} normalisée ($r = -0,77$; $p < 0,1$). Ces résultats divergents peuvent s'expliquer par la différence d'homogénéité entre les groupes espoir et junior. En effet, on remarque un écart de niveau bien plus important au sein du groupe espoir par rapport au groupe junior. Tout d'abord, 4 des 6 sujets espoirs ont été arrêtés en raison de la règle des 80%, alors que tout les sujets du groupe junior ont terminé la course. De plus, d'après les critères de classification du niveau des cyclistes de Jeukendrup et coll. (2000), le groupe espoir était composé de 2 cyclistes « entraînés » et de 4 cyclistes « très entraînés » alors que le groupe junior était exclusivement composé de cyclistes « très entraînés ». Cette plus grande différence de niveau pourrait être à l'origine des corrélations plus faibles chez les juniors. En effet, Atkinson et Nevill (2001) ont expliqué que les corrélations entre les variables physiologiques et la performance étaient réduites pour des populations davantage homogènes par rapport à celles observées pour des groupes plus importants de sportifs de niveaux hétérogènes. Les travaux d'Impellizzeri et coll. (2005b) mettent en évidence cette difficulté à corréler significativement variables physiologiques et performance au sein de groupes de sportifs de niveaux proches. En effet, alors que de fortes corrélations ont été identifiées entre PPO normalisée ou P_{SV} normalisée et performance en VTT chez des

cyclistes de niveaux variés (Impellizzeri et coll. 2005a), ces auteurs n'ont identifié qu'une faible corrélation entre la performance et la P_{SV} normalisée ($r = -0,63$; $p < 0,05$) et aucune relation significative entre la performance et la PPO normalisée ($r = -0,48$) chez 12 vététistes de niveau international. Les résultats de cette étude confortent ainsi à nouveau cette hypothèse : les relations significatives entre la performance et les paramètres physiologiques seraient moins importantes et plus difficilement observables pour des groupes réduits de sportifs de niveaux similaires comparées à des groupes de niveaux plus hétérogènes.

Aucune relation significative n'a pu être observée entre la performance chronométrique et les P_{1s} , P_{5s} ou P_{30s} normalisées. Ainsi, bien que les qualités d'explosivité et de puissance de la filière anaérobie soient certainement importantes en cyclo-cross en raison des nombreuses relances et passages accidentés (à l'image de ce qui a été montré en VTT par Impellizzeri et Marcora 2007 et Gregory et coll. 2007), ces qualités seraient moins prépondérantes pour la performance que la capacité à développer de hautes puissances pour des efforts maximaux de 4 à 20 minutes. Les résultats de cette étude montrent donc que la performance en cyclo-cross serait principalement reliée aux capacités à produire de hautes puissances à des intensités aérobies élevées, proches de la puissance maximale aérobie et du seuil anaérobie.

Le PPR étant un concept très récent (Pinot et Grappe 2010), il n'existe que très peu de données disponibles dans la littérature. De plus, ces résultats concernant en général des cyclistes de très haut-niveau tels que des professionnels, ils sont difficilement comparables à ceux obtenus dans cette étude (Pinot et Grappe 2011, Pinot et Grappe 2014). Cependant, de nombreuses études se sont déjà intéressées aux puissances maximales développées lors de sprints, à la PPO et à la P_{SV} . Les données de P_{4min} de cette étude ($5,4 \pm 0,5$ W) sont ainsi cohérentes par rapport aux données de PPO de la littérature pour des cyclistes entraînés à très entraînés ($5,4 \pm 0,4$ W pour Baron et coll. 2001 chez des vététistes de niveau national ; $5,8 \pm 0,3$ W pour Impellizzeri et coll. 2005a chez des vététistes de niveau régional à international). De la même manière, les données de P_{20min} de cette étude ($3,9 \pm 0,5$ W) sont similaires, bien que légèrement inférieures, aux données de P_{SV} observables dans la littérature chez des cyclistes compétiteurs ($4,3 \pm 0,3$ W pour Gregory et coll. 2007 chez des vététistes nationaux ; $4,2 \pm 0,2$ W pour Impellizzeri et coll. 2005a chez des vététistes de

