

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À  
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE

PAR  
JEAN-FRANÇOIS DIONNE

VARIATIONS PHYSIOLOGIQUES SUITE À UN CAMP D'ENTRAÎNEMENT PRÉ-  
SAISON CHEZ DES CYCLISTES ENTRAÎNÉS

AOÛT 2013

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

## RÉSUMÉ

Les camps d'entraînement représentent une pratique courante dans la préparation physique des cyclistes de haut niveau. À ce jour, nous connaissons encore peu les effets physiologiques et psychologiques que produit cette forme d'entraînement.

Les objectifs de cette étude sont 1) d'évaluer les adaptations physiologiques reliées aux camps d'entraînement et 2) d'observer la fluctuation de l'état psychologique des participants (mesuré par le questionnaire *Profile of Mood States* ou POMS) après le camp d'entraînement. Quatorze athlètes (8 hommes et 6 femmes) ont été recrutés pour cette étude ( $\dot{V}O_2\text{max moyen: } 65,5 \pm 6,7$  et  $53,2 \pm 4,5 \text{ mlO}_2/\text{kg/min}$ , respectivement). Les participants ont réalisé deux tests à paliers progressifs sur vélo jusqu'à épuisement, soit avant (test<sub>PRECAMP</sub>) et après (test<sub>POSTCAMP</sub>) le camp d'entraînement (durée moyenne :  $9 \pm 3$  jours). Les participants ont géré de façon autonome le volume et l'intensité des séances d'entraînement. Les paramètres physiologiques sous-maximaux et maximaux ont été analysés de même que les paramètres spécifiques reliés au cyclisme, comme l'efficacité mécanique brute (EMB, en %) et l'économie d'effort (EE, exprimé en W/L/min). De plus, la spectroscopie proche infrarouge (SPIR) du muscle *vastus lateralis* a été utilisée pendant les deux tests en laboratoire afin d'observer l'oxygénation musculaire lors des tests d'effort.

L'EMB et l'EE, calculées 1) au seuil lactique (SL) et 2) à la puissance du SL pré-camp ramenée au test<sub>PRECAMP</sub>, ont significativement été augmentées à la suite des camps d'entraînement ( $p < 0,05$ ). Nous observons que les hausses de ces paramètres sont

fortement corrélées à des changements proportionnels de l'hémoglobine totale ainsi que de la désoxyhémoglobine ( $p<0,01$ ) dans le muscle *vastus lateralis* chez les hommes seulement. Contrairement à ce que nous anticipions, les résultats du questionnaire POMS ont démontré que les pointages totaux des sous-catégories «Anxiété-Tension», «Confusion-Perplexité» et «Fatigue-Inertie», en plus du score total, ont tous significativement diminué lors des tests post-camps ( $p<0,05$ ).

Les adaptations rapides de l'EMB et de EE à la suite des camps d'entraînement peuvent être le reflet d'améliorations physiologiques périphériques, comme le démontrent les données de la SPIR. Il est aussi plausible de croire que certaines adaptations neuromusculaires surviennent après la période d'entraînement. De plus, le camp d'entraînement ne semble pas être une pratique exténuante pour les athlètes, tel qu'observé via le questionnaire POMS. Ainsi, le camp d'entraînement pré-saison semble être une méthode d'entraînement favorable pour des cyclistes entraînés.

## **REMERCIEMENTS**

Je tiens à remercier les personnes qui m'ont soutenu de près ou de loin pendant la rédaction de mon mémoire, sans toutefois m'en tenir seulement aux personnes qui seront citées dans les lignes qui suivent.

En premier lieu, je remercie mes parents, Jacinthe et Guy, ma sœur Marie-Pierre et son conjoint Yann, qui ont toujours été aux premières loges pour m'encourager et me motiver à persévéérer dans ce projet. Sans votre support, je n'en serais pas au point où j'en suis actuellement. Je remercie ma copine Kathleen pour son support ainsi que toute sa passion, qu'elle m'a toujours témoigné des plus belles façons.

Je tiens à remercier mon directeur et mon codirecteur, les docteurs François Trudeau et Claude Lajoie, pour les conseils judicieux et pour les partages de connaissances, qui ne semblent avoir aucune limite. Leurs nombreux conseils ont su me faire réfléchir et me faire changer de plans à maintes reprises, ce qui a sans contredit optimisé la qualité de mon travail. Un merci particulier aux participants qui ont gentiment accepté de se déplacer, parfois de loin, pour soutenir mon projet.

