

**Mémoire pour l'obtention du
Diplôme de MASTER 1 Spécialité : EMIS**

**Suivi des réponses psycho-physiologiques de
cyclistes à l'entraînement et en compétition**

Théo OUVRARD

Directeur mémoire :

Fred GRAPPE (MCU - HDR)

EA4660 Département Sport - Santé C3S – Plateforme COPS

Responsable stage :

Rémy DEUTSCH

Entraîneur Amicale cycliste Bisontine

Année 2013- 2014

Sommaire

I. Introduction Générale.....	2
II. Revue de Littérature	4
1) L'évaluation du niveau de performance physiologique	4
2) Performance et marqueurs psychologiques	12
III. Objectifs et hypothèses.....	16
IV. Méthodologie :	17
1) Sujets	17
3) Déroulement de l'étude	17
4) Suivi des performances et des états psychologiques en compétition	18
5) Suivi de la charge d'entraînement et du niveau de fatigue.....	21
6) Tests de prédiction des niveaux de performance et de fatigue	22
7) Recueil et analyse des données.....	26
8) Analyse statistique.....	27
V. Résultats	27
1) Evaluation des niveaux de performances et de fatigue grâce au test LSCT.....	27
2) Evaluation des niveaux de fatigue grâce à l'indice de fatigue	28
3) Relations entre le niveau de capacité de performance perçu et les caractéristiques physiologiques et psychologiques de l'athlète	29
VI. Discussion	31
1) Evaluation des niveaux de performances et de fatigue grâce au test LSCT.....	31
2) Evaluation des niveaux de fatigue grâce à l'indice de fatigue	36
3) Relations entre le niveau de capacité de performance perçu et les caractéristiques physiologiques et psychologiques de l'athlète	39
4) Limites et perspectives de l'étude	42
VII. Conclusion.....	43
REFERENCES	44

I. Introduction Générale

Dès les origines des sciences du sport, les chercheurs ont tenté d'identifier les principaux déterminants de la performance sportive. De nombreux modèles ayant pour objectif de prédire le niveau de performance en compétition à partir des paramètres physiologiques de l'athlète ont ainsi vu le jour. Pour les sports d'endurance tels que le cyclisme, c'est le débit maximal de consommation d'oxygène (ou VO_2Max) qui a longtemps été considéré comme le déterminant majeur de la performance. Ainsi, de nombreux tests ont été proposés afin d'évaluer celui-ci et d'en déduire les capacités de performances de l'athlète (Hill et Lupton 1923, Faria et *coll.* 2006). Cependant, les études s'étant intéressées spécifiquement au VO_2Max chez des athlètes de haut-niveau ont montré que cet indicateur ne permettrait pas de prédire la performance pour des populations homogènes de sportifs entraînés (Chicharro et *coll.* 2000, Lucia et *coll.* 1998, 2000, 2004). De nouveaux tests, s'appuyant sur les nouveaux outils d'évaluation de la performance tels que les capteurs de puissances ou les cardiofréquencemètres, ont ainsi été proposés et permettraient de mesurer avec davantage de précision l'ensemble des différentes composantes de la performance cycliste (Grappe 2012, Lamberts 2009, Faria et *coll.* 2006).

Cependant, ces méthodes conservent un point faible majeur : elles ont toutes pour objectif de prédire la performance cycliste uniquement à partir de l'évaluation de ses déterminants physiologiques. Or pour atteindre un niveau de performance maximal, un cycliste doit stimuler de manière optimale les différents systèmes fonctionnels mis en jeu au cours de l'effort. Un haut niveau de « Force mentale » apparaît dès lors essentiel pour l'atteinte de la meilleure performance (Grappe 2009). Ce « potentiel mental », issu des caractéristiques psychologiques de l'athlète, serait donc également l'un des déterminants majeurs de la performance. Les récents progrès de la psychologie appliquée au sport ont notamment permis le développement de nombreuses méthodes susceptibles d'évaluer les différentes composantes à l'origine de ce « potentiel mental » et d'étudier leurs influences sur le niveau de performance en compétition.

Ainsi, la performance semble donc influencée aussi bien par des paramètres physiologiques que psychologiques (figure 1). Le développement de modèles prédictifs plus élaborés, prenant en compte à la fois les déterminants physiologiques et psychologiques de la performance, apparaît donc comme l'un des enjeux majeurs de la recherche pour les années à venir. Dans cette perspective, cette étude a pour objectif de

suivre chez des cyclistes compétiteurs les évolutions de différents marqueurs susceptibles de caractériser ces déterminants physiologiques et psychologiques de la performance. L'analyse des relations entre ces différents marqueurs physiologiques et psychologiques avec le niveau de capacité de performance en compétition permettrait ainsi de fournir une première indication sur leurs possibilités d'utilisation au sein de ce type de modèle bipolaire de prédiction de la performance.

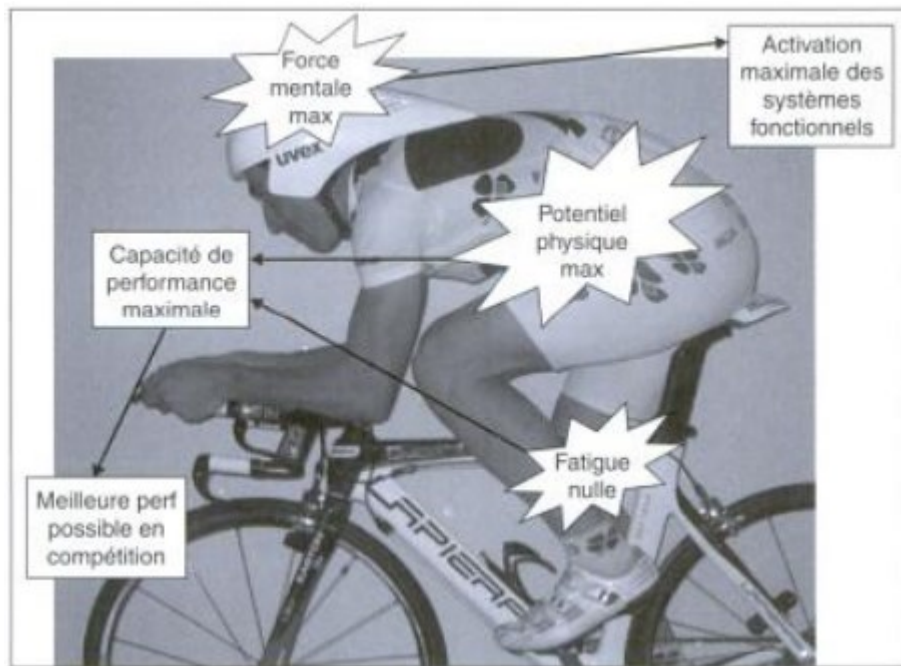


Figure 1 : Modèle permettant la réalisation de la meilleure performance possible en compétition (Grappe 2009)

L'évaluation du niveau de performance revêt notamment une importance majeure en raison du développement constant des connaissances dans les domaines de l'entraînement et de l'amélioration de la performance. De nos jours, l'atteinte de la performance à haut-niveau ne résulte plus uniquement de la possession de prédispositions génétiques. Elle exige désormais l'élaboration d'un processus d'entraînement permettant l'exploitation optimale des capacités du sportif. La prédiction de la performance apparaît dès lors essentielle afin de s'assurer de la bonne orientation de cet entraînement pour l'athlète dans sa recherche de la meilleure performance possible.

II. Revue de Littérature

1) L'évaluation du niveau de performance physiologique

La performance en cyclisme est influencée par de nombreux facteurs, tels que les conditions environnementales (relief, vent...) et les stratégies de gestion de course inhérentes aux compétitions se déroulant en peloton. Ainsi, ce n'est pas toujours le plus fort physiquement qui l'emporte. Cependant, dans la ligné des travaux de Hill et *coll.* (1923), de nombreux chercheurs ont tenté d'identifier les paramètres physiologiques permettant de prédire la performance cycliste. Ainsi, le VO₂Max a longtemps été considéré comme le déterminant principal de la performance en cyclisme (Bassett et Howley 1997 et 2000, Levinne 2008). Celui-ci, mesuré à l'aide d'analyseur de gaz expirés lors d'épreuves incrémentales, permettrait d'évaluer les capacités du métabolisme aérobie du sujet. VO₂Max serait donc directement relié au niveau de performance pour les sports mobilisant majoritairement cette filière, tels que les sports d'endurance (Bassett et Howley 1997 et 2000, Levinne 2008, Bosquet et *coll.* 2002). En cyclisme, la notion de VO₂Max est associée à celle de Puissance Maximale Aérobie (ou PMA) qui correspond à la puissance pic développée lors du dernier palier d'un test incrémental mené jusqu'à épuisement (Balmer et *coll.* 2000, Faria et *coll.* 2006). Cette PMA serait notamment directement corrélée au VO₂Max ($r = 0,97$; $p < 0,0001$) et illustrerait donc la capacité de performance en endurance d'un sportif (Hawley et Noakes 1992).

Les premières recherches ayant étudié les liens entre VO₂Max et performance en cyclisme se sont tout d'abord intéressées aux différences entre des sujets entraînés et des sujets sédentaires. Ces études ont dès lors souligné le lien entre le niveau d'entraînement en endurance et le VO₂Max : les cyclistes les plus entraînés étaient ceux qui disposaient du plus grand VO₂Max (Saltin et Astrand 1967). Ainsi le VO₂Max a longtemps été considéré comme le principal prédicteur de la performance pour les sports d'endurance tels que cyclisme sur route (Bassett et Howley 1997, 2000, Levinne 2008). Cependant, ce postulat a été remis en cause par les études s'étant intéressées aux déterminants de la performance pour des groupes homogènes de cyclistes de haut-niveau. De nombreuses études ont notamment montré que le VO₂Max ne permettait pas de prédire le niveau de performance en compétition chez des cyclistes professionnels (Chicharro et *coll.* 2000, Lucia et *coll.* 1998, 2000, 2004). D'après ces études, un VO₂Max plus important ne serait pas

systématiquement relié à un niveau de performance plus élevé. Cet indicateur ne permettait donc pas de prédire la performance chez des cyclistes compétiteurs.

De plus, si l'évaluation de la PMA à partir d'un test incrémental est devenue le lot courant des cyclistes de haut-niveau depuis maintenant plusieurs années (Padilla et coll. 1998), les études s'étant intéressées aux relations entre PMA et niveau de performance ont obtenues des résultats contradictoires. En effet, de nombreux auteurs ont observé des corrélations entre PMA et la performance lors de contre-la-montre (Hawley et Noakes 1992, Tan et Aziz 2005, Coyle et coll. 1991). Cependant, d'autres études n'ont pas permis de retrouver ces mêmes relations (Lucia et coll. 2004). Les travaux de Bentley et coll. (2001) et de Balmer et coll. (1999) illustrent bien cette contradiction et mettent en évidence la complexité des liens entre PMA et performance. En effet, Bentley et coll. (2001) ont bien observé une corrélation significative entre PMA et la puissance développée lors d'un contre-la-montre de 90 minutes chez 9 cyclistes compétiteurs ($r = 0,91$; $p < 0,01$). Cependant, ils n'ont retrouvé aucune relation significative chez ces cyclistes entre cette même PMA et la puissance développée lors d'un contre-la-montre de 20 minutes ($r = 0,54$; $p > 0,05$). De plus, Balmer et coll. (1999) ont montré, chez 16 cyclistes compétiteurs, que la PMA était corrélée à la puissance développée lors d'un contre-la-montre de 16,1 km sur le terrain ($r = 0,99$; $p < 0,001$). Cependant, ces auteurs ont également montré que cette même PMA n'était pas relié à la performance chronométrique réalisée sur ce contre-la-montre de 16,1 km ($r = 0,46$; $p > 0,05$). Les relations entre PMA et performance en cyclisme semble donc complexes, cet indicateur serait ainsi difficilement utilisable afin de prédire le niveau de performance en compétition pour des cyclistes entraînés.

De plus, les différents travaux ayant étudié les liens entre les variations de PMA et l'amélioration des performances à la suite de l'entraînement mettent également en évidence des résultats contradictoires. Il a ainsi été à maintes reprises démontré que l'entraînement en endurance permettait d'améliorer la PMA, y compris chez des cyclistes déjà entraînés. De plus, ces gains de PMA ont souvent été directement reliés à une amélioration de la performance cycliste. Sassi et coll. (2008) ont notamment observé une augmentation significative de la PMA pour un groupe de 13 cyclistes professionnels entre la période de repos hivernal ($417,8 \pm 46.5$ W), la fin de l'entraînement hivernal (443 ± 48 W) et la période compétitive (455 ± 48 W). Cependant, d'autres auteurs ont mis en évidence que ces gains de PMA dus à l'entraînement ne reflétaient pas toujours avec précision les

améliorations en termes de performance. Westgarth-Taylor et *coll.* (1997) et Lindsay et *coll.* (1996) ont notamment montré qu'à la suite de séances d'entraînement à haute intensité, des cyclistes entraînés avaient amélioré à la fois leur PMA et leurs performances en CLM de 40km. Cependant, ces améliorations de la performance étaient permises par une plus grande capacité des athlètes à maintenir un pourcentage important de PMA sur l'ensemble du CLM (figure 2). Ainsi, l'amélioration de la performance lors de CLM de 40km ne serait pas directement corrélée à l'augmentation de la PMA chez des cyclistes entraînés. L'utilisation dans le cadre d'un suivi longitudinal de tests permettant d'évaluer la PMA ne serait donc pas optimale afin de suivre et de prédire le niveau de performance chez des cyclistes de haut-niveau.

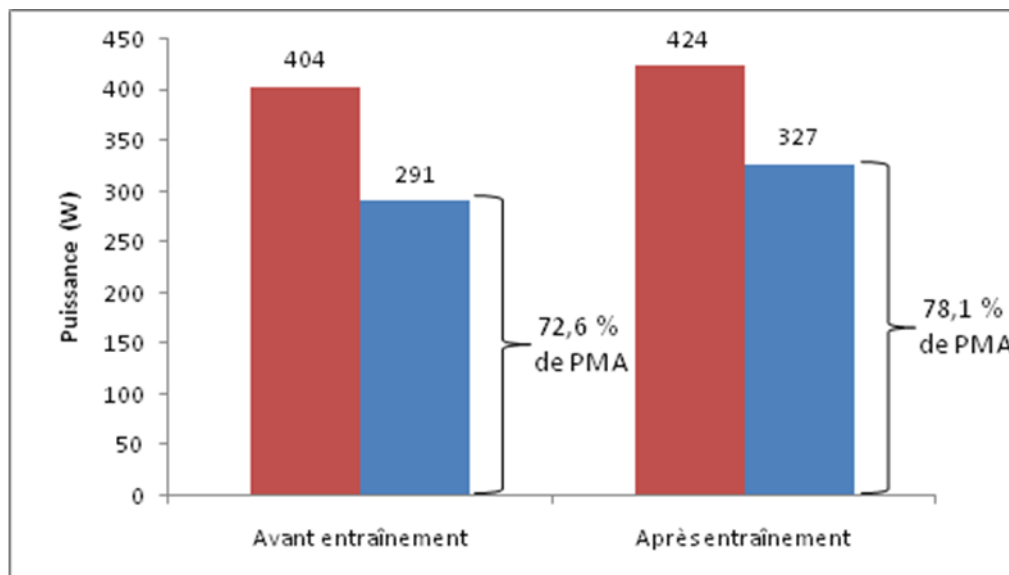


Figure 2 : Evolution de la PMA (en rouge) et de la puissance moyenne développée lors d'un test contre-la-montre de 40 km (en bleu) après un entraînement à haute-intensité (Westgarth-Taylor et *coll.* 1997)

Suite à ce constat, les physiologistes ont dès lors tenté d'identifier les caractéristiques permettant d'expliquer les différences de performance chez des cyclistes possédant une même PMA ou un même VO_2Max . Ainsi, la capacité du sportif à maintenir le pourcentage le plus élevé possible de ce niveau d'intensité maximale (PMA ou VO_2Max) sur l'ensemble de l'effort, parfois appelée «endurance aérobie», a été identifiée comme ayant une influence majeure sur la performance (Bosquet et *coll.* 2002). Cette endurance aérobie, évaluée notamment grâce aux méthodes des seuils lactiques et ventilatoires (SV1 et SV2, Faria et *coll.* 2006, Bosquet et *coll.* 2002), serait notamment reliée au niveau de

performance chez des cyclistes de haut-niveau. Lucia et *coll.* (2004) ont notamment montré que la performance de onze cyclistes professionnels sur les contre-la-montre des Tour de France 1998 et 1999 était corrélée à leur niveau de puissance développée à SV1 ($r = -0,864$; $p = 0,026$; $r = -0,77$; $p = 0,27$ et $r = -0,923$; $p = 0,025$; Figure 3). De la même manière, Hopkins et McKenzie (1994) ont montré que la performance lors d'un contre-la-montre de 40 km était corrélée à la puissance développée à SV1 ($r = -0,81$). De plus, Chicharro et *coll.* (2000) ont également montré que des cyclistes professionnels développaient des puissances significativement plus importantes à SV1 et SV2 en période de compétition qu'en période de repos hivernal, alors qu'ils observaient une tendance non significative à la diminution de la PMA entre ces deux périodes. L'entraînement chez ces cyclistes professionnels provoquerait ainsi davantage une augmentation de la capacité à maintenir un pourcentage élevé de la PMA à SV1 et SV2 et davantage qu'une augmentation de la PMA. Il semble ainsi possible d'émettre l'hypothèse selon laquelle la performance en cyclisme serait davantage reliée à la capacité à produire des puissances importantes aux différents seuils ventilatoires qu'à la PMA.