niveau régional à international). Enfin, bien qu'obtenues chez des cyclistes internationaux ou professionnels, les données de Pinot et Grappe (2011, 2014) pour P_{1s} , P_{5s} et P_{30s} demeurent relativement proches de celle obtenues dans cette étude (P_{1s} : $16,2 \pm 1,3$ W contre 18,1 à 20,4 W/kg pour Pinot et Grappe 2014 ; P_{5s} : $15,0 \pm 1,1$ W/kg contre 17,1 à 19,0 W/kg ; P_{30s} : $10,71 \pm 0,6$ W/kg contre 11,9 à 13,2 W/kg). Ainsi l'ensemble des données de puissance développée de cette étude est cohérent au regard de la littérature existante et confirme le niveau départemental à national des sujets.

2) Performance en cyclo-cross et paramètres psychologiques

Contrairement aux hypothèses de la littérature, aucune relation significative n'a été identifiée entre la performance et les variables psychologiques mesurées. Ni le niveau d'atteinte de l'état de « Flow » ni les niveaux de confiance en soi et d'anxiété somatique ou cognitive ne présentent de relation significative avec le classement final des sujets. Ces résultats sont clairement en opposition avec ceux de la littérature (McCann et coll. 1992, Woodman et Hardy 2003, Parfitt et Pates 1999 pour les niveaux d'anxiété et de confiance en soi ; Jackson et coll. 2001, Jackson et Roberts 1992, Csikszentmihalyi 1993 pour le niveau d'atteinte de l'état de « Flow »).

Tout d'abord, il n'existe aucune relation significative entre la performance des sujets et leur niveau d'atteinte de l'état de « Flow ». Ce résultat va à l'encontre des hypothèses formulées par Jackson et Roberts (1992) et Jackson et Csikszentmihalyi (1999) qui ont décrit le « Flow » comme un état associé à la réalisation de performances de haut-niveau. Cependant, on remarque que l'ensemble des sujets de cette étude présentent des scores d'atteinte de l'état de « Flow » modérés et relativement proches les uns des autres ($3,18 \pm 0,36$ pour le groupe espoir et $3,70 \pm 0,53$ pour le groupe junior sur une échelle allant de 1 à 5, avec aucune différence significative entre le groupe junior et le groupe espoir). Il est ainsi possible d'émettre l'hypothèse qu'aucun des sujets de cette étude n'ait atteint un état de « Flow profond » (Csikszentmihalyi 1975, 2002), qui lui aurait réellement permis de se surpasser et d'obtenir des résultats supérieurs. En effet, Jackson et Roberts (1992) et Privette (1983) ont montré que l'état de « Flow » était éphémère et difficile à maîtriser, et que la réalisation de bonnes performances ne serait pas systématiquement reliée à son développement (Kimiecik et Stein 1992, Koehn et coll. 2013, Massimini et coll. 1988). De plus, les scores proches au questionnaire FSS-2 laissent supposer que l'ensemble des sujets

de cette étude ont développé des niveaux relativement similaires d'état de « Flow ». Il est ainsi possible d'émettre l'hypothèse selon laquelle aucun des sujets n'ait développé d'état de « Flow » supérieur aux autres, qui lui aurait permis d'exploiter davantage son potentiel physique et d'améliorer ainsi ses performances. Cela pourrait notamment expliquer l'absence de corrélation significative entre la performance réalisée et le niveau d'atteinte de l'état de « Flow ». Les écarts de performance entre les sujets de cette étude seraient ainsi davantage dus à des différences de qualités physiques, illustrées par les différences de P_{4min} et P_{20min} , qu'à des niveaux différents d'atteinte de l'état de « Flow ».