Finalement, je ne peux passer sous silence mes collègues et surtout amis, Anthony et Eduardo, avec qui j'ai partagé des discussions aussi passionnantes qu'émotives. Vous avez été une source de motivation et de dépassement pour moi. Je tiens à remercier mon ami Jean-Daniel, pour son aide et son regard juste envers mon travail. À mes bons amis de Trois-Rivières, que je ne nommerai pas tous, mais pour qui j'ai beaucoup de respect et d'amitié et qui ont toujours su être présents au fil de mon parcours de maîtrise, mille mercis à vous tous.

## TABLE DES MATIÈRES

<b>LISTE DES ABRÉVIATIONS .....</b>	vii
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	ix
<b>LISTE DES FIGURES .....</b>	x
<b>1. INTRODUCTION.....</b>	1
1.1. Les obstacles des cyclistes canadiens (et leurs solutions).....	2
<b>2. PROBLÉMATIQUE.....</b>	5
<b>3. CADRE THÉORIQUE.....</b>	8
3.1 : L'entraînement annuel des cyclistes de compétition .....	8
3.2 : Les camps d'entraînement .....	10
3.3 : Déterminants de la performance d'endurance en cyclisme .....	14
3.4 : Notions biomécaniques rattachées au cyclisme .....	19
3.5 : L'entraînement en endurance à court terme ( <i>Short-term endurance training</i> ) ...	21
3.5.1 : Entraînement d'endurance à court terme et paramètres maximaux .....	23
3.5.2 : Entraînement d'endurance à court terme, métabolisme musculaire et cinétique de production de lactate.....	26
3.5.3 : Entraînement d'endurance à court terme adaptations cardiovasculaires.....	30
3.5.4 : Entraînement d'endurance à court terme et oxygénation du muscle squelettique mesurée par spectroscopie proche infrarouge (SPIR).....	33
3.5.5 : Limites des études sur l'entraînement d'endurance à court terme .....	35
3.6 : L'état psychologique à considérer dans les camps d'entraînement .....	36
<b>4. QUESTIONS DE RECHERCHE .....</b>	41
<b>5. HYPOTHÈSES.....</b>	42
<b>6. PHYSIOLOGICAL AND PSYCHOLOGICAL ADAPTATIONS OF TRAINED CYCLISTS TO A CYCLING TRAINING CAMP.....</b>	43
6.1: Abstract .....	44
6.2: Introduction.....	46
6.3: Methods.....	49
6.4: Results.....	55
6.5: Discussion .....	68
6.6: Conclusion .....	76
6.7: Conflict of interest .....	76
6.8: References.....	77

<b>7. DISCUSSION GÉNÉRALE.....</b>	<b>81</b>
7.1 : Changements dans les paramètres d'économie d'effort .....	82
7.2 : Liens entre la hausse des paramètres d'économie d'énergie et le métabolisme musculaire .....	86
7.3 : Les mécanismes d'adaptation neuromusculaire comme voie potentielle d'amélioration des paramètres d'économie d'effort .....	91
7.4 : Effets des camps d'entraînement sur les capacités sous-maximales et maximales .....	92
7.5 : Effets des camps d'entraînement sur le niveau de stress psychologique.....	95
7.6 : Limites de l'étude.....	98
<b>8. CONCLUSION.....</b>	<b>100</b>
<b>RÉFÉRENCES.....</b>	<b>102</b>
<b>ANNEXE A.</b> Cycles d'entraînement annuels pour un sport d'endurance.....	107
<b>ANNEXE B.</b> Estimation de l'inertie au pédalier pour différents ergomètres .....	108
<b>ANNEXE C.</b> Entraînement pour l'équipe du Québec junior hommes et séniors femmes de vélo de montagne : camp de janvier 2013.....	109
<b>ANNEXE D.</b> Entraînement pour l'équipe du Québec senior hommes de vélo de montagne : camp de janvier 2013.....	110
<b>ANNEXE E.</b> Entraînement pour l'équipe du Québec junior hommes et femmes, et U23 de vélo de montagne : camp de printemps.....	111
<b>ANNEXE F.</b> Entraînement pour l'équipe du Québec senior hommes et femmes, et U23 de vélo de montagne : camp de printemps.....	112
<b>ANNEXE G.</b> Caractéristiques physiologiques de cyclistes « entraînés », « bien entraînés », « élites » et « de niveau mondial .....	113
<b>ANNEXE H.</b> Caractéristiques physiologiques des femmes cyclistes de niveau élite mondiale, en fonction de leur spécialité respective.....	114