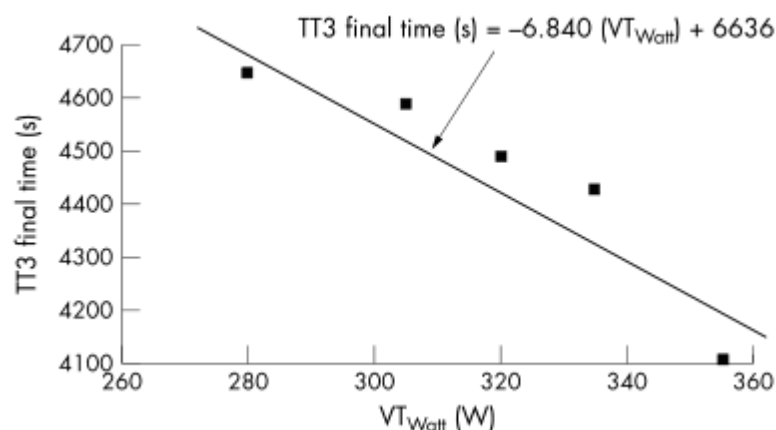


Figure 3 : Équation de la relation entre la puissance à SV1 et la performance chez 5 cyclistes professionnels lors du second CLM du Tour de France 1999 (Lucia et *coll.* 2004)

Les études ayant tenté d'évaluer l'intensité de l'effort au cours des courses cyclistes confortent également cette hypothèse. Les travaux de Padilla et *coll.* (2008, 2001, 2000), de Rodriguez-Marroyo et *coll.* (2003, 2009, 2011) et de Lucia et *coll.* (1999, 2001) ont ainsi montré que la majorité des efforts durant les courses cyclistes étaient réalisés à des intensités inférieures à SV2 et SV1 (Figure 4). En effet, seulement 1,5 à 10 % du temps lors des courses en ligne serait passé à des intensités supérieures à SV2 (Padilla et *coll.* 2001, Lucia et *coll.* 1999, Fernandez-Garcia et *coll.* 2000). De plus, même lors des contre-

la-montre et des montées de cols, qui représentent les efforts les plus intenses et les plus déterminants pour le résultat final lors des compétitions cyclistes (Padilla et coll. 2008), la majorité du temps d'effort serait passé à des intensités équivalentes ou inférieures à SV2. En contre la montre, seulement 3,5 % (pour les épreuves de plus de 42 km) à 53 % (pour les prologues, qui correspondent à des épreuves de moins de 10 km) du temps serait passé à des intensités supérieures à SV2 (Padilla et coll. 2000). De la même manière, seulement 2 à 20 % des efforts réalisés par les cyclistes lors de montées de cols correspondraient à des intensités supérieures à SV2 (Padilla et coll. 2008, Rodriguez-Marroyo et coll. 2003).

Les études s'étant intéressées aux puissances développées par les cyclistes en compétition ont également permis de tirer des conclusions similaires. Ebert et coll. (2006) ont notamment montré que les cyclistes professionnels passeraient au maximum 20 % du temps de course à des intensités supérieures à 5 W/kg. De la même manière, Vogt et coll. (2007) ont montré que les étapes du Tour de France étaient réalisées à des intensités moyennes sous-maximales (avec une puissance moyenne développée de 218 ± 21 W pour les étapes de plaine à 234 ± 13 W pour les étapes de haute montagne). De plus, seul une très faible part (de 2 % du temps total pour les étapes de haute montagne à 6 % pour les étapes de plaine) de ces étapes serait réalisé à des intensités très élevées (avec une puissance développée supérieure à 500 W). Ainsi les courses cyclistes seraient davantage caractérisées par des efforts sous-maximaux, avec notamment des intensités correspondant à SV1 et SV2 lors des efforts les plus intenses, que par des efforts à PMA.

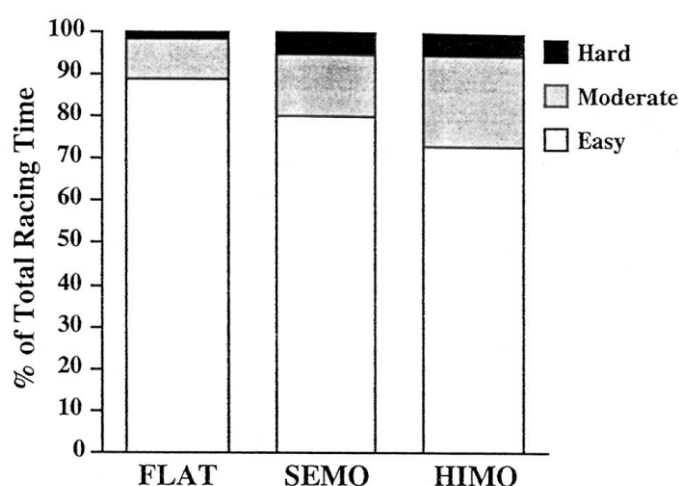


Figure 4 : Répartition du temps passé à des intensités réduite (« Easy », FC inférieure à FCLT1), modérée (« Moderate », FC comprise entre FCLT1 et FCLT2) et élevée (FC supérieure à FCLT2) en fonction du profil de l'étape (« FLAT », étape de plaine ;

« SEMO », étape de moyenne montagne ; « HIMO », étape de haute montagne) lors des Tours de France, d'Espagne et d'Italie 1994 et 1995 (Padilla et *coll.* 2001)

Les courses cyclistes sur route seraient donc principalement caractérisées par des efforts à des intensités inférieures à la PMA telles que SV1 ou SV2. Les puissances développées à ces différents seuils seraient donc les éléments les plus pertinents pour la prédiction de la performance en cyclisme (Lucia et *coll.* 2004, Hopkins et McKenzie 1994, Faria et *coll.* 2006). Cependant, ces mesures demeurent aujourd'hui très contestées. De nombreux auteurs ont mis en évidence qu'il existait un nombre excessif de méthodes différentes visant à déterminer ces seuils (Bosquet et *coll.* 2002). De plus, nombres de ces méthodes d'estimation des seuils ventilatoires ou lactiques ne seraient pas valides car donnant des résultats contradictoires ou variant selon les conditions de passation (Hugues et *coll.* 1982, Kang et *coll.* 2001, Binder et *coll.* 2008). Enfin, les mécanismes physiologiques à l'origine de ces différents seuils demeurent contestés ou méconnus (Faude et *coll.* 2009). Ainsi, SV1 et SV2 ne seraient aujourd'hui pas de meilleurs prédicteurs de la performance cycliste que la PMA (Bosquet et *coll.* 2002). Des auteurs, tels que Jones et Ehsam en 1982, ont d'ailleurs proposé d'abandonner ces concepts de seuils pour l'évaluation du niveau de performance.

Le développement récent de la théorie du gouverneur central (St Clair Gibson et Noakes 2004) a également permis de comprendre que la performance sportive ne pouvait se résumer à l'atteinte des limites physiologiques de l'individu, telles que VO2Max ou les seuils. D'après Noakes (2011, 2012), celle-ci serait davantage due à des mécanismes complexes de régulation, issus du système nerveux central, visant le maintien de l'homéostasie et préservant l'organisme de toute défaillance biologique majeur. Ces auteurs ont dès lors émis l'hypothèse que la performance sportive serait trop complexe pour être prédite uniquement grâce à l'évaluation de paramètres physiologiques (Noakes 2011, 2012). L'estimation précise du niveau de capacité de performance d'un athlète ne serait donc possible qu'à travers la mesure directe des performances réalisées sur le terrain, en compétition ou à l'entraînement (Faria et *coll.* 2006, Bosquet et *coll.* 2002).

Plusieurs chercheurs ont d'ailleurs proposé d'analyser les efforts réalisés par les cyclistes en compétition par la détermination de la puissance mécanique moyennes maximale développée pour une durée donnée (ou « maximum mean power », MMP, Quod et *coll.* 2010, Ebbert et *coll.* 2006, Vogt et *coll.* 2007). D'après Quod et *coll.* (2010), l'analyse de

ces MMP pour des durées variées permettrait d'évaluer la capacité de performance physiologique d'un cycliste. Ces auteurs ont ainsi proposé un test de laboratoire, le « Power Profile » (ou PP), permettant de déterminer la puissance moyenne maximale qu'est capable de produire un cycliste sur des durées comprises entre 5 et 600 sec. Ce PP serait notamment relié au niveau de performance en compétition de l'athlète. Dans la continuité de ces travaux, Pinot et Grappe (2011) ont proposé l'établissement d'un « Profil de Puissance Record » (ou PPR) grâce au recueil, sur 13 durées différentes allant de 1 sec à 4h, des MMP réalisées à chaque entraînement et compétition durant l'ensemble d'une saison cycliste. Ces auteurs ont montré que ce PPR et ses évolutions représenteraient une « signature » des capacités physiques de l'athlète. Ce PPR permettrait ainsi non seulement d'évaluer le niveau de performance d'un cycliste mais également d'identifier ses caractéristiques spécifiques et ses principales qualités en course (Figure 5).

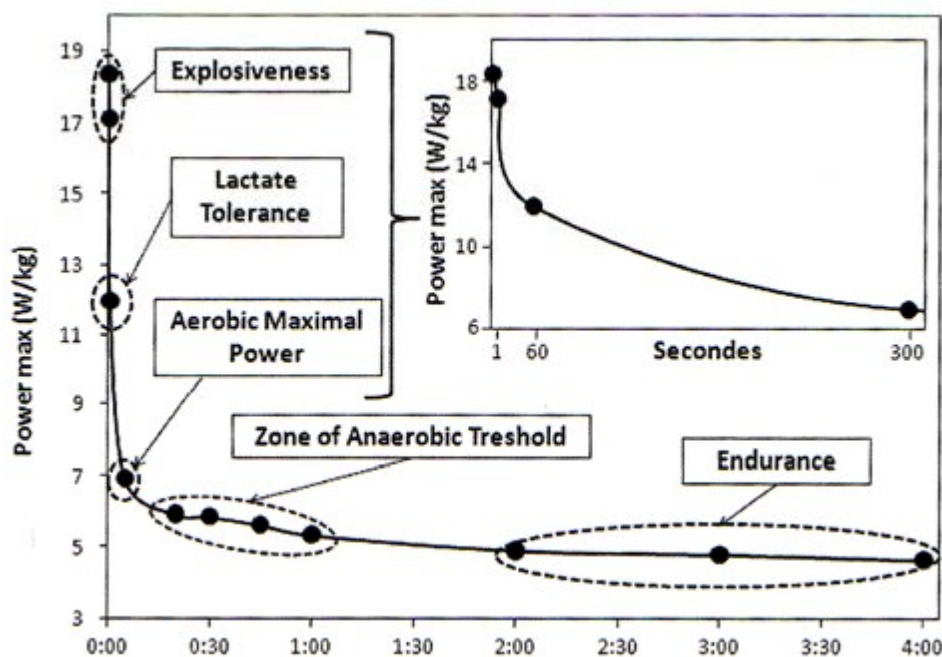


Figure 5 : Détermination des caractéristiques d'un cycliste à partir de son PPR (Pinot et Grappe 2010)

L'utilisation des capteurs des puissances et l'établissement du PPR permettrait ainsi d'évaluer et de prédire avec un haut niveau de précision les capacités physiologiques d'un cycliste. Cependant, la réalisation de ce type de profil nécessite le recueil sur plusieurs mois des données issues de capteurs de puissances ce qui limite fortement son utilisation pour les entraîneurs sur le terrain dans le cadre du suivi et de la planification de

l'entraînement (Grappe 2012). Il serait ainsi intéressant de pouvoir recueillir de manière instantanée lors d'un test ce type de données permettant l'évaluation des capacités du cycliste à produire de hautes puissances à différentes intensités d'effort.

Si les efforts à intensités sous-maximales ont été montrés comme essentiels lors des courses cyclistes, très peu de chercheurs ont tenté de les intégrer au sein de tests visant à prédire la performance cycliste. Dès 1954, Astrand et Rhyning avaient proposé des protocoles d'évaluation du niveau de performance à partir d'efforts sous-maximaux. Cependant, ces tests visaient à déterminer VO_2Max , qui comme démontré précédemment ne permet pas de prédire le niveau de performance chez des cyclistes de haut-niveau. Ces tests ne permettent donc pas de prédire efficacement la performance chez des cyclistes entraînés (Lamberts 2009). Il aura fallu ensuite attendre 2009 et les travaux de Lamberts et *coll.* pour que cette possibilité de prédire la performance à partir d'efforts sous-maximaux soit de nouveau étudiée par les chercheurs. Ces auteurs ont proposé un test, le « Lamberts and Lambert Submaximal Cycle Test » (ou LSCT), permettant d'évaluer le niveau de performance et le niveau de fatigue d'un cycliste en seulement 17 minutes et uniquement à partir de la mesure de la puissance développée à des FC sous-maximales (60, 80 et 90 % de FCmax) et de la vitesse de diminution de FC après l'effort (Lamberts et *coll.* 2011). Ce test apparaît donc comme idéal pour le suivi de l'entraînement. En effet, il est relativement court, génère peu de fatigue et pourrait donc être réalisé de manière régulière par les athlètes sans perturber leurs entraînements habituels (Lamberts 2009). Cependant, si ce test a été montré comme permettant de prédire la PMA et la performance en CLM chez des cyclistes entraînés (Lamberts et *coll.* 2011, 2014, Figure 6), il n'a pour l'instant été que très peu étudié dans le cadre du suivi de l'entraînement (Lamberts et *coll.* 2010). Il semblerait ainsi intéressant d'analyser les évolutions des résultats de ce test dans le cadre d'un suivi de l'entraînement afin d'étudier s'il serait utilisable pour prédire les évolutions du niveau de performance d'un cycliste sur l'ensemble d'une saison.

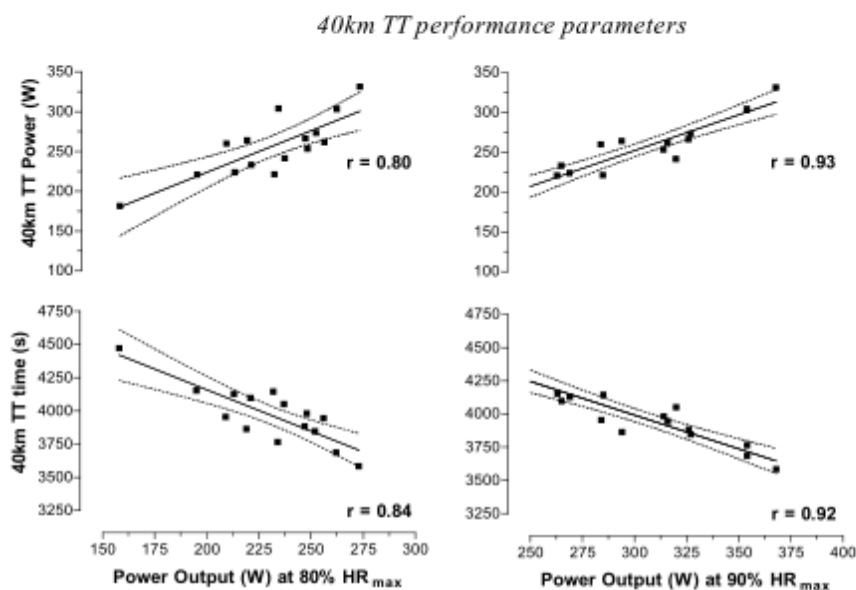


Figure 6 : Corrélations entre les variables mesurées lors du test LSCT et les indicateurs de la performance lors d'un test CLM de 40km (Lamberts et *coll.* 2011)

Les différents travaux ont ainsi mis en évidence qu'il était extrêmement difficile de prédire avec précision la capacité de performance d'un cycliste à partir de test de laboratoire. De plus, l'ensemble de ces méthodes présentent la performance cycliste d'une manière très réductrice, en la définissant principalement comme la capacité à produire le plus haut niveau de puissance mécanique pour une intensité ou une durée donnée. Or, en cyclisme peut-être encore davantage que dans les autres sports d'endurance, ce n'est pas toujours le plus fort physiquement qui gagne. Le modèle du Gouverneur Central (Noakes 2011, 2012) permet de mettre en évidence que la performance est également influencée par une multitude d'autres facteurs, parmi lesquels on retrouve notamment de nombreux aspects psychologiques. La prédiction du niveau de capacité de performance d'un cycliste ne peut donc pas se limiter qu'à l'évaluation de son niveau de performance physiologique. Elle doit prendre en compte l'ensemble des différents facteurs de la performance, et notamment les facteurs psychologiques.