De plus, la validité de l'utilisation du questionnaire FSS-2 pour l'étude des relations entre le niveau d'atteinte de l'état de « Flow » et la performance en compétition semble discutable. En effet, bien que cette échelle ait été validée afin d'évaluer le niveau d'atteinte de l'état de « Flow » de sportifs en compétition, elle n'a jamais été utilisée, à notre connaissance, lors d'études de terrain visant à relier le niveau de performance à ce concept d'état de « Flow ». De plus, certaines des dimensions présentes dans cette échelle sont aujourd'hui encore discutées et ne seraient pas reliées à la performance pour tous les sports ou toutes les cultures (Demontrond-Behr et coll. 2003, Swann et coll. 2012, Moneta et coll. 2012). Ainsi, bien que ce questionnaire soit le seul aujourd'hui validé afin d'évaluer le niveau d'atteinte de l'état de « Flow » des sportifs, il ne serait pas l'outil idéal pour l'étude des relations entre le niveau d'atteinte de l'état de « Flow » et la performance en compétition. Il est notamment possible de supposer, au vu des scores relativement similaires d'atteinte de l'état de « Flow » de l'ensemble des sujets, que le questionnaire FSS-2 manquerait de sensibilité pour différencier des sportifs de niveaux similaires et fortement motivés. L'amélioration de la sensibilité de ce questionnaire ou l'identification d'outils plus adaptés pour l'étude des relations entre le niveau de performance et le développement de l'état de « Flow » représente donc un enjeu majeur pour la recherche scientifique sur ce concept dans les années à venir (Jackson et coll. 2001).

De la même manière, aucune corrélation significative n'a été identifiée entre la performance et les niveaux d'anxiété ou de confiance en soi évalués à l'aide de l'échelle EEAC. Ces résultats sont une nouvelle fois en désaccord avec ceux de la littérature existante (McCann et coll. 1992, Woodman et Hardy 2003, Parfitt et Pates 1999). Cependant, ces précédents travaux présentaient des contextes et des protocoles expérimentaux bien différents de ceux de cette étude. En effet, ils présentaient en général un nombre important de sujets qui permettait la mise en évidence de corrélations

significatives malgré des coefficients de corrélation réduits (par exemple 53 cyclistes et des coefficients de corrélation r significatifs compris entre 0,37 et -0,42 pour McCann et coll. 1992). La méta-analyse de Woodman et Hardy (2003) a notamment mis en évidence que les corrélations entre performance et anxiété cognitive ou confiance en soi, bien que significatives, demeuraient très faibles ($r = -0,10$ pour l'anxiété cognitive et $r = 0,24$ pour la confiance en soi). Cette étude présentant un nombre de sujet réduit en raison de l'analyse de performances de terrain en compétition (2 groupes de 6 sujets), elle ne peut donc mettre en évidence des relations significatives pour d'aussi petits coefficients de corrélation. Ainsi, en raison de ces corrélations faibles, l'utilisation de questionnaires tels que l'EEAC nécessiterait la présence d'un nombre plus important de sujets et ne serait donc pas optimal pour ce type d'étude sur les liens entre les paramètres psychologiques et la performance lors de compétitions sur le terrain (Lane et coll. 1999, Woodman et Hardy 2003).

L'absence de relation significative entre la performance et les paramètres psychologiques et le peu de variation des niveaux psychologiques entre les sujets de cette étude doivent donc être interprétés avec précaution. En effet, ces résultats ne doivent pas être utilisés pour conclure à l'absence d'impact des variables psychologiques sur la performance sportive. Ils mettent en revanche en évidence la nécessité d'améliorer les questionnaires existants ou de développer de nouveaux outils de recherche pour permettre l'étude des relations entre le niveau de performance en compétition sur le terrain et les paramètres psychologiques des sportifs.

V. PERSPECTIVES

Les résultats de cette étude mettent donc en évidence que les questionnaires tels que l'EEAC ou le FSS-2 seraient difficilement utilisables pour l'étude des relations entre les paramètres psychologiques et la performance en compétition. Il semble ainsi essentiel pour la recherche de développer de nouveaux outils qui permettront d'évaluer plus finement et avec une plus grande sensibilité ces variables psychologiques auprès d'athlètes sur le terrain, afin de les relier ensuite aux performances réalisées en compétition. L'intérêt croissant des chercheurs en neurosciences pour l'effort et la performance physique a favorisé le développement de nouveaux outils, tels que l'électroencéphalogramme ou l'électrostimulation corticale, permettant l'étude des paramètres mentaux de la performance (Hideki Okano et coll. 2013, De Morree et coll. 2014, Enoka et Stuart 1992). Ces travaux ont ainsi mis en évidence le rôle majeur joué par le cerveau dans l'effort physique et la performance sportive. De nombreuses études ont également mis en évidence l'importance majeure des paramètres psychologiques, tels que les émotions ou la fatigue mentale (Marcora et coll. 2009, Baron et coll. 2014, Pageaux et coll. 2014), sur la performance. L'étude de l'impact de ces phénomènes mentaux sur la performance sportive en compétition représente donc un enjeu majeur pour la recherche dans le domaine des sciences du sport pour les années à venir.