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

<b>Abréviation</b>	<b>Signification</b>	<b>Unité de mesure</b>
ATP	Adénosine Triphosphate	
BMI	<i>Body mass index</i>	<i>kg/m<sup>2</sup></i>
BPM	Battements cardiaques par minute	
B[La]	<i>Blood lactate concentration</i>	<i>mmol/L</i>
CE	<i>Cycling Economy</i> (voir EE)	<i>W/L/min</i>
CS	Citrate synthéase (anglais : <i>citrate synthase</i> )	
CTC	<i>Cycling Training Camp</i>	
DC	Débit cardiaque	L/min
EE	Économie d'effort	W/L/min
EMB	Efficacité mécanique brute	%
FC	Fréquence cardiaque	BPM
FC <sub>max</sub>	Fréquence cardiaque maximale	BPM
GE	<i>Gross Efficiency</i> (voir EMB)	%
IRP	Inertie ramenée au pédalier	<i>kg/m<sup>2</sup></i>
LaS	Lactatémie sanguine	<i>mmol/L</i>
LT	<i>Lactate threshold</i>	<i>mmol/L</i>
MCT-1	Transporteurs de lactate monocarboxylates-1	
MCT-4	Transporteurs de lactate monocarboxylates-4	
MP	Même puissance	Watts
NIRS	<i>Near Infrared Spectroscopy</i>	
O <sub>2</sub> -PULSE	Pouls en oxygène	<i>mlO<sub>2</sub> / battement</i>
PAM	Puissance aérobie maximale	Watts
PCLTP	<i>Pre-camp lactate threshold power</i>	Watts
POMS	<i>Profil Of Mood States</i>	
PPO	<i>Peak power output</i>	
RPE	<i>Rate of perceived exertion</i>	

RPM	Révolutions par minute	Tours/min
SL	Seuil lactique	mmol/L
SPIR	Spectroscopie Proche Infrarouge	
SR	Seuil respiratoire	L/min
SV	Seuil ventilatoire	L/min
Test <sub>PRECAMP</sub>	Test en laboratoire pré-camp	
Test <sub>POSTCAMP</sub>	Test en laboratoire post-camp	
UCI	Union Cycliste Internationale	
VES	Volume d'éjection systolique	ml / battement
̇V <sub>O<sub>2</sub></sub>	Consommation d'oxygène	mlO <sub>2</sub> /kg/min
̇V <sub>O<sub>2max</sub></sub>	Consommation maximale d'oxygène	mlO <sub>2</sub> /kg/min
̇V <sub>E</sub>	Ventilation pulmonaire	L/min
VTS	Volume total de sang	L
W	Watts	Unité de puissance
W/kg	Rapport des Watts divisé par le poids corporel (en kilogrammes)	Unité de puissance
ΔHb	Différence de concentration en désoxy-hémoglobine entre la mesure de repos et une mesure momentanée pendant le test de PAM	Unités arbitraires
ΔO <sub>2</sub> Hb	Différence de concentration en hémoglobine saturée en oxygène entre la mesure de repos et une mesure momentanée pendant le test de PAM	Unités arbitraires
ΔTHb	Différence de concentration en hémoglobine totale entre la mesure de repos et une mesure momentanée pendant le test de PAM	Unités arbitraires
ΔTSI%	Différence dans l'indice de saturation totale du muscle entre la mesure de repos et une mesure momentanée pendant le test de PAM	Unités arbitraires

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 3.2</b> Semaine d'entraînement typique d'un athlète de classe mondiale lors d'un camp d'entraînement de début de saison .....	13
<b>Table 6.1</b> Physiological and anthropometric characteristics of participants .....	55
<b>Table 6.2</b> Global training characteristics of subjects in CTC.....	56
<b>Table 6.3</b> Time (minutes) spent in the 2 intensity zones during CTC.....	56
<b>Table 6.4</b> Differences in average scores obtained in different categories of the POMS questionnaire between test <sub>PRECAMP</sub> and test <sub>POSTCAMP</sub> .....	57
<b>Table 6.5</b> Evolution of physiological variables before and after CTC for men, women and both genders together. ....	60
<b>Table 6.6</b> Evolution of efficiency variables between test <sub>PRECAMP</sub> and test <sub>POSTCAMP</sub> at lactate threshold (LT) and at pre-camp lactate threshold power (PCLTP) .....	61