2) Performance et marqueurs psychologiques

Les premières recherches ayant analysé les relations entre les indicateurs psychologiques et la performance se sont particulièrement intéressées aux liens entre le niveau de fatigue, et notamment le surentraînement, et les émotions (Morgan 1987, O'Connor et *coll.* 1989,

Koutedakis et coll. 1990). Ces études ont notamment mis en évidence que les sportifs en situation de succès présentaient des profils d'humeur spécifique, avec notamment des niveaux de vigueur et d'activité important et des niveaux de dépression et de fatigue ressentie réduit (Morgan 1987, Filaire et coll. 2001). A l'inverse, l'augmentation de la fatigue et le surentraînement seraient caractérisés par une dégradation du niveau d'humeur et une tendance à la dépression plus importante chez l'athlète (Koutedakis et coll. 1990, Verde et coll. 1992, Meeusen et coll. 2006). Il a été à de maintes reprises démontré que les questionnaires permettant d'évaluer ses fluctuations du niveau d'humeur, tels que le « Profile of Mood State » (POMS, McNair et coll. 1971) et le « Daily Analysis of Life Demands of Athletes » (DALDA, Rushall 1990) seraient ainsi utilisables afin d'identifier les évolutions des niveaux de forme et de fatigue de l'athlète (Figure 5, Koutedakis et coll. 1990, Verde et coll. 1992). Cependant, plusieurs auteurs ont mis en évidence que ce type de questionnaire présentait de multiples faiblesses dans le cadre de la prédiction des niveaux de performance et de fatigue pour le suivi de l'entraînement. Meeusen et coll. (2006) ont notamment souligné que de nombreux autres facteurs pouvaient venir influencer les réponses à ces questionnaires, tels que le moment choisi pour recueillir les réponses de l'athlète ou son niveau d'honnêteté envers l'entraîneur. Ce type de questionnaire serait donc difficilement utilisable seul dans le cadre du suivi de l'entraînement et nécessiterait d'être associée à d'autres méthodes visant la prédiction de la performance (Lamberts 2009).

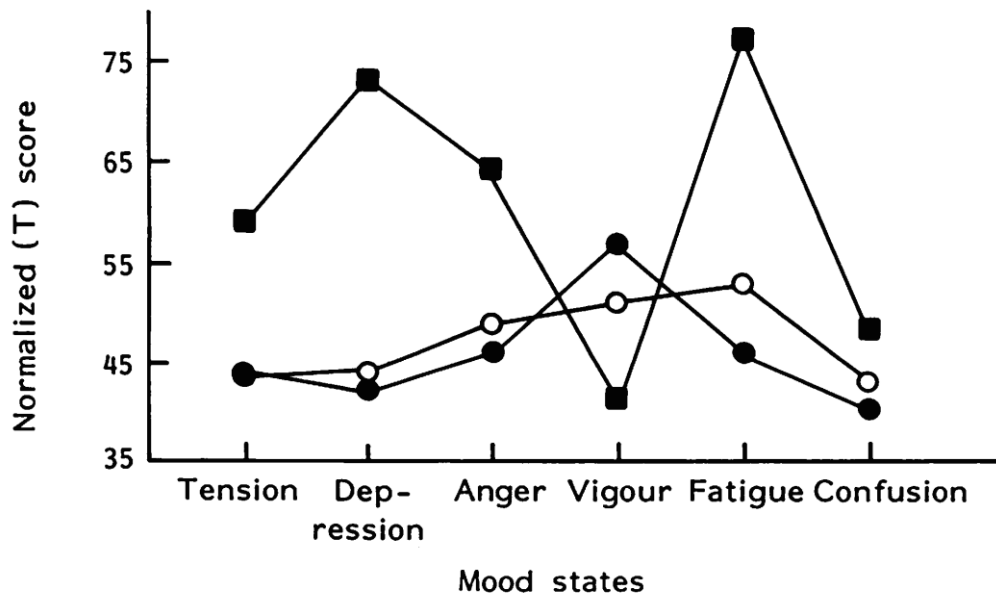


Figure 7 : Profil « POMS » pour des athlètes « avant entraînement » (●), après une période d'entraînement intense (○) et en surentraînement (■, Verde et coll. 1992)

Dans la ligné de ces travaux, plusieurs auteurs ont montré que d'autres indicateurs psychologiques pouvaient être utilisés dans le cadre d'un suivi de l'entraînement afin de prédire le niveau de fatigue. Hooper et coll. (1995) ont notamment montré que l'auto-évaluation par des nageurs, à l'aide d'échelles perceptives, de leurs niveaux de fatigue, de stress, de perturbations du sommeil et de douleurs musculaires permettait de prédire les contre-performances plusieurs semaines à l'avance. Grappe (2009) a également proposé l'utilisation d'un « Indice de Fatigue », issu de l'évaluation subjective par l'athlète de ses niveaux d'humeur et de sensation sur deux échelles perceptives allant de 1 à 10. Cette Indice de Fatigue serait notamment directement relié au volume ($r = 0,63$; $p < 0,01$) et à la charge d'entraînement ($r = 0,69$; $p < 0,01$) et permettrait donc de quantifier l'apparition de la fatigue (Beaulieu et Grappe 1999). Ainsi, les évolutions des états perceptifs et émotionnels seraient utilisables afin d'évaluer le niveau de fatigue et de prédire les variations du niveau de performance.

Cependant, les marqueurs psychologiques ne sont pas liés uniquement à l'apparition de la fatigue et plusieurs études ont mis en évidence que de nombreuses caractéristiques psychologiques seraient des déterminants majeurs de la performance en compétition. Les

émotions précompétitives (Hanin 2000), la motivation (Gillet et coll. 2009) et le choix d'une stratégie d'allure optimale (Atkinson et Brunskill 2000) ont notamment été montrés comme ayant une influence majeure sur la performance. Les relations entre la performance et l'anxiété et la confiance en soi ont également été particulièrement étudiées par les chercheurs. De nombreuses études ont ainsi mis en évidence que les niveaux d'anxiété et de confiance en soi précompétitifs, évalués à l'aide du « Competitive state-anxiety inventory » (CSAI-2, Martens et coll. 1990) ou de sa traduction française (« l'échelle d'état d'anxiété en compétition », EEAC, Curry et coll. 1999), étaient de bons prédicteurs de la performance en compétition (McCann et coll. 1992, Woodman et Hardy 2003, Parfitt et Pates 1999). Une étude de Paquet et coll. (2008) a ainsi mis en évidence que les cyclistes les plus performants et ayant la meilleure progression présentaient systématiquement un profil avec des niveaux d'anxiété précompétitive faibles et une confiance en soi élevée. À l'inverse, les cyclistes présentant une confiance en soi réduite et un niveau d'anxiété précompétitif important seraient ceux dont les performances avaient tendance à stagner voire à se dégrader. L'anxiété et la confiance en soi seraient donc des éléments majeurs à prendre en compte dans la prédiction de la performance en cyclisme. Cependant, des résultats contradictoires ont également été observés (Hammermeister et Burton 1995, Martin et Gil 1991). De plus, aucune étude à notre connaissance ne s'est intéressée aux évolutions, en lien avec la performance, des niveaux d'anxiété et de confiance en soi chez des mêmes cyclistes dans le cadre d'un suivi de l'entraînement.

Un autre facteur psychologique, le « Flow », a été montré comme particulièrement déterminant pour la réalisation de hautes performances. Ce concept, mis en évidence par les travaux de Csikszentmihalyi (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 a été montré, dans le cadre de la pratique sportive, comme relié à des performances de haut-niveau (Jackson et Roberts 1992, Jackson et Csikszentmihalyi 1999). Son développement nécessiterait notamment un équilibre entre les compétences de l'athlète et les exigences de la situation ainsi que son immersion totale dans la tâche (Jackson et Csikszentmihalyi 1999). Cette immersion totale permettrait alors l'apparition d'un état de conscience modifié, caractérisé par une modification de la perception de l'écoulement du temps et un sentiment de contrôle total, idéal pour la réalisation de hautes performances (Jackson et Roberts 1992, Demontrond et Gaudreau 2008). Cependant, bien que cet état de « flow » soit ponctuel, très peu d'études

ont cherché à analyser ses évolutions et ses fluctuations chez un même athlète au cours d'une saison sportive. L'un des enjeux des recherches futures sera donc d'identifier les relations existantes entre le niveau d'atteinte de cet état de « flow » et les résultats obtenus par l'athlète afin de comprendre dans quelle mesure son développement est lié au niveau de performance.

Les facteurs psychologiques ont donc été montrés comme ayant une influence majeure sur la performance sportive. La prédiction de la performance se doit dès lors de prendre en compte ces aspects psychologiques et ne peut plus se faire de manière réductrice uniquement à partir des caractéristiques physiologiques du sportif.

De nombreux éléments peuvent donc être utilisés pour prédire la performance en cyclisme. Cependant, la majorité des études se sont intéressées à ces déterminants de la performance de manière cloisonnée, sans prendre en compte leurs liens potentiels ni tenter de les unir au sein de modèles plus complets de prédiction de la performance. Il serait donc intéressant de suivre les évolutions communes de ces différents indicateurs, en lien avec le niveau de performance des athlètes, afin de déterminer lesquels d'entre-eux seraient susceptibles d'être intégrés au sein de modèles multidimensionnels de prédiction de la performance.

III. Objectifs et hypothèses

Cette étude a donc pour objectif d'analyser les relations entre le niveau de capacité de performance des cyclistes et les différents marqueurs physiologiques et psychologiques utilisables dans le cadre d'un suivi de l'entraînement.

Au vu de l'ensemble des travaux présentés ci-dessus il est possible d'émettre les hypothèses suivantes : 1) Les puissances développées aux différents paliers du test LSCT ($P_{LSCT\ 90\%FC_{max}}$, $P_{LSCT\ 80\%FC_{max}}$ et $P_{LSCT\ 70\%FC_{max}}$) seraient corrélés à la PMA, 2) la charge et le volume d'entraînement hebdomadaire seraient reliés à l'indice de fatigue et à la vitesse de diminution de fréquence cardiaque suivant le test LSCT (HRR), 3) le niveau de capacité de performance serait directement relié au niveau de performance physiologique (PMA, $P_{LSCT\ 90\%FC_{max}}$, $P_{LSCT\ 80\%FC_{max}}$ et $P_{LSCT\ 70\%FC_{max}}$) et aux déterminants psychologiques de la performance (Niveaux d'atteinte de l'état de « flow » en compétition, de confiance en soi et d'anxiété pré-compétitive).

IV. Méthodologie :

1) Sujets

Trois cyclistes volontaires ont participé à cette étude. Tous étaient compétiteurs de niveau régional à national licencié au sein de la Fédération Française de Cyclisme (FFC). Ces cyclistes répondaient, de part : 1) leurs habitudes d'entraînement (fréquence et durée des entraînements), 2) leur niveau de pratique (fréquence et niveau des compétitions) et 3) leurs caractéristiques physiologiques (PMA), aux critères d'appartenance des catégories de cyclistes « très entraînés » (n=2) ou « élite » (n=1) définis par Jekendrup et *coll.* (2000, Table 1 : Caractéristiques des sujets).

Table 1 : Caractéristiques des sujets

	Age	Niveau de pratique	Volume d'entraînement hebdomadaire moyen (h)	PMA (W)	Poids (kg)
Sujet 1	24	1ère catégorie FFC, DN3	16,27 ± 2,97	443	73
Sujet 2	20	3ème catégorie FFC	12,34 ± 5,29	381	69
Sujet 3	18	2ème catégorie FFC	12,64 ± 4,23	387	72

3) Déroulement de l'étude

Ces trois cyclistes ont été suivis sur une durée de 5 mois correspondant à leurs périodes d'entraînement précompétitif (janvier-février) et de début de saison compétitive (mars-mai) de cyclisme sur route, telles que définies par la FFC. Les caractéristiques de ces deux périodes sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Table 2 : Caractéristiques des périodes précompétitives et compétitives

	Période pré-compétitive (Janvier-Février)	Période compétitive (Mars-Mai)
Nombre de semaines	9 ± 4,36	9 ± 1,73
Nombre de compétitions	0	13,33 ± 5,86
Charge d'entraînement hebdomadaire moyenne (u.a.)	4670 ± 2112	5038 ± 1633
Évaluations EEAC et FSS-2 passées	0	2,67 ± 0,58
Tests PMA réalisés	2 ± 1	2,67 ± 0,58
Tests LSCT réalisés	6,67 ± 3,79	5,33 ± 2,52

Sur l'ensemble de ces deux périodes, les données relatives aux entraînements et aux performances en compétitions des sujets ont été recueillies à l'aide des 5 méthodes de suivi détaillées ci-dessous.

4) Suivi des performances et des états psychologiques en compétition

- *Evaluation perceptive du niveau de capacité de performance*

Les performances obtenues sur l'ensemble des périodes compétitives des sujets ont été analysées. Après chaque compétition, les sujets avaient pour consigne d'évaluer leurs niveaux de potentiel physique et mental à l'aide d'une échelle de Likert à 10 points. Ces niveaux de potentiel physique et mental étaient ensuite intégrés à un nomogramme afin de déterminer le niveau de capacité de performance du sujet sur cette compétition (figure 8). Ce nomogramme se compose de trois axes gradués de 0 à 10 : 1) à gauche, l'axe permettant de reporter le score de potentiel physique, 2) à droite, celui permettant de reporter le score de potentiel mental, 3) au centre, l'axe permettant d'obtenir le niveau de capacité de performance sur la compétition. Une fois reporté sur leurs axes respectifs, une droite était tracée entre les valeurs de potentiel physique et de potentiel mental. Cette droite permettait alors d'obtenir un niveau, allant de 0 à 10, de capacité de performance sur la compétition correspondant à la valeur lue sur l'axe central au point d'intersection entre celui-ci et cette droite. L'axe central, placé à égale distance entre l'axe de potentiel physique et celui de

potentiel mental, permettait ainsi d'obtenir un score évaluant le niveau de capacité de performance en compétition du cycliste.

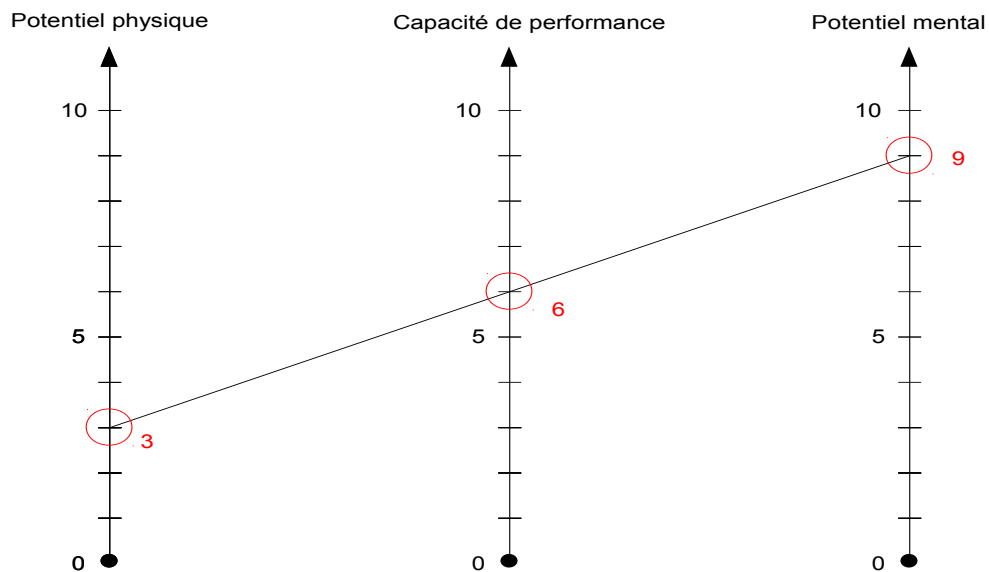


Figure 8 : Exemple d'utilisation de l'échelle d'évaluation de la capacité de performance sportive. Ici le sportif a évalué son niveau de potentiel physique à 3 et son niveau de potentiel mental à 9. Il obtient ainsi une note de capacité de performance de 6 sur 10.

- *Évaluation des niveaux d'anxiété et de confiance en soi*

Chaque mois où les sujets participaient à au moins une compétition, leurs niveaux d'anxiété somatique, d'anxiété cognitive et de confiance en soi étaient évalués à l'aide de l'échelle 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 ou de la période concernée (de « 1=Pas du tout » à « 4=Beaucoup », Annexe 1 : Échelle EEAC). Ce questionnaire permet ainsi d'obtenir des scores évaluant les niveaux d'anxiété somatique, d'anxiété cognitive et de confiance en soi pour cette période ou compétition (figure 9). 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 ressentait au cours de la ou des compétitions concernées. Plusieurs études ont utilisées ce mode de passation rétrospectif et n'ont pas identifié de différence avec le mode de passation 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 passation mais respecte de plus en plus 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).

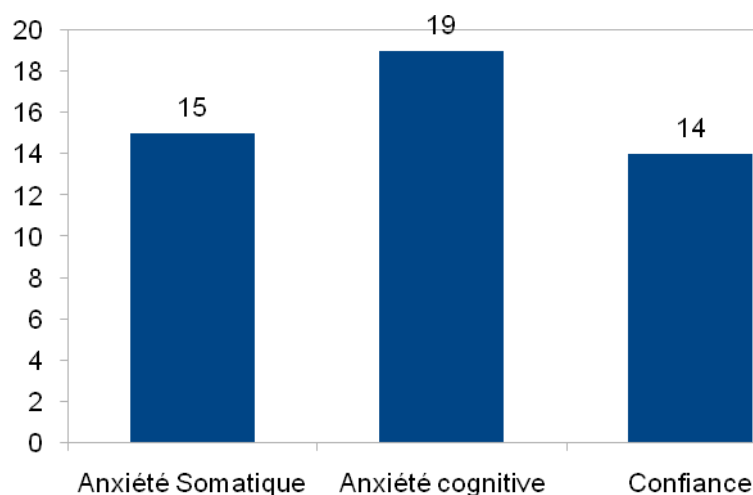


Figure 9 : Exemple de profil d'anxiété réalisé à l'aide de l'EEAC

- *Évaluation de l'état de « flow »*

Chaque mois où les sujets participaient à au moins une compétition, leur niveau d'atteinte de l'état de « flow » en compétition était également évalué grâce à une version traduite en français de l'échelle « Flow State Scale-2 » (FSS-2, Jackson et Marsh 1996). Cette échelle 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, Annexe 2 : Version traduite de l'échelle FSS-2). Des scores moyens pour chacune des 9 sous-dimensions, ainsi qu'un score global évaluant le niveau d'atteinte de l'état de « flow », est ainsi obtenu pour la ou les compétitions concernées (Figure 10).