Enfin, cette étude étant, à notre connaissance, la première à s'intéresser spécifiquement à la discipline du cyclo-cross, elle apporte des informations essentielles pour les entraîneurs et les athlètes sur le terrain. Elle met notamment en évidence que la performance en cyclo-cross serait directement reliée à la capacité à développer de hautes puissances à des intensités équivalentes à la puissance maximale aérobie ou au seuil anaérobie. Ainsi, bien que d'autres paramètres physiologiques puissent également être essentiels dans cette discipline, il est possible d'émettre l'hypothèse selon laquelle ces deux qualités seraient les principaux déterminants physiologiques de la performance en cyclo-cross. Il semblerait donc judicieux pour les entraîneurs sur le terrain d'orienter leurs préparations afin de développer spécifiquement ces qualités de puissance maximale aérobie et de seuil anaérobie dans le but d'améliorer les performances.

VI. CONCLUSION

Pour résumer, cette étude s'est intéressée aux déterminants physiologiques et psychologiques de la performance en cyclo-cross. Elle met ainsi en évidence que la performance en cyclo-cross serait directement reliée aux qualités de puissance maximale aérobie et de seuil anaérobie, illustrées par la P_{4min} et la P_{20min} . A l'inverse, les paramètres psychologiques seraient plus difficiles à corréler à la performance réalisée. En effet, les scores de niveau d'atteinte de l'état de « Flow » (évalués à l'aide du questionnaire FSS-2) et de niveau d'anxiété (évalués à l'aide de l'échelle EEAC) ne seraient pas directement reliés au niveau de performance des sujets en compétition. La mise en évidence des relations entre la performance sur le terrain et les paramètres mentaux ou psychologiques semble donc aujourd'hui difficilement réalisable et nécessiterait le développement de nouveaux outils de mesure des paramètres psychologiques des sportifs.

VII. BIBLIOGRAPHIE

1. **Atkinson G et Nevill A.** Selected issues in the design and analysis of sport performance research. *J Sports Sci* 19 : 811-827. 2001.
2. **Baron B, Moullan F, Deruelle F, Noakes TD.** The role of emotions on pacing strategies and performance in middle and long duration sport events. *J Sports Med* 45(6): 511-517. 2009
3. **Bertucci W, Duc S, Villerius V, Pernin JN, Grappe F.** Validity and reliability of the powertap mobile cycling powermeter when compared the SRM device. *J Sports Med* , 26(10): 868-873, 2005
4. **Csikszentmihalyi, M.** *Beyond Boredom and Anxiety*. Jossey-Bass, San Francisco, CA. 1975.
5. **Csikszentmihalyi, M.** *The Evolving Self: A Psychology for the Third Millennium*, New York: HarperCollins. 1993.
6. **Csikszentmihalyi M.** *Flow: The psychology of optimal experience*. New York: Harper & Row, 1990.
7. **Csikszentmihalyi M.** The flow experience and its significance for human psychology. In **Csikszentmihalyi M et Csikszentmihalyi I (Eds.)**. *Optimal experience: Psychological studies of flow in consciousness*. New York : Cambridge University Press: 15-35, 1988.
8. **Csikszentmihalyi M.** *Flow – The classic work on how to achieve happiness*. London, England: Rider Books, 2002
9. **Cury F, Sarrazin, Pérès C et coll.** Mesurer l'anxiété du sportif en compétition – Présentation de l'échelle d'état d'anxiété en compétition (EEAC). In **Le Schanff C et Famose JP.** *La gestion du stress*. Dossier EPS 43, Paris, édition EPS, 1999.
10. **Demontrond-Behr P, Visiolo J, et Fournier J.** Investigation of Flow in French Setting. Communication affichée au congrès de l'AAASP, Philadelphie 2003
11. **Faria EW, Parker DL et Faria IE.** The science of cycling: Physiology and training – Part 1. *Sports Med* 35(4): 285-312, 2005
12. **Fournier J et coll.** French translation of the flow state scale-2: Factor structure, cross-cultural invariance, and associations with goal attainment. *Psy Sport Exerc* 8 : 897-916. 2007.
13. **Gardner AS, Stephens S, Martin DT, Lawton E, Lee H, Jenkins D.** Accuracy of SRM and Powertap power monitoring systems for bicycling. *Med Sci Sports Exerc* 36: 1252-1258, 2004.