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 6.1-A</b> : Delta changes in CE and THb (postcamp – precamp) for men at the same submaximal power output (PCLTP) .....	62
<b>Figure 6.1-B</b> Delta changes in CE and HHb (postcamp – precamp) for men at the same submaximal power output (PCLTP) .....	62
<b>Figure 6.1-C</b> Delta changes in CE and HHb (postcamp – precamp) for men at LT.....	63
<b>Figure 6.2-A</b> Delta changes in GE and THb (postcamp – precamp) for men at the same submaximal power output (PCLTP) .....	64
<b>Figure 6.2-B</b> Delta changes in GE and HHb (postcamp – precamp) for the same submaximal power output (PCLTP). ....	64
<b>Figure 6.2-C</b> Delta changes in GE and HHb (postcamp – precamp) at LT.....	65
<b>Figure 6.3-A</b> Delta changes in GE and TSI% (postcamp – precamp) for both genders at lactate threshold (LT).....	66
<b>Figure 6.3-B</b> Delta changes in CE and TSI% (postcamp – precamp) for both genders at lactate threshold (LT).....	66
<b>Figure 6.4</b> Delta changes in $\dot{V}O_2$ and THb (postcamp – precamp) for the same submaximal power output (PCLTP) .....	67
<b>Figure 6.5</b> Delta changes in $\dot{V}_E$ and HHb (postcamp – precamp) for the same submaximal power output (PCLTP).....	67

## **1. INTRODUCTION**

Le cyclisme sur route est l'une des disciplines sportives les plus difficiles et exigeantes au monde en raison de la grande demande physiologique que ce sport exige. L'entraînement rattaché à cette discipline est ardu et se déroule pratiquement sur toute l'année. Tout au long de cette préparation, le cycliste et son entraîneur doivent planifier la gestion et la distribution de l'entraînement sous forme de cycles (Bompa et Haff, 2009). Ces cycles sont plus ou moins longs et concernent des qualités physiologiques ou des techniques différentes (endurance, gestion de l'intensité, techniques de course, etc.). De façon générale, ces périodes sont distribuées en fonction du calendrier de compétitions du cycliste. Par exemple, après la période de transition post-compétition (pause relative à la fin de l'automne), le cycliste reprendra son entraînement en misant sur la remise en forme et sur une augmentation graduelle de l'endurance aérobie (Hawley et Stepto, 2001). L'annexe A présente les différentes phases (ou cycles) annuelles de l'entraînement du cycliste (Bompa et Haff, 2009). Avant de commencer la saison de compétition, le cycliste passera plusieurs semaines à « rouler » en endurance fondamentale pour « accumuler » des kilomètres et les heures d'entraînement. Cette programmation cyclique de l'entraînement réfère aussi au concept de « périodisation » (Bompa et Haff, 2009).

Historiquement, les cyclistes sont connus pour atteindre un volume d'entraînement particulièrement élevé, voire des surcharges de travail intentionnelles (Jeukendrup, Craig et Hawley, 2000; Hopker, Coleman, Passfield et Wiles, 2010). Ces surcharges de travail sont préconisées afin de créer de profondes adaptations

physiologiques, tant chez des cyclistes récréatifs, entraînés ou professionnels (Jones et Carter, 2000). C'est habituellement lors de la saison hivernale ou au début du printemps que le cycliste choisira de participer à un camp d'entraînement.

### **1.1. Les obstacles des cyclistes canadiens (et leurs solutions)**

Au Canada, la saison hivernale représente un obstacle particulier pour les cyclistes. Durant l'hiver, les cyclistes se voient dans l'impossibilité de poursuivre la pratique de leur sport à l'extérieur en raison des conditions climatiques défavorables. Cela force les cyclistes à se tourner vers des activités alternatives (cross-training) ou vers l'entraînement en salle (musculation ou ergomètre), ce qui ne reflète pas la spécificité du sport à l'extérieur. Aussi est-il juste de mentionner que sur le plan géographique, le Canada n'est pas un endroit favorable à la pratique annuelle du cyclisme. Tout cela sans compter les risques de blessures, d'infections, de maladies ou même d'accidents auxquels les cyclistes s'exposent lorsqu'ils roule par températures froides.