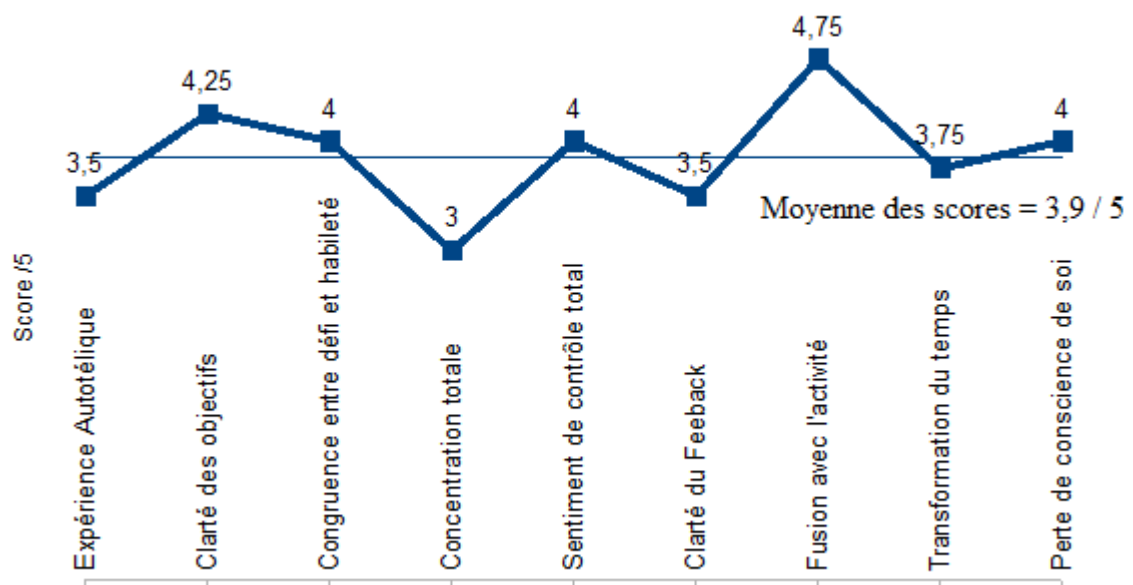


Figure 10 : Exemple de profil d'atteinte de l'état de « Flow » en compétition. *Le sportif a ici obtenu un score global d'atteinte de l'état de « Flow » de 3,9 sur 5.*

5) Suivi de la charge d'entraînement et du niveau de fatigue

- *Calcul de la charge d'entraînement*

Sur l'ensemble des 5 mois de l'étude les sujets ont tenu un dispositif de carnet d'entraînement leur permettant de recueillir la durée ainsi que la difficulté (RPE, évalué à l'aide de l'échelle CR-10 de Borg, voir Annexe 3 : Échelle d'estimation subjective de l'intensité d'exercice CR-10, Borg 1998) de chaque entraînement réalisé. La charge d'entraînement était alors calculée à l'aide de la méthode développée par Foster et coll. (2001) présentée ci-dessous.

$$\text{Charge d'entraînement} = \text{Durée de l'entraînement} \times \text{RPE}$$

avec la charge d'entraînement en unité arbitraire, la durée de l'entraînement en minute et RPE, la difficulté perçue de l'exercice évaluée grâce à l'échelle CR-10 de Borg.

- *Calcul de l'indice de fatigue*

Les sujets devaient également reporter dans ce carnet une évaluation subjective pour chaque entraînement de leurs niveaux d'humeur et de sensations estimés à l'aide des échelles d'humeur et de sensation proposées par Grappe (2009, Annexe 4 : Échelles de

sensations et d'humeur). Les notes subjectives des niveaux d'humeur et de sensations étaient ainsi obtenues pour chaque entraînement afin de permettre le calcul d'un indice de fatigue grâce à la formule proposée par Beaulieu et Grappe (1999) présentée ci-dessous.

$$\text{Indice de Fatigue} = (\text{Niveau de sensation} + \text{Niveau d'humeur}) / 2$$

6) Tests de prédiction des niveaux de performance et de fatigue

- *Estimation de la PMA lors d'un test CLM 4 min*

D'après Nimmerichter et coll. (2010), la puissance moyenne développée sur un effort maximal de 4 min permet de prédire la PMA d'un cycliste. Les sujets ont ainsi réalisé une fois par mois sur cycloergomètre un test CLM de 4 min afin d'évaluer cette PMA. Lors de ces tests, les sujets avaient pour consigne de produire un effort maximal d'une durée de 4 min. Le choix de la cadence de pédalage et du développement utilisé était laissé libre. La PMA était alors mesurée comme étant la puissance mécanique moyenne développée sur l'ensemble du test (Figure 11). A noter que pour un même sujet, le test était systématiquement réalisé dans des conditions de fatigue identique, sur le même cycloergomètre et avec des réglages de position similaires. De plus, les sujets étant déjà fortement habitués à réaliser ce type de test à l'entraînement, ils développaient systématiquement la même stratégie de gestion de l'effort visant à réaliser la plus haute performance possible.

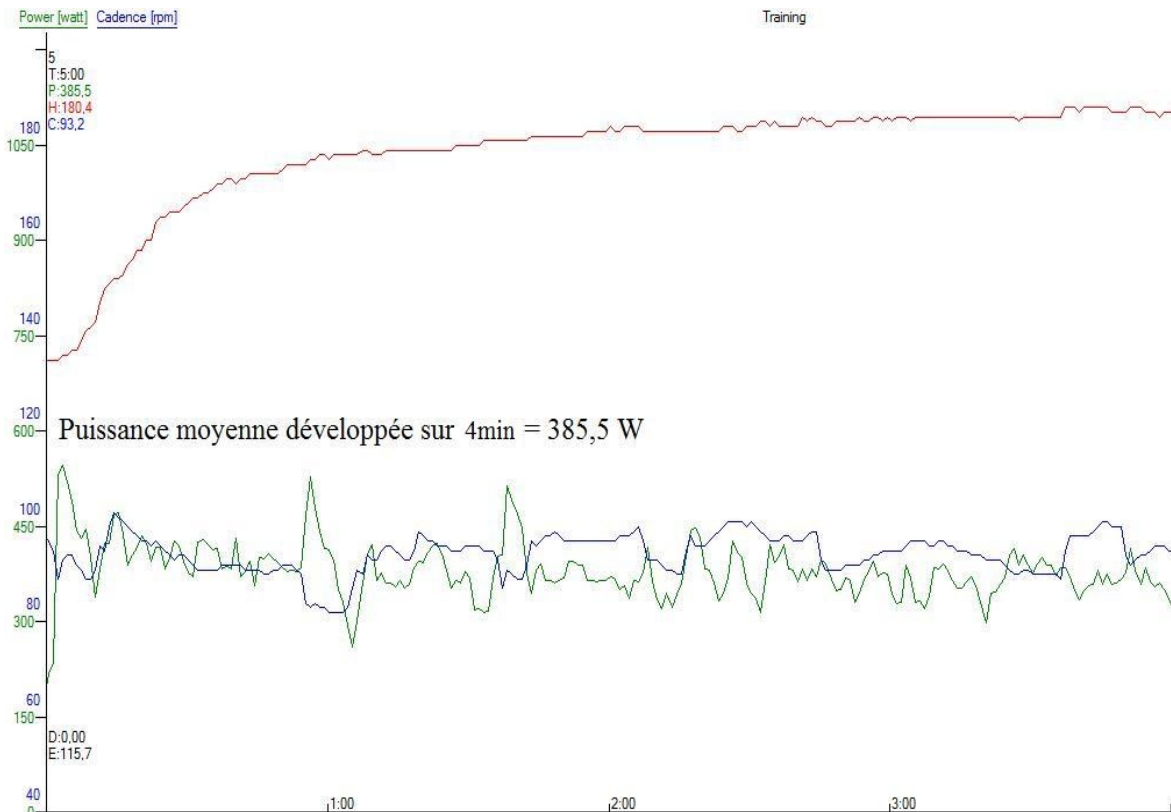


Figure 11 : Evolution de la PMA à partir de la puissance moyenne développée lors d'un test CLM de 4 min sur cycloergomètre

- *Lamberts and Lambert Submaximal Cycle Test*

Une fois par semaine, les sujets ont réalisé sur cycloergomètre une version adaptée du « Lamberts and Lambert Submaximal Cycle Test » (LSCT, Lamberts et *coll.* 2011) afin d'évaluer leurs niveaux de fatigue et de performance physique.

Ce test d'une durée de 16 min (15 min d'effort et 1 min de récupération passive) se compose de trois paliers successifs où les sujets doivent rouler à une fréquence cardiaque sous-maximale prédéterminée. Au premier palier du test (temps 0 à 6:00), les sujets avaient pour consigne de maintenir une fréquence cardiaque correspondant à 70 % de leur fréquence cardiaque maximale (FCmax). Sur le second palier (temps 6:00 à 12:00), ils devaient maintenir une fréquence cardiaque équivalente à 80 % de leur FCmax. Enfin, sur le troisième palier du test (temps 12:00 à 15:00), cette fréquence cardiaque cible était fixée à 90 % de leur FCmax. Immédiatement à la suite de ce dernier palier (temps 15:00 à 16:00), les sujets avaient pour consigne de cesser de pédaler, de se redresser sur le vélo et de récupérer en restant assis sur la selle sur une période de 60 seconde (Figure 12 : Lamberts and Lambert Submaximal Cycle Test). La cadence de pédalage et le développement utilisé étaient laissés libres. La fréquence cardiaque et la puissance

mécanique développée pédalage étaient enregistrées tout au long du test. En raison du temps nécessaire à la fréquence cardiaque pour atteindre le niveau souhaité et des ajustements d'intensité nécessaires aux sujets pour bien stabiliser celui-ci, les premières minutes de chacun des trois paliers ont été exclues de l'analyse (Lamberts et *coll.* 2011). Ainsi seul les temps 1:00 à 6:00 pour le premier palier, 7:00 à 12:00 pour le deuxième palier et 13:00 à 15:00 pour le troisième palier ont été analysés. Les puissances développées aux différents paliers du test ($P_{LSCT\ 90\%FC_{max}}$, $P_{LSCT\ 80\%FC_{max}}$ et $P_{LSCT\ 70\%FC_{max}}$) ont ainsi été obtenues. La fréquence cardiaque après la première minute du dernier palier ($FC_{LSCT\ palier\ 3}$) et la diminution de fréquence cardiaque au cours des 60 secondes de récupération (HRR), calculée à l'aide de la formule présentée ci-dessous, ont également été enregistrées.

$$HRR = FC_{15:00} - FC_{16:00}$$

Avec, HRR représentant la vitesse de diminution de fréquence cardiaque, $FC_{15:00}$ la fréquence cardiaque à la fin du troisième palier et $FC_{16:00}$ la fréquence cardiaque après les 60 secondes de récupération en bpm.

La difficulté perçue de l'effort à 90 % de FC_{max} ($RPE_{LSCT\ palier\ 3}$) était également évaluée à l'aide de l'échelle CR-10 de Borg (1998).

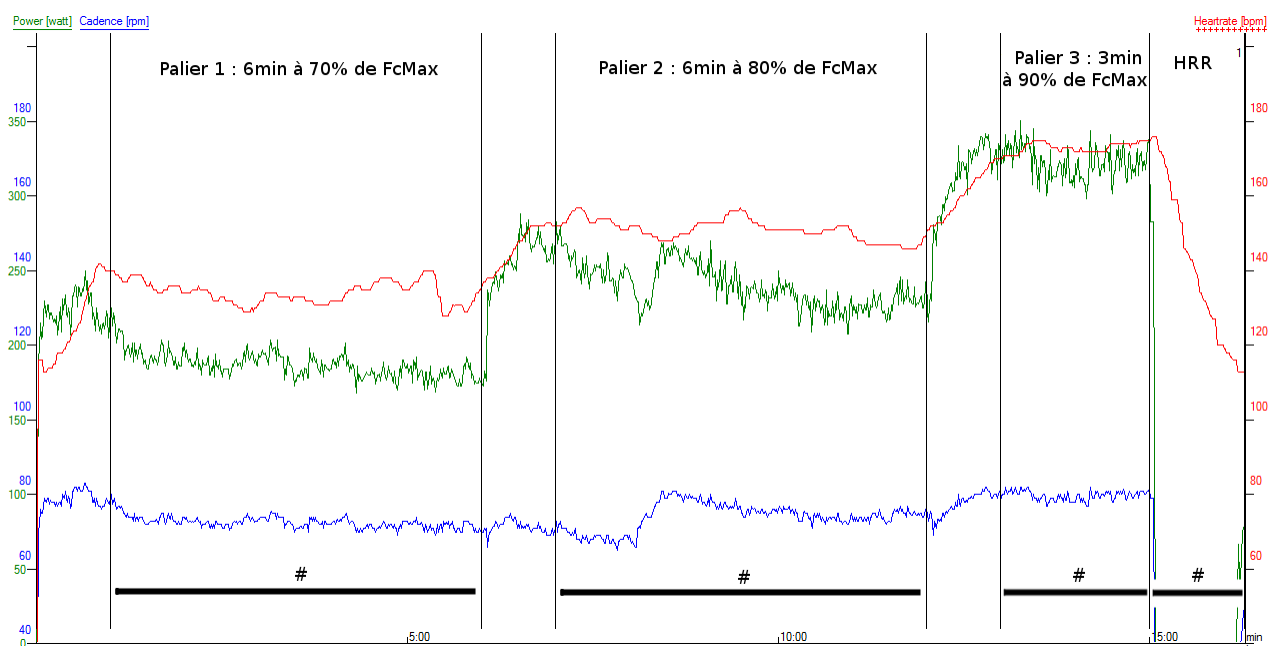


Figure 12 : Lamberts and Lambert Submaximal Cycle Test

(# Période de recueil des données analysées)

L'ensemble de ces données ont été utilisées afin d'évaluer les niveaux de performance et de fatigue des cyclistes (Figure 13). D'après Lamberts (2009), $P_{LSCT\ 90\%FC_{max}}$, $P_{LSCT\ 80\%FC_{max}}$ et $P_{LSCT\ 70\%FC_{max}}$ serait corrélées au niveau de performance du cycliste. HRR , $RPE_{LSCT\ palier\ 3}$ et $FC_{LSCT\ palier\ 3}$ permettrait pour leurs parts d'évaluer le niveau de fatigue de l'athlète (diminution de HRR et de $FC_{LSCT\ palier\ 3}$ et augmentation de $RPE_{LSCT\ palier\ 3}$ en cas d'augmentation du niveau de fatigue).

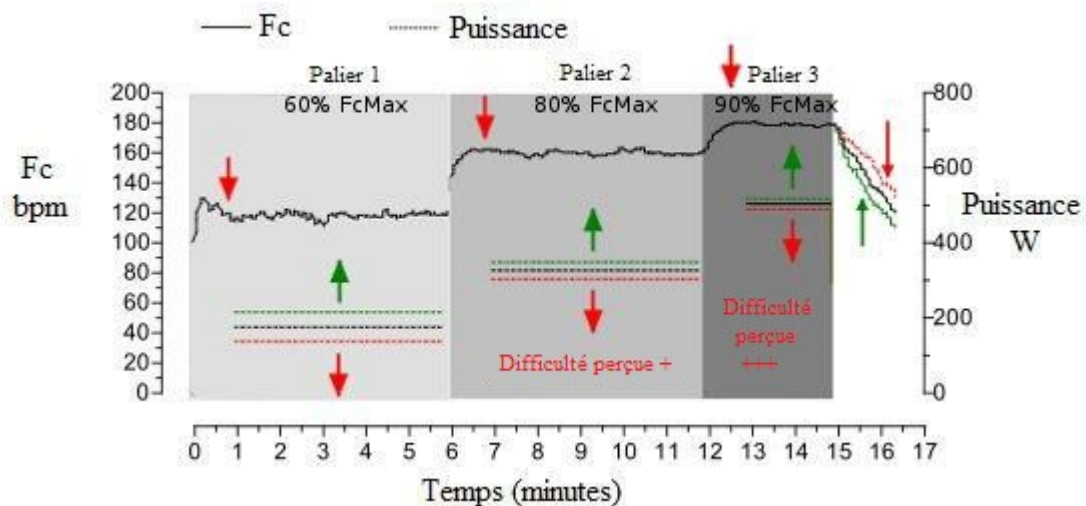


Figure 13 : Interprétation du test LSCT (Lamberts 2009).