14. **Gregory J, Johns D, Walls J.** Relative vs. Absolute Physiological Measures as Predictors of Mountain Bike Cross-Country Race Performance. *J Strength and Conditioning Research* 21(1) : 17-22, 2007
15. **Hawley JA, Noakes TD.** Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists. *Eur J Appl Physiol* 65: 79–83, 1992.
16. **Hideki Okano A, Fontes EB, Montenegro RA, Farinatti P, Cyrino ES, Li LM et Noakes TD.** Brain stimulation modulates the autonomic nervous system, rating of perceived exertion and performance during maximal exercise. *Brit J sports med*, Epub ahead of print, 2013.
17. **Hopkins SR et McKenzie DC.** The laboratory assessment of endurance performance in cyclists. *Can J Appl Physiol* 19(3): 266-274, 1994.
18. **Impellizzeri F, Marcora S.** The Physiology of Mountain Biking. *Int J Sports Med* 37(1) : 59-71, 2007.
19. **Impellizzeri F, Marcora S, Rampinini E.** Physiological correlates to off-road cycling performance. *J Sports Sci* 23(1) : 41-47. 2005a
20. **Impellizzeri F, Marcora S, Rampinini E.** Correlations between physiological variables and performance in high level cross country off road cyclists. *J Sports Med* 39 : 747-751, 2005b
21. **Jackson SA et Csikszentmihalyi M.** *Flow in sports: The keys to optimal experiences and performances.* Champaign: Human Kinetics, 1999.
22. **Jackson SA et Eklund R.** Assessing flow in physical activity: The flow state scale-2 and dispositional flow scale-2. *J Sport Exerc Psy*, 24, 133-150, 2002.
23. **Jackson SA et Roberts G.** Positive performance states of athletes: Toward a conceptual understanding of peak performance. *Sport Psy*, 6, 156-171, 1992.
24. **Jackson SA, Thomas PR Marsh HW and Smethurst CJ.** Relationship between flow, self concept, psychological skills, and performance. *J Appl Sport Psy*, 13 : 129-153. 2001.
25. **Jeukendrup AE, Craig NP et Hawley JA.** The Bioenergetics of World Class Cycling. *J Sci Med Sports* 3(4): 414-433, 2000.
26. **Koehn S.** *Propensity and attainment of Flow state* (Thèse de doctorat). University of Victoria, Etats-Unis, 2007.
27. **Laurent E.** *Motivation, anxiété compétitive et stratégies motivationnelles.* Mémoire de maîtrise STAPS, Faculté des sciences du sport de Marseille, Université Aix-Marseille II, 1998