Afin de contourner ces conditions, plusieurs cyclistes compétitifs québécois et canadiens quitteront le pays lors des saisons froides pour aller vers des destinations plus chaudes où ils pourront rouler quelques jours ou quelques semaines. Cette pratique, bien connue du milieu cycliste et aussi d'autres milieux sportifs, porte le nom bien précis de « camp d'entraînement » hivernal ou printanier (en Europe francophone, le terme « stage d'entraînement » est souvent utilisé [Grappe, 2009]). Toutefois, en ne considérant que l'impact physiologique du camp d'entraînement, il semble légitime de

se demander si, lors de la période hivernale ou printanière, le cycliste a vraiment intérêt à quitter quelques jours ou quelques semaines vers une destination où il pourra rouler, sachant qu'il peut très bien s'entraîner sur une bicyclette ergométrique ou encore sur son propre vélo, attaché à un support d'entraînement (une base d'entraînement, un rouleau, etc.). De plus, de façon moins spécifique, le cycliste peut s'entraîner dans un sport différent mais complémentaire, par exemple le ski de fond.

Il apparaît donc nécessaire de se demander si les investissements sportifs, psychologiques, physiologiques et monétaires qu'impliquent les camps d'entraînement en valent la peine. Scientifiquement, plusieurs auteurs ont étudié « l'entraînement d'endurance à court terme », un concept qui se rapproche relativement de ce qui est observé en camp d'entraînement en ce qui a trait au volume et à l'intensité d'entraînement, mais qui diffère entre autres par le fait que cette forme d'entraînement est conduite en laboratoire et chez des sujets sains et normalement actifs. Néanmoins, ces auteurs ont démontré que plusieurs paramètres physiologiques peuvent changer suivant un entraînement d'endurance à court terme (Green, Jones, Hughson, Painter et Farrance, 1987; Green, Jones, Houston, Ball-Burnett et Farrance, 1989; Green, Jones et Painter, 1990; Green, Coates, Sutton et Jones, 1991*a*; Green, Jones, Ball-Burnett, Smith, Livesey et Farrance, 1991*b*; Green, Ball-Burnett, Symon, Grant et Jamieson, 1995; Phillips, Green, Tarnopolsky et Grant, 1995; Spina, Chu, Hopkins, Nemeth, Lowry et Holloszy, 1996; Putman, Jones, Hultman, Hollidge-Horvat, Bonen, McConachie et Heigenhauser, 1998; Neary, McKenzie et Bhambhani, 2002; Goodman, Liu et Green, 2005; Green, Bombardier, Duhamel, Stewart, Tupling et Ouyang, 2008; McKay,

Paterson et Kowalchuk, 2009). À notre connaissance, aucune étude scientifique n'a, jusqu'à ce jour, analysé ou répertorié les adaptations physiologiques et psychologiques potentielles liées aux camps d'entraînement.

La problématique qui suit soulèvera les lacunes observées entourant le concept d'entraînement d'endurance à court terme. Nous tenterons ainsi de justifier pourquoi et comment une étude sur les camps d'entraînement chez des athlètes entraînés peut être utile.

## 2. PROBLÉMATIQUE

Durant la phase préparatoire de la saison de compétitions de plusieurs cyclistes québécois et canadiens, le camp d'entraînement représente une pratique incontournable afin d'augmenter le volume d'entraînement et la condition physique globale du cycliste. La difficulté de rouler à l'extérieur lors de la période hivernale ainsi que la motivation du cycliste face à la saison qui approche sont deux des raisons importantes qui peuvent motiver les cyclistes à prendre part à un camp d'entraînement. Une telle pratique pourrait possiblement générer des bénéfices physiologiques plus importants si elle était priorisée contrairement à l'entraînement intérieur sur une base d'entraînement (rouleau) ou sur ergocycle.

Tel que mentionné dans l'introduction, *l'entraînement d'endurance à court terme* est un concept qui a été étudié à maintes reprises dans la littérature scientifique. Il s'agit d'un concept-clé, car il s'apparente au camp d'entraînement en termes de durée (en journées) et d'intensité. Cependant, plusieurs interrogations subsistent à propos de ce concept, entre autres 1) parce qu'il a rarement été étudié chez une population d'athlètes de bon niveau et 2) parce que ce type d'intervention est généralement réalisé en condition expérimentale (en laboratoire). Or, nous constatons un manque de données scientifiques concernant les adaptations générales à l'entraînement d'endurance à court terme 1) chez les athlètes de haut niveau ou « bien entraînés » (selon les critères de Jeukendrup et coll. [2000] pour les hommes et de Impellizzeri, Ebert, Sassi, Menaspà, Rampinini et Martin [2008] pour les femmes), 2) sur les adaptations physiologiques

spécifiques à ce type d'entraînement en conditions extérieures (sur le terrain), et 3) sur l'état psychologique post-entraînement des participants.