Les sujets ont réalisé ce test une fois par semaine en guise d'échauffement préalable à un de leurs entraînements habituels ou à un des tests d'évaluation de la PMA précédemment présenté. Les sujets avaient pour consigne de ne pas réaliser d'activité physique au cours des 24h précédant le test. Ils disposaient ainsi de la possibilité d'annuler la session si leurs entraînements ou leur emploi du temps les empêchaient de remplir cette condition pour la semaine concernée.

Le déroulement du suivi et les périodicités de l'ensemble des méthodes utilisées sont résumés dans la figure présentée ci-dessous (figure 14).

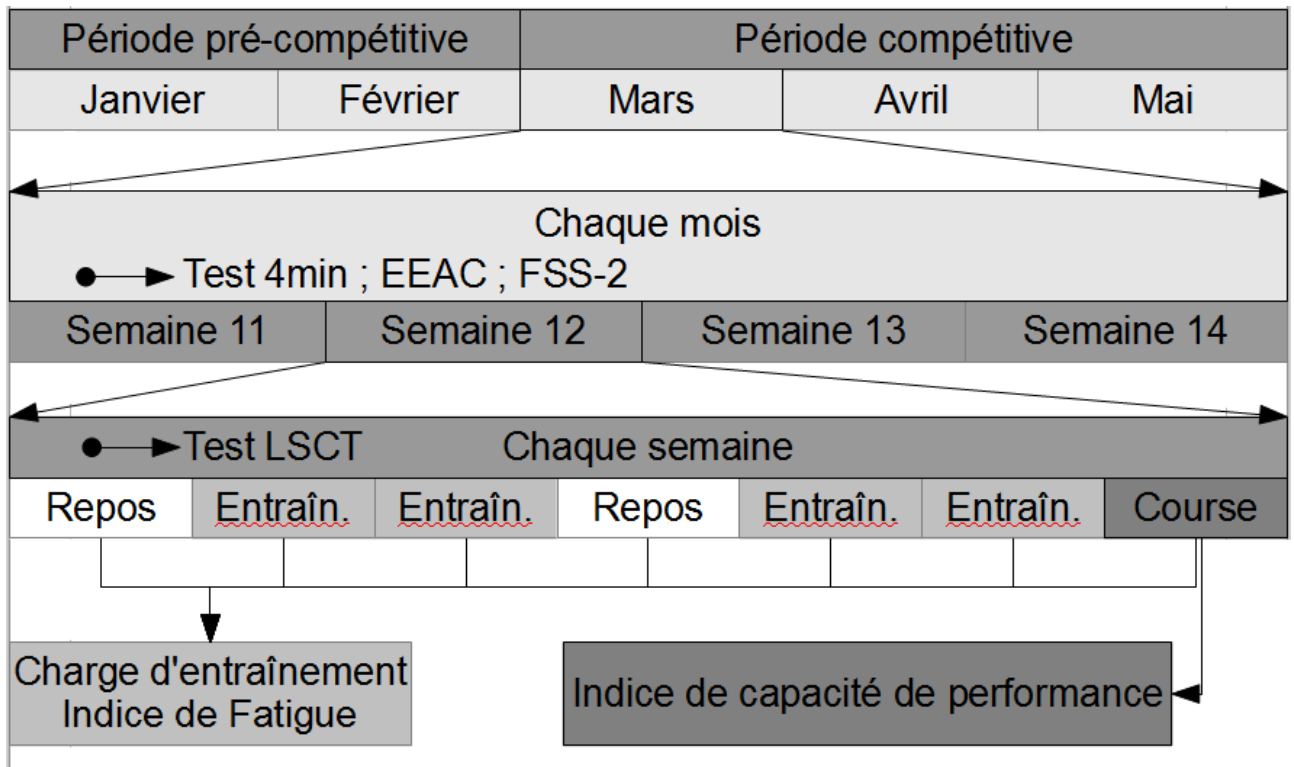


Figure 14 : Déroulement du suivi

7) Recueil et analyse des données

Chaque sujet a réalisé l'ensemble de ces tests sur le même vélo, équipé des mêmes systèmes de mesures et dans des conditions de fatigue identiques. Il était demandé aux sujets de ne pas faire d'entraînement dépassant deux heures à allure réduite dans les 48h précédant chaque test.

La puissance mécanique développée, la fréquence cardiaque ainsi que la cadence de pédalage ont été recueillies sur l'ensemble des tests réalisés.

La puissance mécanique développée ainsi que la cadence de pédalage ont été mesurées et enregistrées à l'aide d'un SRM Indoor Trainer (Schoberer Rad Messtechnik, Julich, Germany) ou d'un capteur de puissance Powertap (Saris Cycling Group, Madison, États-Unis) et d'un compteur Garmin Edge 500 (Garmin, Olathe, États-Unis). A noter que les systèmes SRM et Powertap constituent les outils de références pour la mesure de la puissance mécanique développée par le cycliste. Ces outils ont été validés et présentent un très haut niveau de précision (Bertucci et coll. 2005, Gardnert et coll. 2004).

La fréquence cardiaque a été mesurée et enregistrée à l'aide d'un compteur-cardiofréquence Garmin Edge 500 (Garmin, Olathe, États-Unis).

Les analyses des données de puissances, de cadence de pédalage et de fréquence cardiaque ont été réalisées à l'aide des logiciels SRM Training System (Version 6.42.13, Schoberer Rad Messtechnik, Julich, Germany) et Poweragent (Version 7.5.8.43, Saris Cycling Group, Madison, États-Unis).

8) Analyse statistique

En raison de la non-standardisation de l'entraînement des sujets et de l'impossibilité de réaliser des analyses de groupe à partir de données de suivi, les données recueillies ont été analysées sous la forme de trois études de cas distinctes.

Des tests de corrélation de Pearson ont été réalisés afin d'analyser les relations entre :

- La PMA et 1) $P_{LSCT\ 90\%FC_{max}}$, 2) $P_{LSCT\ 80\%FC_{max}}$, 3) $P_{LSCT\ 70\%FC_{max}}$
- La charge d'entraînement et 1) l'indice de fatigue, 2) HRR, 3) $FC_{LSCT\ palier\ 3}$, 4) $RPE_{LSCT\ palier\ 3}$
- Le volume d'entraînement et 1) l'indice de fatigue, 2) HRR, 3) $FC_{LSCT\ palier\ 3}$, 4) $RPE_{LSCT\ palier\ 3}$
- Le niveau de capacité de performance et 1) la PMA, 2) les puissances moyennes développées lors des différents paliers du test LSCT ($P_{LSCT\ 90\%FC_{max}}$, $P_{LSCT\ 80\%FC_{max}}$ et $P_{LSCT\ 70\%FC_{max}}$), 3) le niveau d'atteinte de l'état de flow en compétition, 4) le niveau de confiance en soi, 5) le niveau d'anxiété somatique précompétitive, 6) le niveau d'anxiété cognitive précompétitive.

Ces tests ont été réalisés à l'aide du logiciel Statview 5.0 (SAS Institute, Cary, États-Unis). Le seuil de significativité p était fixé à 0,05.

V. Résultats

1) Evaluation des niveaux de performances et de fatigue grâce au test LSCT

Une excellente corrélation ($r = 1$) a été identifiée entre la PMA et la $P_{LSCT\ 90\%FC_{max}}$ chez le sujet 3. Aucune autre relation significative n'a été observée entre PMA et 1) $P_{LSCT\ 90\%FC_{max}}$, 2) $P_{LSCT\ 80\%FC_{max}}$, 3) $P_{LSCT\ 70\%FC_{max}}$ (Table 3) pour l'ensemble des sujets.

Table 3 : Coefficients de corrélations entre la PMA et les puissances développées lors des paliers sous-maximaux du test LSCT chez les sujets 1, 2 et 3 (* corrélation significative, $p < 0,05$)

Relations		Sujet 1		Sujet 2		Sujet 3	
		<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
PMA	P _{LSCT 90%FCmax}	0,49	0,41	0,68	0,13	1,00*	-
	P _{LSCT 80%FCmax}	0,42	0,49	0,37	0,48	0,80	0,41
	P _{LSCT 70%FCmax}	0,78	0,12	0,59	0,22	0,80	0,41

Des relations linéaires significatives ont été observées entre la charge d'entraînement hebdomadaire et RPE_{LSCT palier 3} chez le sujet 1 ($r = 0,77$; $p = 0,015$), et le sujet 2 ($r = 0,84$; $p = 0,0003$). De plus, une diminution linéaire significative de FC_{LSCT palier 3} avec l'augmentation de la charge d'entraînement hebdomadaire a également été identifiée chez le sujet 2 ($r = -0,71$; $p = 0,007$). Cependant, aucune relation significative n'a été observée entre la charge d'entraînement et RPE_{LSCT palier 3} ou FC_{LSCT palier 3} chez le sujet 3 (table 4). Enfin, les relations entre la charge d'entraînement hebdomadaire et HRR se sont révélées non-significatives pour l'ensemble des sujets (table 4).

Table 4 : Coefficients de corrélations entre la charge d'entraînements et les différents paramètres permettant d'évaluer le niveau de fatigue lors du test LSCT chez les sujets 1, 2 et 3. (* corrélation significative, $p < 0,05$)

Relations		Sujet 1		Sujet 2		Sujet 3	
		<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
Charge d'entraînement hebdomadaire	HRR	0,06	0,94	0,26	0,40	0,03	0,95
	RPE _{LSCT palier 3}	0,77	0,015*	0,84	0,0003*	0,13	0,76
	FC _{LSCT palier 3}	0,13	0,74	-0,71	0,007*	0,48	0,23

2) Evaluation des niveaux de fatigue grâce à l'indice de fatigue

Des corrélations significatives ont été observées entre l'indice de fatigue moyen sur la semaine et 1) la charge d'entraînement hebdomadaire ($r = 0,53$; $p = 0,04$), 2) le volume hebdomadaire d'entraînement ($r = 0,58$; $p = 0,02$), chez le sujet 1. De plus, chez le sujet 2, une relation linéaire significative a été identifiée entre l'indice de fatigue et le volume

d'entraînement hebdomadaire ($r = 0,48$; $p = 0,03$), ainsi qu'une tendance non-significative à l'augmentation linéaire de l'indice de fatigue moyen avec l'augmentation de la charge d'entraînement hebdomadaire ($r = 0,41$; $p = 0,07$). Cependant, aucune relation significative n'a pu être observée entre l'indice de fatigue et la charge ou le volume d'entraînement chez le sujet 3 (table 5).

Table 5 : Coefficients de corrélation entre l'indice de fatigue moyen sur la semaine et le volume et la charge d'entraînement hebdomadaire chez les sujets 1, 2 et 3 (* corrélation significative, $p < 0,05$)

Relations		Sujet 1		Sujet 2		Sujet 3	
		<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
Indice de fatigue moyen	Charge d'entraînement hebdomadaire	0,53	0,04*	0,41	0,07	0,31	0,20
	Volume d'entraînement hebdomadaire	0,58	0,02*	0,48	0,03*	0,19	0,48

3) Relations entre le niveau de capacité de performance perçu et les caractéristiques physiologiques et psychologiques de l'athlète

Une diminution linéaire significative de $P_{L_{SCT} 90\%FC_{max}}$ a été observé avec l'augmentation du niveau de capacité de performance chez le sujet 2 ($r = -0,89$; $p = 0,04$). Cependant aucune autre relation significative n'a pu être observée entre le niveau de capacité de performance perceptif et les différents résultats des tests d'évaluation du niveau de performance physiologique (PMA , $P_{L_{SCT} 90\%FC_{max}}$, $P_{L_{SCT} 80\%FC_{max}}$ et $P_{L_{SCT} 70\%FC_{max}}$) chez les sujets 1 et 2 (table 6).

Table 6 : Coefficients de corrélations entre le niveau de capacité de performance et les résultats des tests d'évaluation du niveau de performance physiologique chez les sujets 1 et 2 (* corrélation significative, $p < 0,05$)

Relations		Sujet 1		Sujet 2	
		<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
Niveau de capacité de performance	PMA	0,47	0,52	-0,30	0,81
	P _{LSCT 90%FCmax}	-0,03	0,97	-0,89	0,04*
	P _{LSCT 80%FCmax}	-0,27	0,60	-0,61	0,28
	P _{LSCT 70%FCmax}	0,25	0,63	-0,75	0,14

En revanche, des corrélations significatives ont été observées entre le niveau de capacité de performance et 1) le niveau d'atteinte de l'état de « flow » en compétition ($r = 0,99$; $p = 0,05$), 2) le niveau de confiance en soi ($r = 1$), chez le sujet 2. De plus, une tendance non-significative à l'augmentation linéaire du niveau d'atteinte de l'état de « flow » en compétition avec l'augmentation du niveau de capacité de performance peut également être observé chez le sujet 1 ($r = 0,99$; $p = 0,11$, table 7).

Table 7 : Coefficients de corrélations entre le niveau de capacité de performance et les résultats aux questionnaires FSS-2 et EEAC chez les sujets 1 et 2 (* corrélation significative, $p < 0,05$)

Relations		Sujet 1		Sujet 2	
		<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
Niveau de capacité de performance	Niveau d'atteinte de l'état de "flow"	<i>0,99</i>	<i>0,11</i>	0,99*	0,05
	Confiance en soi	0,54	0,63	1,00*	-
	Anxiété cognitive précompétitive	-0,54	0,63	-0,50	0,67
	Anxiété somatique précompétitive	-0,59	0,59	-0,63	0,57

Le sujet 3 n'ayant réalisé que deux tests PMA et n'ayant passé que deux fois les questionnaires FSS-2 et EEAC pendant sa période de suivi compétitive, aucun test de corrélation n'a pu être réalisé à partir de ces différents paramètres. Il est cependant malgré tout possible d'observer une augmentation de son niveau de capacité de performance et de son niveau d'atteinte de l'état de flow en compétition entre les mois de mars et d'avril. En revanche, ses performances en termes de PMA ont pour leur part diminuées sur cette

période. Ce sujet à de plus fortement diminué son niveaux d'anxiété cognitive précompétitive et augmenter son niveau de confiance en soi entre ses deux périodes (table 8).

Table 8 : Evolution des niveaux de capacité de performance, de PMA, d'atteinte de l'état de « flow » en compétition, d'anxiété et de confiance en soi sur la période compétitive chez le sujet 3

Période	Niveau de capacité de performance	PMA	Niveau d'atteinte de l'état de flow (/5)	Niveau de confiance en soi (/ 36)	Niveau d'anxiété somatique (/28)	Niveau d'anxiété cognitive (/28)
Mars	<u>7,5</u>	386,6	<u>3,19</u>	<u>22</u>	11	<u>14</u>
Avril	<u>9</u>	375,6	<u>3,83</u>	<u>28</u>	12	<u>8</u>

VI. Discussion

Cette étude avait pour objectif d'analyser les liens entre les déterminants physiologiques et psychologiques de la performance. Ces résultats mettent ainsi en évidence que les facteurs psychologiques semblent avoir un rôle majeur sur le niveau de capacité de performance. A l'inverse, les résultats des différents tests d'évaluation du niveau de performance physiologiques seraient difficilement corrélables.

1) Evaluation des niveaux de performances et de fatigue grâce au test LSCT

Les résultats de cette étude mettent en évidence que les puissances développées aux différents paliers du test LSCT ne seraient pas directement corrélées à la PMA. En effet, si le sujet 3 présente la même relation positive entre la $P_{LSCT\ 90\%FC_{max}}$ et la PMA que celle observées par Lamberts et coll. (2011, 2014), ces résultats diffèrent de ceux obtenus chez les sujets 1 et 2 (figure 15). Aucune relation significative n'a été observée entre PMA et $P_{LSCT\ 90\%FC_{max}}$, $P_{LSCT\ 80\%FC_{max}}$ et $P_{LSCT\ 70\%FC_{max}}$ chez ces sujets deux sujets.

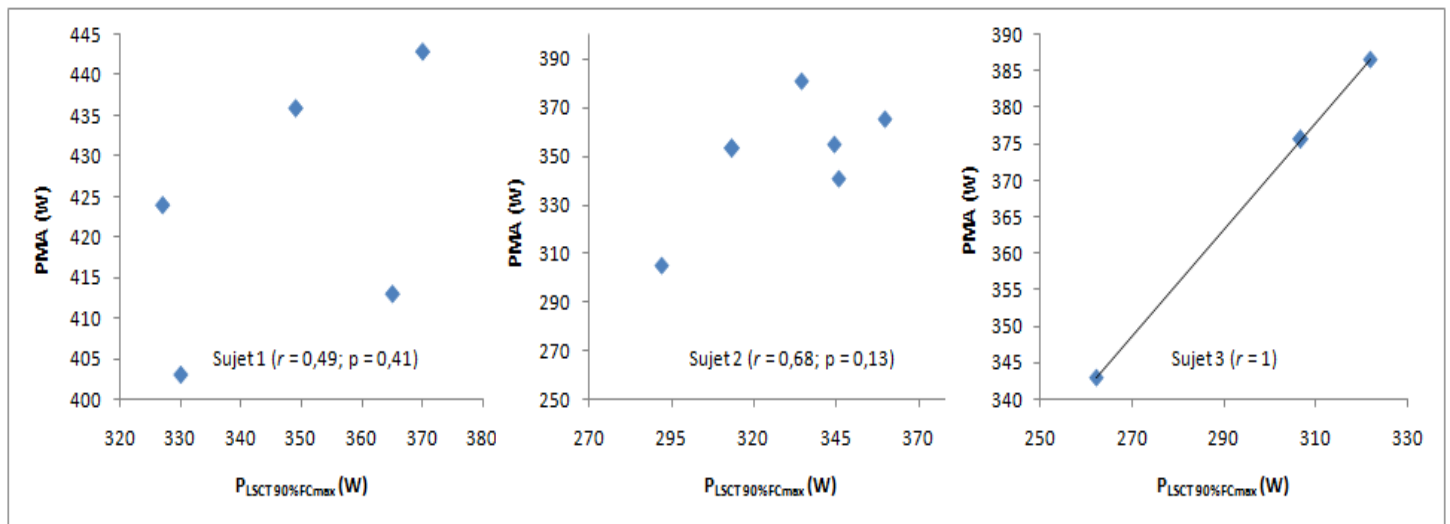


Figure 15 : Relations entre PMA et $P_{LST\ 90\%FC_{max}}$ chez les sujets 1, 2 et 3

L'interprétation du test LSCT nécessiterait donc la prise en compte des spécificités intrinsèques des sujets. Les résultats montrent notamment une augmentation significative de $P_{LST\ 90\%FC_{max}}$ avec la diminution de niveau de capacité de performance chez le sujet 2 (figure 16). Ainsi, la puissance développée aux différents paliers du test LSCT n'est pas directement corrélée au niveau de capacité de performance dans le cadre d'un suivi de l'entraînement.