28. **Lee H, Martin DT, Anson JM, Grundy D, et Hahn AG.** Physiological characteristics of successful mountain bikers and professional road cyclists. *J Sports Sci*, 20(12): 1001-1008, 2002
29. **Marcel J.** *De l'interprétation directionnelle de l'anxiété à la prise en compte de l'environnement dans l'évaluation cognitive en situation de stress – L'illustration en sport individuel d'opposition* (Thèse de doctorat). Université de Reims – Champagne-Ardenne, France, 2010.
30. **Marcora, S, Staiano, W, Manning V.** Mental fatigue impairs physical performance in humans. *J. Appl Physiol* 106 : 857-864, 2009.
31. **Massimini et coll.** *Flow in everyday life : A cross-national comparaison.* Cambridge University Press : 288-306. 1988.
32. **Martens R, Burton D, Vealey RS et coll.** Development and validation of the competitive state anxiety inventory – 2 (CSAI – 2). **In Martens R, Vealey RS et Burton D.** *Competitive anxiety in sport.* Champaign, IL, Human Kinetic: 117-190, 1990.
33. **McCann SC, Murphy SM et Raedeke TD.** The effect of performance setting and individual differences on the anxiety-performance relationship for elite cyclists. *Anx Stress Int J* 5(2): 177-187, 1992.
34. **Nimmerichter A, Williams C, Bachl N, Eston R.** Evaluation of a Field Test to Assess Performance in Elite Cyclists. *Int J Sports Med* 31: 160-166, 2010.
35. **Noakes TD, St Clair Gibson A, Lambert EV.** From catastrophe to complexity: a novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans: summary and conclusions. *Br J Sports Med* 39: 120–124, 2005
36. **Noakes TD.** Fatigue is a brain-derived emotion that regulates the exercise behavior to ensure the protection of whole body homeostasis. *Front Physio* 3: 1-13, 2012.
37. **Paquet Y, Gros Lambert A et Tougne J.** Caractéristiques Psychologiques des coureurs qui négocient avec succès le passage des catégories Junior-Espoirs Homme en cyclisme sur route. *Actes de séminaires de la FFC*, Bourges 2008.
38. **Parfitt G, Pates J.** The effects of cognitive and somatic anxiety and self-confidence on components of performance during competition. *J Sports Sci* 17: 351-356, 1999.
39. **Pérès C.** *Validation française du CSAI-2.* Mémoire de DEA STAPS, université de Paris XI-Orsay, 1996

40. **Pérès C, Cury F, Famose J-P.** Évaluation de l'État d'Anxiété Compétitive (EEAC) : validation française du CSAI-2. *Communication au VII^e Congrès international des chercheurs APS*, Marseille, 1997
41. **Pinot J, Grappe F.** The "Power Profile" to determine the physical capacities of the cyclist. *35^{ième} Congrès annuel de la société de Biomécanique*. Le Mans, 25-27, 2010
42. **Pinot J, Grappe F.** The power profile to assess performance in elite cyclists. *Int J Sports Med* 32: 839-844, 2011
43. **Pinot J, Grappe F.** Determination of maximal aerobic power on the field in cycling. *Journal Science Cycling*3(1): 26-31, 2014.
44. **Privette G.** Peak experience, peak performance, and flow: A comparative analysis of positive human experiences. *J Person and Social Psy* 45(6) : 1361-1368. 1983.
45. **Rodriguez-Marroyo JA, Garcia-Lopez J, Avila C et coll.** Intensity of Exercise according to Topography in Professional Cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 35(7): 1209–1215, 2003.
46. **Sgherza AL, Axen K, Fain R, Hoffman RS, Dunbar CC et Haas F.** Effect of naloxone on perceived exertion and exercise capacity during maximal cycle ergometry. *J Appl Physiol* 93: 2023–2028, 2002
47. **Woodman T et Hardy L.** The relative impact of cognitive anxiety and self-confidence upon sport performance: a meta-analysis. *J Sports Sci* 21: 443–457, 2003.

Déterminants de la performance en cyclo-cross

Soutenu en: Janvier 2015

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze relationship between physiological and psychological variables and performance in cyclo-cross.

12 cyclists (6 in U19 category and 6 in U23 category) take part of this study. All of them performed the first round of the French cyclo-cross national cup, maximal power output tests to determine their Record Power Profile and two psychometric questionnaires in order to determine their level of attainment of “Flow” state, cognitive and somatic anxiety and self-confidence.

Significant relationships were found between competitive performance and maximal power output at intensity equal to maximal aerobic power (4 minutes maximal effort, $r = -0,94$; $p < 0,05$) and to anaerobic threshold (20 minutes maximal effort, $r = -0,89$; $p < 0,05$). No significant relationship was found between psychological variables and performance.

The results of this study show that the performance cyclo-cross is mainly related to the capacity to produce high power at high aerobic intensity, close to the maximal aerobic power and anaerobic thresholds. Furthermore, the lack of a significant relationship between performance and psychological parameters highlights the need to develop new research tools for the study of the relationship between the performance on field competition and psychological parameters of athletes.

Key words : cyclo-cross, physiological determinant, psychological determinant.