Ces résultats sont supportés par les hypothèses développées par Lamberts (2009) dans ses travaux de thèse concernant le développement de ce test. En effet, celui-ci propose que l'amélioration du niveau d'entraînement serait illustré par une augmentation de $P_{LST\ 90\%FC_{max}}$ et $P_{LST\ 80\%FC_{max}}$. Cependant, d'après cet auteur, le développement d'une fatigue « aiguë » pourrait également provoquer des augmentations similaires de $P_{LST\ 90\%FC_{max}}$ et $P_{LST\ 80\%FC_{max}}$. Ainsi, l'utilisation du test LSCT dans le cadre d'un suivi de l'entraînement nécessiterait une grande prudence et l'interprétation simultanée de plusieurs paramètres.

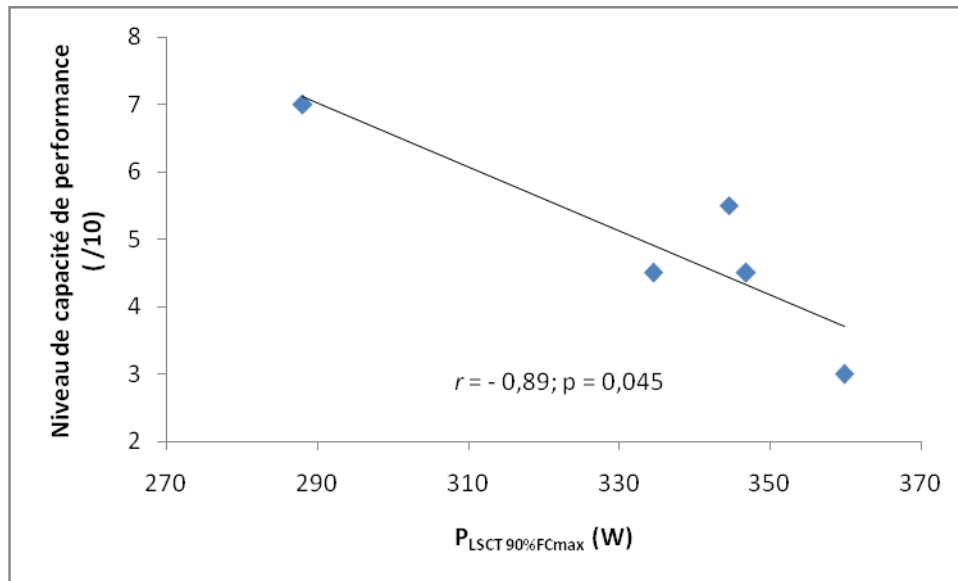


Figure 16 : Evolution de la $P_{L SCT 90\%FCmax}$ en fonction du niveau de capacité de performance chez le sujet 2

Les résultats de cette étude montrent également que, comme le suggérait Lamberts (2009), la difficulté perçue et le temps nécessaire pour atteindre 90 % de FCmax seraient utilisables afin d'évaluer le niveau de fatigue de l'athlète. En effet, des corrélations significatives ont été obtenues entre 1) la charge d'entraînement et la $FC_{L SCT \text{ palier } 3}$ chez le sujet 1, 2) la charge d'entraînement et la $RPE_{L SCT \text{ palier } 3}$ chez les sujets 1 et 2 (Figure 17). Ces résultats sont en accord avec ceux de l'étude de cas de Lamberts et coll. (2011) ainsi qu'avec les nombreuses études ayant mis en évidence la plus grande difficulté des athlètes à atteindre des fréquences cardiaques élevées en cas d'accumulation de fatigue (Halson et coll. 2002, Urhausen et coll. 1998). La difficulté éprouvée par le cycliste à atteindre 90 % de FCmax lors du dernier palier du test LSCT permettrait donc d'illustrer son niveau de fatigue dans le cadre d'un suivi de l'entraînement.

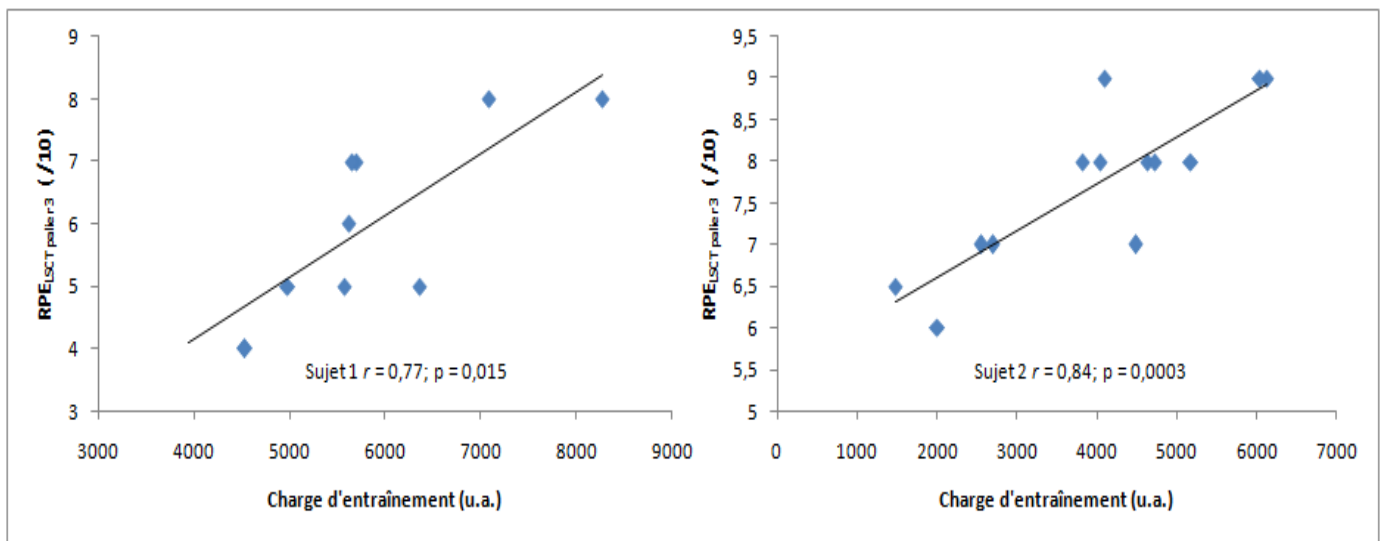


Figure 17 : Relations entre la charge d'entraînement et RPE_{LSCT} palier 3 chez les sujets 2 et 3

En revanche, les résultats de cette étude ne montrent aucune relation significative entre HRR et la charge d'entraînement ou la PMA. Si ces résultats vont à l'encontre de ceux de Lamberts et coll. (2010, 2014) et de plusieurs études ayant montré les liens entre la vitesse de diminution de fréquence cardiaque après l'effort et les niveaux de performance et de fatigue (Borresen et Lambert 2007, 2008), d'autres études ont cependant mis en évidence des résultats contradictoires (Buchheit et coll. 2012, 2013). Cet indicateur varierait notamment avec l'intensité de fin d'exercice (Lamberts et coll. 2009). De plus, cette fréquence cardiaque de récupération présenterait également davantage de variations journalières que la mesure de FC pendant l'effort (Lamberts et Lambert 2009). Davantage d'études semblent ainsi encore nécessaires afin de déterminer avec précision les liens entre la vitesse diminution de fréquence cardiaque après l'effort et les niveaux de performance et de fatigue ainsi que la fiabilité de son utilisation dans le cadre d'un suivi de l'entraînement.

Ainsi, cette étude a mis en évidence que le test LSCT était utilisable pour la prédiction des niveaux de performance et de fatigue dans le cadre d'un suivi de l'entraînement. Cependant, elle révèle également la nécessité d'utiliser différents marqueurs et d'individualiser cette analyse en fonction des réponses physiologiques à l'entraînement et à la fatigue du cycliste concerné (figure 18). En effet, chez les sujets 1 et 2, FC_{LSCT} palier 3 et RPE_{LSCT} palier 3 pourraient être utilisées afin d'évaluer le niveau de fatigue alors que P_{LSCT} 90%FC_{max} ne permettrait pas de prédire directement le niveau de performance. A l'inverse, chez le sujet 3, cette P_{LSCT} 90%FC_{max} serait directement corrélée à la PMA. Aucune étude

n'ayant à ce jour réalisé le suivi de plusieurs cyclistes grâce à ce test LSCT, ces résultats ne peuvent être directement comparés à ceux de la littérature. Cependant, Lamberts et coll. (2011) avaient notamment montré que tous les indicateurs du test LSCT n'étaient pas systématiquement utilisables afin de prédire les niveaux de fatigue et de performance chez un cyclocross-man de niveau international. De plus, plusieurs études ont montrés qu'il était nécessaire de croiser plusieurs paramètres physiologiques, dont ceux se basant sur la fréquence cardiaque ou sur la puissance développée, afin de prédire les niveaux de performance et de fatigue dans le cadre d'un suivi de l'entraînement (Borresen et Lambert 2009, Filaire et coll. 2001, Lucia et coll. 2000).

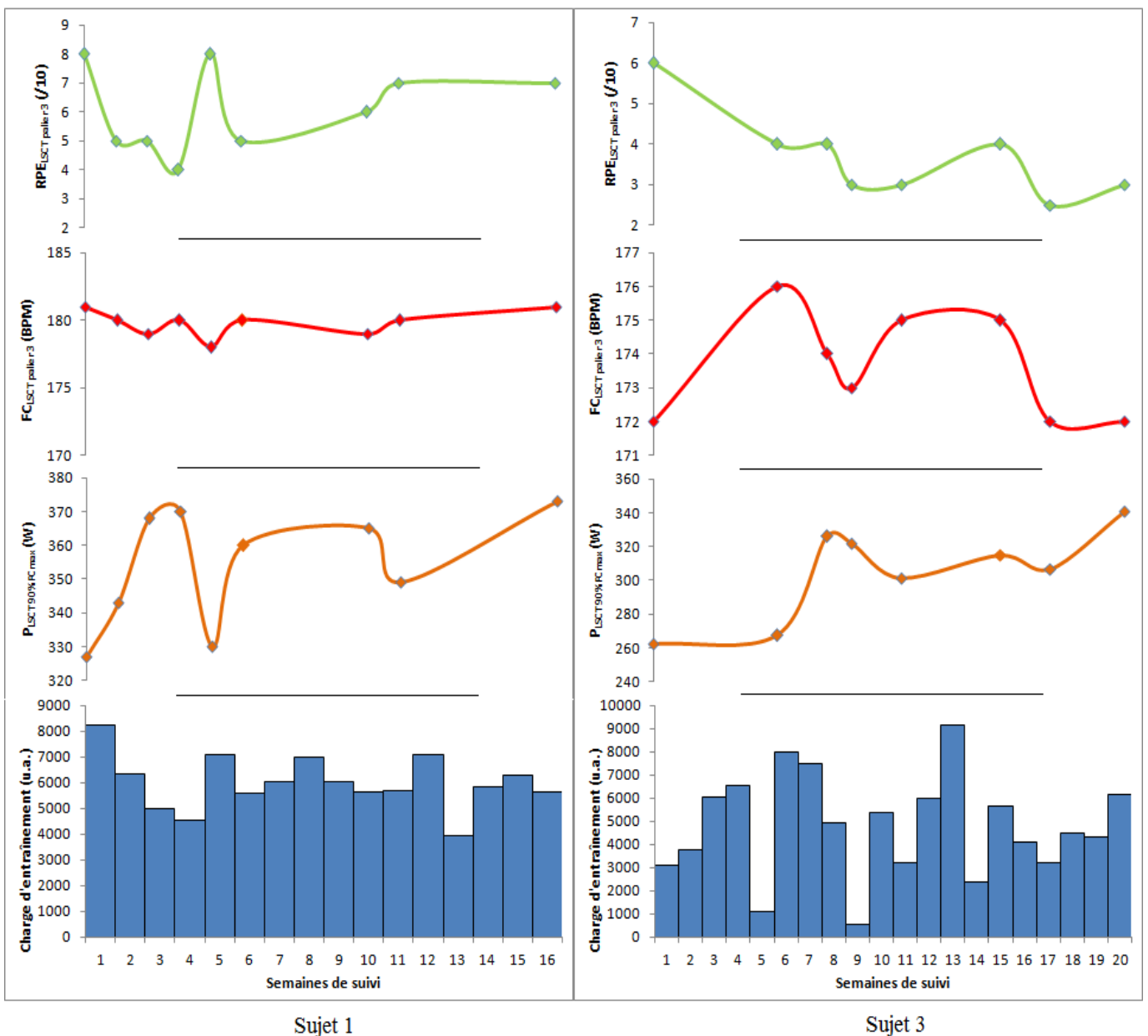


Figure 18 : Résumé graphique de l'évolution au cours de l'étude des paramètres du test LSCT chez deux sujets (sujet 1 et sujet 3) présentant des réponses différentes à la fatigue

2) Evaluation des niveaux de fatigue grâce à l'indice de fatigue

Le second résultat majeur de cette étude est d'avoir montré que l'indice de fatigue et les perceptions subjectives du cycliste peuvent être utilisés dans le cadre d'un suivi de l'entraînement. En effet, des corrélations significatives ont été observées entre l'indice de fatigue moyen et le volume d'entraînement hebdomadaire chez le sujet 1 ($r = 0,58$; $p = 0,02$) et le sujet 2 ($r = 0,482$; $p = 0,0315$; figure 19). De plus, une corrélation significative a également été obtenue entre la charge d'entraînement hebdomadaire et l'indice de fatigue moyen chez le sujet 1 ($r = 0,53$; $p = 0,04$), ainsi qu'une tendance non-significative à l'augmentation de l'indice de fatigue avec l'augmentation de la charge d'entraînement hebdomadaire chez le sujet 2 ($r = 0,412$; $p = 0,0708$, EES = 610,833 u.a). Ces résultats sont en accord avec ceux d'une première étude réalisée par Beaulieu et Grappe (1999), qui avaient observé chez un Vétéliste élite une augmentation significative de l'indice de fatigue avec l'augmentation de la charge ($r = 0,69$; $p < 0,01$) et du volume ($r = 0,63$; $p < 0,01$) hebdomadaire d'entraînement. De plus, Hooper et coll. (1995) avaient également observé chez 16 nageurs élités que les perceptions subjectives de fatigue et de bien-être des athlètes permettaient de prédire 76% des variations du niveau de fraîcheur et 72% des variations du niveau de performance lors des périodes d'affutage.

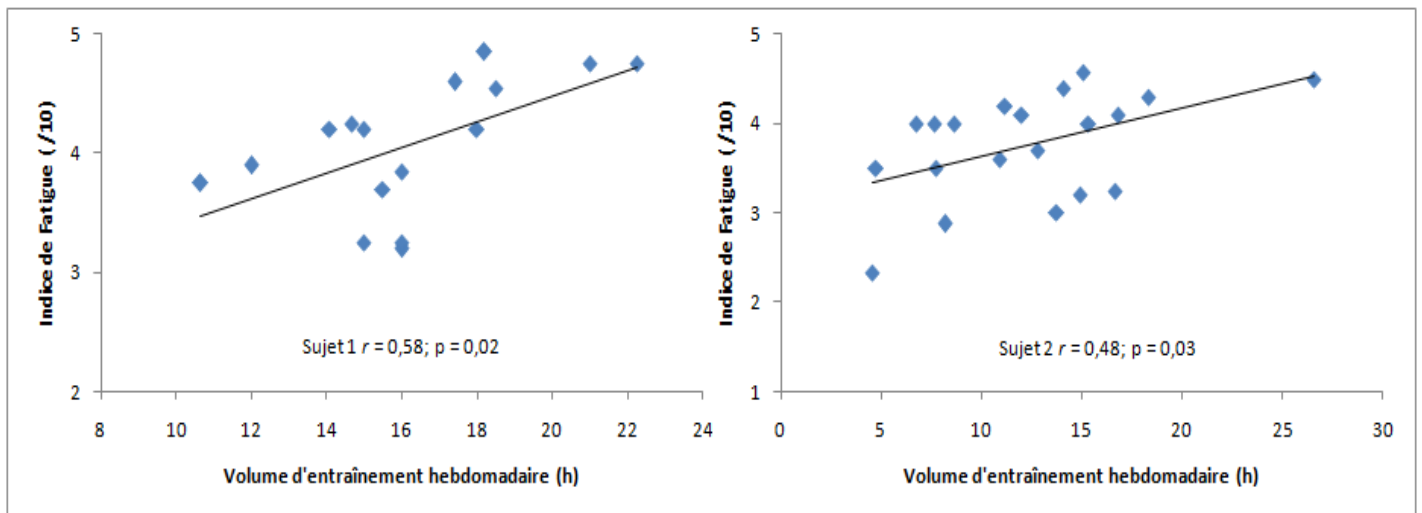


Figure 19 : Relations entre le volume d'entraînement et l'indice de fatigue chez les sujets 1 et 2

Cependant, les résultats de cette étude révèlent également qu'une relation plus complexe semble lier l'indice de fatigue à la charge et aux volumes d'entraînements. En effet, aucune relation significative n'est observable entre l'indice de fatigue et la charge d'entraînement chez le sujet 3. L'interprétation graphique de l'évolution de ces paramètres en fonction du temps semble cependant mettre en évidence l'existence des liens complexes entre charge d'entraînement et indice de fatigue chez ce sujet (figure 20). Il est possible d'observer que, dans un premier temps, l'augmentation de la charge d'entraînement entraîne une augmentation progressive de l'indice de fatigue (semaines 1 à 7). Dans un second temps (semaines 7 à 20), l'indice de fatigue va régulièrement diminuer pour ne ré-augmenter qu'en cas d'augmentation brutale de la charge d'entraînement hebdomadaire (semaines 13 et 15). Ces résultats sont notamment cohérence avec les nombreux travaux menés sur l'adaptation de l'organisme à l'entraînement et sur le phénomène de surcompensation (Kuipers 1998, Viru 1994). D'après Viru (1984) l'entraînement provoquerait dans un premier temps l'apparition de fatigue et la diminution de performance dues à la perturbation de l'homéostasie de l'organisme. Une seconde phase de retour à l'homéostasie serait ensuite observable, en cas de récupération suffisante, et permettrait la diminution de cette fatigue et la ré-augmentation du niveau de performance. Enfin, les mécanismes d'adaptation de l'organisme permettraient ensuite le développement d'un phénomène de surcompensation, entraînant une augmentation de la capacité de performance et une plus grande capacité de l'organisme à supporter la même charge d'entraînement. Ces mécanismes permettraient donc d'expliquer les liens entre la charge d'entraînement et l'indice de fatigue chez ce sujet.

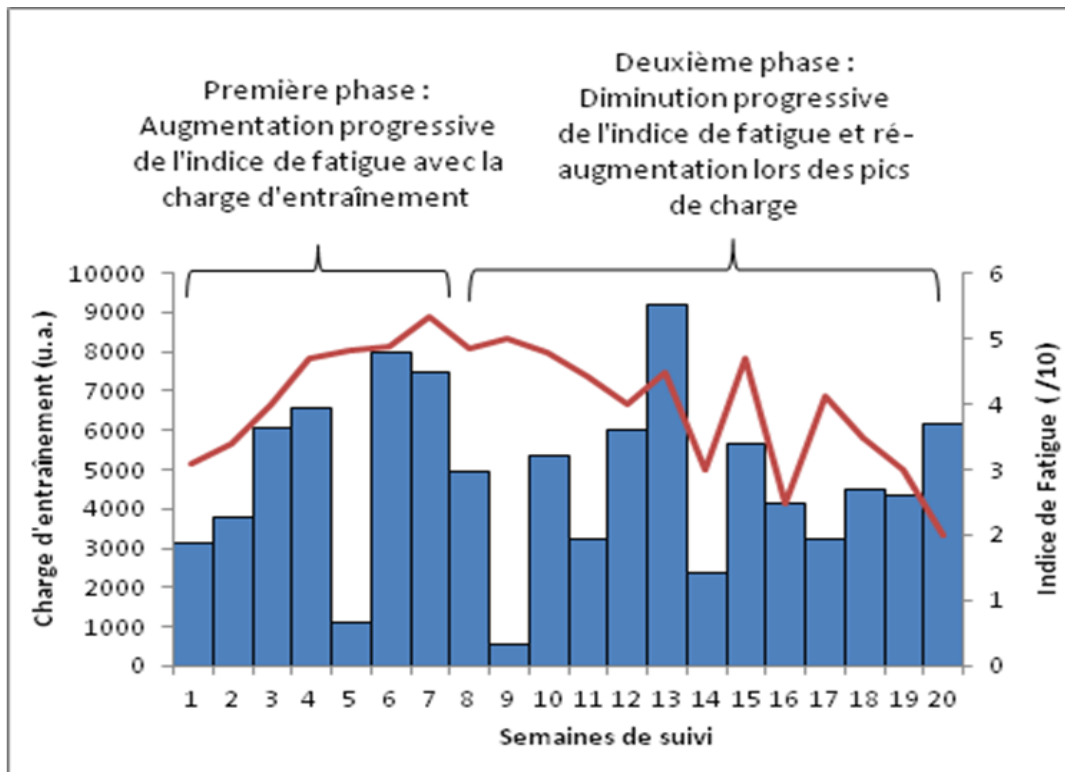


Figure 20 : Evolution de la charge d'entraînement et de l'indice de fatigue en fonction du temps chez le sujet 3

De plus, même si des relations linéaires significatives ont été identifiées entre la charge d'entraînement et l'indice de fatigue chez les sujets 1 et 2, des délais variables entre l'augmentation de la charge d'entraînement et l'augmentation de l'indice de fatigue sont cependant observables, en particulier chez le sujet 2 (figure 21, semaines 4, 12 et 15). Les relations entre l'entraînement et l'indice de fatigue apparaissent donc comme complexes et encore difficilement appréhendables. L'un des enjeux des recherches futures sera donc d'étudier plus en détail les relations entre charge d'entraînement et indice de fatigue, afin de mieux comprendre ces liens complexes entre les mécanismes d'adaptations à l'entraînement et les évolutions de ces perceptions subjectives.

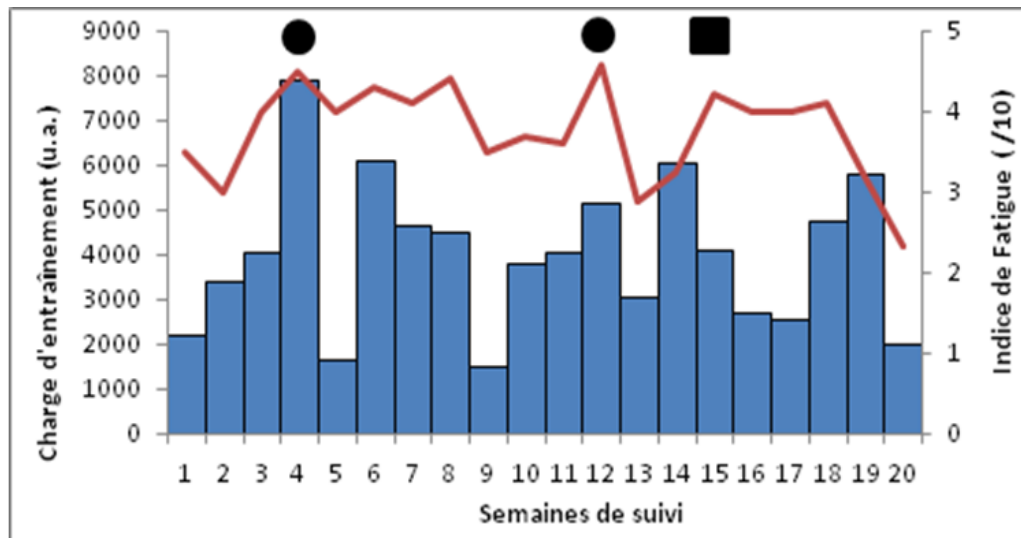


Figure 21 : Evolution de la charge d'entraînement et de l'indice de fatigue en fonction du temps chez le sujet 2. ● *Augmentation simultanée de la charge d'entraînement et de l'indice de fatigue (semaines 3 et 12)*, ■ *Augmentation retardée de l'indice de fatigue par rapport à l'augmentation de la charge d'entraînement (semaine 13-14)*

3) Relations entre le niveau de capacité de performance perçue et les caractéristiques physiologiques et psychologiques de l'athlète

Le dernier résultat majeur de cette étude réside dans le fait que le niveau de capacité de performance d'un cycliste, évalué à l'aide des perceptions subjectives, semble très difficile à prédire à partir de données physiologiques. En effet, de nombreuses études ont montré les liens entre la performance en contre-la-montre et la PMA (Hawley et Noakes 1992, Bentley et coll. 2001, Balmer et coll. 1999) ou la puissance développée aux seuils ventilatoires (Hopkins et MacJenzie 1994, Lucia et coll. 2004). Cependant, aucune étude à notre connaissance ne s'était encore intéressée aux liens entre ces paramètres physiologiques et la capacité de performance pour tout type de course cycliste, aussi bien en ligne que contre-la-montre.

Les résultats de cette étude montrent qu'aucune relation positive significative n'a pu être observée entre le niveau de capacité de performance, évalué à l'aide des perceptions subjectives, et la PMA ou les différentes puissances développées à des fréquences cardiaques sous-maximales lors du test LSCT ($P_{LSCT\ 90\%FC_{max}}$, $P_{LSCT\ 80\%FC_{max}}$ et $P_{LSCT\ 70\%FC_{max}}$). Quod et coll. (2010) ont notamment montré que les courses cyclistes sur route étaient caractérisées par une multitude d'efforts d'intensités et de durées très variées. Il

semble donc logique que la performance ne puisse être directement relié à la capacité d'un cycliste à développer une puissance sur un seul type d'effort, qu'il soit maximal ou sous-maximal. En effet, la performance en cyclisme fait intervenir de multiples qualités physiques et c'est la combinaison des capacités de l'athlète sur l'ensemble de ces qualités qui détermine son niveau de capacité de performance (Grappe 2012). Ces résultats montrent donc que l'estimation du niveau de capacité de performance d'un cycliste à partir de tests d'effort demeure extrêmement délicate et complexe.

De plus, d'après le modèle du gouverneur central de Noakes (2011, 2012) de nombreux autres facteurs influenceraient également le niveau de performance d'un athlète. L'estimation de ce niveau de performance uniquement à partir de données physiologiques serait donc impossible. Ces résultats confortent ainsi les hypothèses de cet auteur. Une relation linéaire significative a notamment été observée entre le niveau de capacité de performance et la confiance en soi chez le sujet 2 ($r = 1$; figure 22). De plus, on observe chez le sujet 3 une augmentation du niveau de capacité de performance entre les mois de mars et d'avril, associée à une augmentation du niveau de confiance en soi et à une diminution du niveau d'anxiété cognitive, et ce malgré une diminution de la PMA sur cette même période (figure 23). La confiance en soi et l'anxiété sembleraient donc reliées au niveau de performance en compétition chez ces deux sujets. Ces résultats confirment les travaux de Paquet et coll. (2008) qui avaient mis en évidence que l'anxiété et la confiance en soi étaient fortement reliées au niveau de performance chez les cyclistes des équipes de France espoir et junior. Anxiété et confiance en soi seraient ainsi à l'origine des variations du niveau de performance pour un niveau de capacité physiologique du cycliste identique.

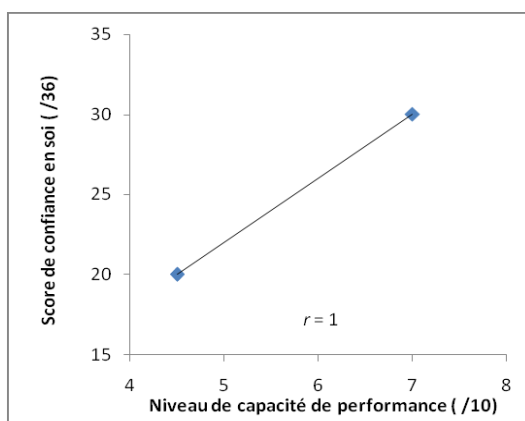


Figure 22 : Relation entre le niveau de capacité de performance et la confiance en soi chez le sujet 2

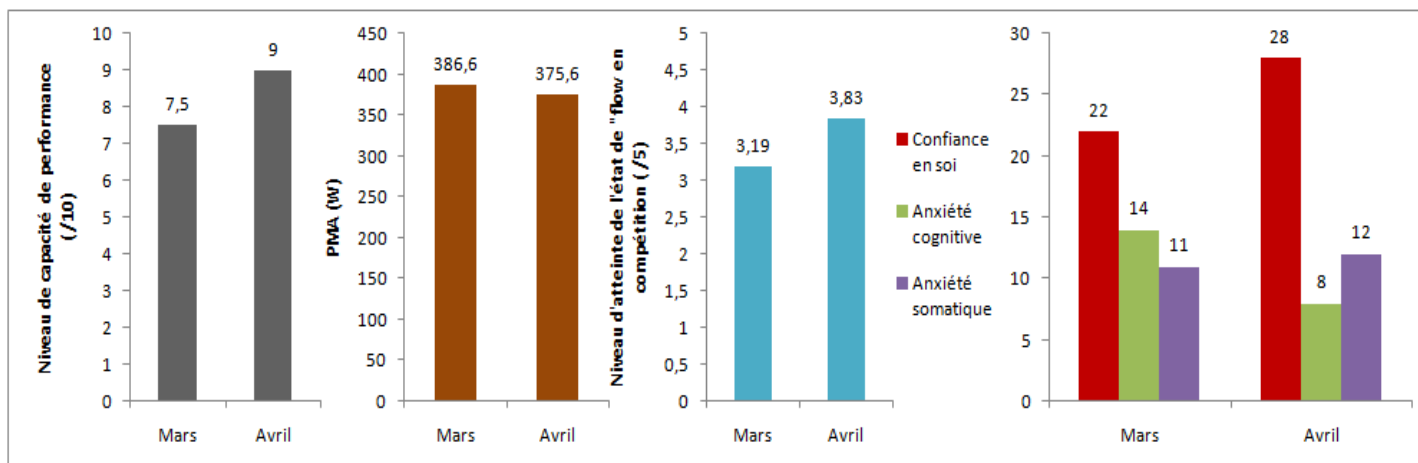


Figure 23 : Evolution en période compétitive des niveaux de capacité de performance, d'atteinte l'état de flow, de confiance en soi, d'anxiété somatique, d'anxiété cognitive et de PMA chez le sujet 3

Le niveau d'atteinte de l'état de « flow » semble encore davantage relié au niveau de capacité de performance en compétition. En effet, des relations très fortes ont été observées entre ces deux paramètres chez le sujet 1 ($r = 0,99$; $p = 0,11$) et le sujet 2 ($r = 0,99$; $p = 0,05$; corrélation significative, figure 24). Ces résultats sont notamment en liens avec ceux de Jackson (1999) et Jackson et Roberts (1992) qui avaient montré que le développement de l'état de flow était relié à des performances de haut-niveau. Cependant, ce concept reste aujourd'hui encore très peu étudié et davantage de travaux sont nécessaires afin de comprendre réellement la nature de ses liens avec la performance. En effet, Demoutrond et Gaudreau (2008) ont notamment mis en évidence que les 9 dimensions caractéristiques du « flow » seraient liées de différentes manières à la performance. Certaines de ces caractéristiques, telles que la centration sur la tâche ou la clarté du feedback, seraient facilitatrices de la performance. A l'inverse, d'autres de ces composantes du « flow », telles que l'expérience autotélique, seraient davantage des conséquences d'un haut niveau de performance. L'un des enjeux majeurs des recherches futures sera donc d'étudier plus en détail ce concept de « flow » afin d'identifier précisément la nature de ses liens avec la performance.

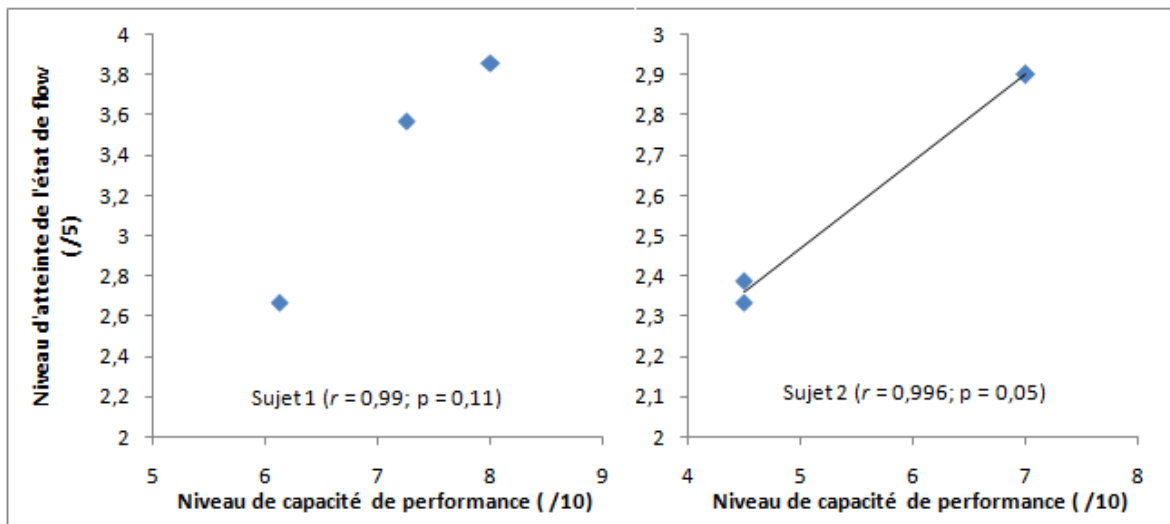


Figure 24 : Relations entre le niveau de capacité de performance et le niveau d'atteinte de l'état de « flow » chez les sujets 1 et 2

4) Limites et perspectives de l'étude

La principale limite de cette étude réside dans le fait qu'elle se compose de trois études de cas distinctes. Si ce type d'analyse était nécessaire en raison de la grande difficulté du traitement des données de suivi de l'entraînement, les observations réalisées ne sont donc strictement valable que pour le cas des trois cyclistes concernés. Une très grande prudence doit être prise dans toute tentative de généralisation de ces résultats. Cette remarque est d'autant plus valable que ce suivi ayant été réalisé sur des périodes relativement réduites (de 4 à 5 mois dont seulement 2 à 3 mois de périodes compétitives), le nombre de données recueillies pour chaque sujet demeure faible. L'une des perspectives majeures des études futures sera donc de poursuivre cette analyse auprès d'une population plus large de cyclistes et sur des durées de suivi plus importantes afin de vérifier la fiabilité des principales observations permises par ces résultats.

La seconde principale limite réside dans le fait que cette étude a cherché à évaluer le niveau de capacité de performance des cyclistes à partir de leurs perceptions subjectives. Les courses cyclistes sur routes étant influencées par de nombreux facteurs extérieurs, tels que les incidents mécaniques ou les stratégies de courses inhérentes aux compétitions en peloton, ce choix apparaît aujourd'hui nécessaire afin d'étudier le niveau de capacité de performance d'un cycliste. Cependant, aucune recherche n'avait encore à ce jour, à notre

connaissance, utilisé d'outils tels que celui présenté dans cette étude pour l'estimation du niveau de performance. Aucune donnée n'est donc aujourd'hui disponible concernant la validité et la fiabilité d'une telle estimation subjective du niveau de capacité de performance en compétition. Cette méthode pourrait se révéler être une solution rapide et facilement utilisable à la grande difficulté d'obtenir des mesures objectives de la performance en cyclisme sur route. Elle représenterait donc une avancée majeure, non seulement pour les entraîneurs sur le terrain dans le cadre du suivi de leurs athlètes, mais également pour la recherche concernant les différents facteurs influençant la performance cycliste en compétition. La principale perspective issue de cette étude sera donc de vérifier la validité de cet outil auprès d'un maximum d'athlète et d'étudier ses liens avec les performances objectivement mesurées, en termes de performance chronométrique, de points obtenus ou de classement final.

VII. Conclusion

Ce mémoire avait pour objectif d'étudier plusieurs méthodes visant à déterminer les niveaux de fatigue et de performance utilisables dans le cadre d'un suivi de l'entraînement chez des cyclistes. Les résultats obtenus lors de tests d'estimation des capacités physiologiques semblent ainsi difficilement corrélables au niveau de capacité de performance d'un cycliste. Cependant, les différents paramètres psychologiques, tel que la confiance en soi ou le niveau d'atteinte de l'état de flow, apparaissent comme particulièrement liés à ce niveau de capacité de performance. Cette étude met ainsi en évidence l'importance majeure des différents déterminants psychologiques de la performance cycliste et l'impossibilité de prédire celle-ci uniquement à partir de paramètres physiologiques.

Cependant, ces tests physiologiques et psychologiques permettraient tout deux d'obtenir de précieuses informations dans le cadre du suivi de l'entraînement. En effet, l'indice de fatigue et les perceptions subjectives comme le test LSCT seraient utilisables pour estimer les niveaux de forme et de fatigue d'un athlète.

REFERENCES

- Åstrand PO et Ryhming I.** A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during sub-maximal work. *J Appl Physiol* 7: 218-221, 1954.
- Atkinson G et Brunskill A.** Pacing strategies during a cycling time trial with simulated headwinds and tailwinds. *Erg* 43(10), 1449-1460, 2000.
- Balmer J, Davidson RC, Bird SR.** Peak power predicts performance power during an outdoor 16.1-km cycling time trial. *Med Sci Sports Exerc* 32: 1485–1490, 2000.
- Bassett DR et Howley ET.** Maximal oxygen uptake: "classical" versus "contemporary" viewpoints. *Med Sci Sports Exerc* 29(5): 591-603, 1997.
- Bassett DR et Howley ET.** Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc* 32(1): 70-84, 2000.
- Beaulieu C, Grappe F.** *Quantification des charges d'entraînement et du niveau de fatigue en cyclisme* (Mémoire de licence). Université de Franche-Comté, France, 1999.
- Bentley DJ, Wilson GJ, Zhou DS.** Correlations between peak power output, muscular strength and cycling time trial performance in triathletes. *J Sports Med Phys Fitness* 38: 201–207, 2001.
- Binder RK, Wonisch M, Corra U et coll.** Methodological approach to the first and second lactate threshold in incremental cardiopulmonary exercise testing. *Eur J Cardiol Prev* 15(6): 726-734, 2008.
- Borg G.** *Borg's perceived exertion and pain scales*. Champaign, Illinois: Human kinetics, 1998.
- Borresen J et Lambert MI.** Changes in heart rate recovery in response to acute changes in training load. *Eur J Appl Physiol* 101:503–511, 2007.
- Borresen J et Lambert MI.** Autonomic Control of Heart Rate during and after Exercise - Measurements and Implications for Monitoring Training Status. *Sports Med* 36(8): 633-646, 2008.

Bosquet L, Léger L et Legros P. Methods to Determine Aerobic Endurance. *Sports Med* 32(11): 675-700, 2002.

Buchheit M, Simpson MB, Al Haddad H et coll. Monitoring changes in physical performance with heart rate measures in young soccer players. *Eur J Appl Physiol* 112: 711–723, 2012.

Buchheit M, Racinais S, Bilsborough JC et coll. Monitoring fitness, fatigue and running performance during a pre-season training camp in elite football players. *J Sci Med Sport* 16: 550–555, 2013.

Chicharro JL, Hoyos J et Lucia A. Effects of endurance training on the isocapnic buffering and hypocapnic hyperventilation phases in professional cyclists. *Br J Sports Med* 34: 450–455, 2000.

Coyle EF, Feltner ME, Kautz SA et coll. Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. *Med Sci Sports Exerc* 23: 93-107, 1991.

Curry 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.

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.

Daanen HA, Lamberts RP, Kallen VL et coll. A systematic review on heart-rate recovery to monitor changes in training status in athletes. *Int J Sports Physiol Perform* 7 : 251–260, 2012.

Demontrond P et Gaudreau P. Le concept de « flow » ou « état psychologique optimal » : état de la question appliquée au sport. *Staps* 79: 9-21, 2008.

Ebert TR, Martin DT, Stephens B et coll. Power Output During a Professional Men's Road-Cycling Tour. *Int J Sports Phy* 1: 324-335, 2006.

Faria EW, Parker DL et Faria IE. The science of cycling : Physiology and training – Part

1. *Sports Med* 35(4): 285-312, 2005.

Faude O, Kindermann W, et Meyer T. Lactate Threshold Concepts - How Valid are They? *Sports Med* 39(6): 469-490, 2009.

Fernandez-Garcia B, Terrados N, Perez-Landaluce J et coll. Intensity of exercise during road race pro-cycling competition. *Med Sci Sports Exerc* 32(5) : 1002–1006, 2000.

Filaire E, Bernain X, Sagnol M et coll. Preliminary result on mood state, salivary testosterone:cortisol ratio and team performance in a professional soccer team. *Eur J Appl Physiol* 86: 179-184, 2001.

Foster C, Florhaug JH, Franklin J et coll. A new approach to monitoring exercise training. *J Strength Cond Res* 15: 109-115, 2001.

Gillet N, Berjot S et Paty B. Profil motivationnel et performance sportive. *Psy fr* 54(2), 173-190, 2009.

Grappe F. *Cyclisme et optimisation de la performance* (2nd édition). Bruxelles : De Boeck 2009.

Grappe F. *Puissance et performance en cyclisme*. Bruxelles : De Boeck, 2012.

Halson SL, Bridge MW, Meeusen R et coll. Time course of performance changes and fatigue markers during intensified training in trained cyclists. *J Appl Physiol* 93: 947-956, 2002.

Hanin, Y. L. (Ed.). *Emotions in sport*. Champaign, Illinois: Human Kinetics, 2000.

Hammermeister J et Burton D. Anxiety and the Ironman: Investigating the Antecedents and Consequences of Endurance Athletes' State Anxiety. *Sports Psy* 9: 29-40, 1995.

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.

Hill AV et Lupton H. Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. *QJM* 62: 135-171, 1923.

Hooper SL, Mackinnon LT, Howard A et coll. Markers for monitoring overtraining and

recovery. *Med Sci Sports Exerc* 27(1): 106-112, 1995.

Hopkins SR et McKenzie DC. The laboratory assessment of endurance performance in cyclists. *Can J Appl Physiol* 19(3): 266-274, 1994.

Hugues EF, Turner SC, Brooks GA. Effects of glycogen depletion and pedalling speed on anaerobic threshold. *J Appl Physiol* 52: 1598-1607, 1982.

Jackson SA et Roberts G. Positive performance states of athletes: toward a conceptual understanding of peak performance. *Sport Psych* 6: 156-171, 1992.

Jackson SA et Marsh HW. Development and validation of a scale to measure optimal experience: The Flow State Scale. *J Sport Exerc Psych* 18: 17-35, 1996.

Jackson SA et Csikszentmihalyi M. *Flow in sports: The keys to optimal experiences and performances*. Champaign: Human Kinetics, 1999.

Jeukendrup AE, Craig NP et Hawley JA. The Bioenergetics of World Class Cycling. *J Sci Med Sports* 3(4): 414-433, 2000.

Jones NL, Ehrsam RE. The anaerobic threshold. In: Terjung R (ed.), *Exercise and sports sciences reviews* 10 Philadelphia (PA): Franklin Institute Press: 49-83, 1982.

Kang J, Chaloupka EC, Mastrangelo AM et coll. Physiological comparisons among three maximal treadmill exercise protocols in trained and untrained individuals. *Eur J Appl Physiol* 84: 291-295, 2001.

Koutedakis Y, Budgett R et Faulmann L. Rest in underperforming elite competitors. *Br J Sp Med* 24(4): 248-252, 1990.

Kuipers H. Training and overtraining: an introduction. *Med Sci Sports Exerc* 30(7): 1137-1139, 1998.

Lamberts RP. *The development of an evidenced-based submaximal cycle test designed to monitor and predict cycling performance - The Lamberts and Lambert Submaximal Cycle Test (LSCT)* (Thèse de doctorat). University of Cape Town, Afrique du Sud, 2009.

Lamberts RP et Lambert MI. Day-to-day variation in heart rate at different levels of submaximal exertion: implications for monitoring training. *J Stre Cond Res* 23(3): 1005-

1010, 2009.

Lamberts RP, Rietjens GJ, Tjeldink HH et coll. Measuring submaximal performance parameters to monitor fatigue and predict cycling performance: a case study of a world-class cyclo-cross cyclist. *Eur J Appl Physiol* 108: 183-190, 2010.

Lamberts RP, Swart J, Noakes TD et coll. A novel submaximal cycle test to monitor fatigue and predict cycling performance. *Br J Sports Med* 45: 797-804, 2011.

Levinne BD. VO₂max: what do we know, and what do we still need to know? *J Physiol* 586(1): 25–34, 2008.

Lamberts RP. Predicting Cycling Performance in Trained to Elite Male and Female Cyclists. *Int J Sports Phy Perf*, Epub avant impression, 2014.

Lindsay FH, Hawley JA, Myburgh KH, et coll. Improved athletic performance in highly trained cyclists after interval training. *Med Sci Sports Exerc* 28: 1427–1434, 1996.

Lucía A, Pardo J, Durántez A, et coll. Physiological differences between professional and elite road cyclists. *Int J Sports Med* 19: 342–8, 1998.

Lucia A, Hoyos J, Carvajal A et coll. Heart rate response to professional road cycling: the Tour de France. *Int J Sports Med* 20: 167–172, 1999.

Lucia A, Hoyos J, Perez M, et coll. Heart rate and performance parameters in elite cyclists: a longitudinal study. *Med Sci Sports Exerc* 32 (10): 1777–1782, 2000.

Lucia A, Hoyos J et Chicharro JL. Preferred pedalling cadence in professional cycling. *Med Sci Sports Exerc* 33(8): 1361–1366, 2001.

Lucia A, Hoyos J, Perez M, et coll. Which laboratory variable is related with time trial performance time in the Tour de France ? *Br J Sports Med* 38: 636–640, 2004.

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.

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.

Martin JJ et Gill DL. The relationships among competitive orientation, sport-confidence, self-efficacy, anxiety, and performance. *J Sport Exerc Psych* 13(2): 149-159, 1991.

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.

McNair DM, Lorr M et Droppleman LF. *Profile of Mood States Manual*. San Diego, CA: Educational and Industrial Testing Services, 1971.

Meeusen R, Duclos M, Gleeson M et coll. Prevention, diagnosis and treatment of the Overtraining Syndrome. *Eur J Sport Sci* 6(1): 1-14, 2006.

Morgan WP. Psychological monitoring of overtraining and staleness. *Brit J Sports Med* 21(3), 107-114, 1987.

Nimmerichter A, Williams C, Bachl N et coll. Evaluation of a Field Test to Assess Performance in Elite Cyclists. *Int J Sports Med* 31: 160-166, 2010.

Noakes TD. Time to move beyond a brainless exercise physiology: the evidence for complex regulation of human exercise performance. *Appl Physiol Nutr Metab* 36: 23–35, 2011.

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.

O'Connor PJ, Morgan WP, Raglin JS et coll. Mood state and salivary cortisol levels following overtraining in female swimmers. *Psychoneuroendocrinology* 14(4) 303-310, 1989.

Padilla S, Mujika I, Cuesta G et coll. Level ground and uphill cycling ability in professional road cycling. *Med Sci Sports Exerc* 31(6): 878-885, 1999.

Padilla S, Mujika I, Orbananos J et coll. Exercise intensity during competition time trials in professional road cycling. *Med Sci Sports Exerc* 32(4): 850–856, 2000.

Padilla S, Mujika I, Orbananos J et coll. Exercise intensity and load during mass-start stage races in professional road cycling. *Med Sci Sports Exerc* 33(5): 796–802, 2001.

Padilla S, Mujika I, Santisteban J et coll. Exercise intensity and load during uphill cycling in professional 3-week races. *Eur J Appl Physiol* 102: 431–438, 2008.

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.

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.

Pinot J, Grappe F. The power profile to determine the physical capacities of the cyclist . *Comput Meth Biomech Biomed Eng* 13: 103 – 104, 2010.

Pinot J, Grappe F. The power profile to assess performance in elite cyclists. *Int J Sports Med* 32: 839-844, 2011.

Quod MJ, Martin DT, Martin JC et coll. The power profile predicts Road Cycling MMP. *Int J Sports Med* 31: 397 – 401, 2010.

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.

Rodriguez-Marroyo JA, Garcia-Lopez J, Juneau CE et coll. Workload demands in professional multi-stage cycling races of varying duration. *Br J Sports Med* 43: 180–185, 2009.

Rodriguez-Marroyo JA, Pernia R, Cejuela R et coll. Exercise intensity and load during different races in youth and junior cyclists. *J Strength Cond Res* 25(2): 511–519, 2011.

Rushall BS. A Tool for Measuring Stress Tolerance in Elite Athletes. *J Appl Sport Psy* 2: 51-66, 1990.

Saltin B et Astrand PO. Maximal oxygen uptake in athletes. *J Appl Physiol* 23(3): 353-358, 1967.

Sassi A, Impellizzeri FM, Morelli A et coll. Seasonal changes in aerobic fitness indices in

elite cyclists. *Appl Physiol Nutr Metab* 33: 735–742, 2008.

St Clair Gibson A et Noakes TD. Evidence for complex system integration and dynamic neural regulation of skeletal muscle recruitment during exercise in humans. *Br J Sports Med* 38(6): 797–806, 2004.

Tan F et Aziz AR. Reproducibility of outdoor flat and uphill cycling time trials and their performance correlates with peak power output in moderately trained cyclists. *J Sports Sci Med* 4: 278-284, 2005.

Urhausen A, Gabriel HH, Weiler B et coll. Ergometric and psychological findings during overtraining: a long-term follow-up study in endurance athletes. *Int J Sports Med* 19: 114-120, 1998.

Verde T, Thomas S et Shephard RJ. Potential markers of heavy training in highly trained distance runners. *Br J Sp Med* 26(3): 167-175, 1992.

Viru A. The mechanism of training effects: a hypothesis. *Int J sports Med* 5: 219-227, 1984.

Viru A. Molecular cellular mechanisms of training effects. *Physiol Fitness* 34: 309-314, 1994.

Vogt S, Schumacher YO, Roecker K et coll. Power Output during the Tour de France. *Int J Sports Med* 28(9): 756-61, 2007.

Westgarth-Taylor, Hawley JA, Rickard S et coll. Metabolic and performance adaptations to interval training in endurance-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol* 75: 298–304, 1997.

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.