Plusieurs paramètres physiologiques sont appelés à subir des modifications lors d'un entraînement d'endurance à court terme: la consommation sous-maximale et maximale d'oxygène ( $\dot{V}O_2$  et  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ ), le seuil lactique (SL), la lactatémie sanguine en fonction d'une intensité donnée, la puissance aérobie maximale (PAM), la puissance relative au poids exprimée en Watts par kilogramme de poids corporel (W/kg), les paramètres d'efficacité de mouvement (économie d'effort [EE] et efficacité mécanique brute [EMB]), le comportement des fréquences cardiaques (FC) sous-maximales et maximales de même que les adaptations périphériques musculaires (mesurées via la spectroscopie proche infrarouge ou SPIR ou NIRS). Comme mentionné plus tôt, très peu de données existent et démontrent comment ces paramètres physiologiques évoluent lors d'un entraînement d'endurance à court terme en conditions réelles (extérieures) et, selon une pensée populaire fort répandue, les camps d'entraînement représentent une pratique très ardue, tant au point de vue physiologique que psychologique. Aussi sera-t-il intéressant d'observer l'évolution de certains paramètres psychologiques avec l'aide d'un test psychométrique (questionnaire *Profile Of Mood States*, POMS), dans le but de comprendre et de décrire comment les athlètes répondent, en termes motivationnels, à une telle charge d'entraînement.

Cette étude est justifiée en raison du manque de données scientifiques à propos du concept-clé d'*entraînement d'endurance à court terme* appliqué aux athlètes de haut niveau. Puisque le camp d'entraînement est réalisé en conditions réelles (extérieures),

cette étude sera l'occasion de répondre à certains questionnements pratiques provenant des scientifiques, des entraîneurs et des athlètes par rapport à la pertinence des camps d'entraînement.

Les prochaines pages serviront à mettre en lumière les concepts théoriques susceptibles d'être inclus dans notre recherche. Bien que plusieurs points de discussion porteront sur les effets de l'entraînement d'endurance à court terme, nous tenterons également de fournir des détails concernant divers principes importants rattachés à la performance en cyclisme.

### 3. CADRE THÉORIQUE

Les prochaines pages auront comme objectif principal de présenter les caractéristiques des cyclistes selon ce qui est connu dans la littérature scientifique. Nous ferons une présentation générale du cycliste de compétition et surtout des caractéristiques de ceux qui résident au Canada. De plus, nous décrirons les exigences de performance pour réussir en cyclisme de compétition. Finalement, nous examinerons un concept étroitement lié aux camps d'entraînement, l'*entraînement d'endurance à court terme*, afin d'exposer les adaptations physiologiques, biochimiques, métaboliques et psychologiques qui sont susceptibles de survenir après un camp d'entraînement.

#### 3.1 : L'entraînement annuel des cyclistes de compétition

Les cyclistes professionnels évoluant en Europe peuvent rouler à l'extérieur pratiquement toute l'année, pour des distances totales variant entre 30 000 et 35 000 kilomètres (km) (voir annexe B, Jeukendrup et coll., 2000). Chez les femmes, à notre connaissance, il n'existe aucune donnée sur le volume annuel d'entraînement. Jeukendrup et coll. (2000) estiment qu'un cycliste de classe élite roulera en moyenne jusqu'à 650 km par semaine, contre 250 km pour un cycliste de bon niveau. Bien qu'à notre connaissance aucune donnée scientifique ne le confirme, le volume d'entraînement annuel des cyclistes québécois et canadiens de haut niveau se rapproche probablement des cyclistes élites européens. Cependant, au Québec, les cyclistes et entraîneurs parlent davantage du volume d'entraînement en nombre d'heures et non pas en nombre de kilomètres (voir annexes C à F). Aussi sera-t-il probablement régi selon le nombre de

courses auxquelles le cycliste participera durant une saison, associé à la classe compétitive à laquelle il appartient (Jeukendrup et coll., 2000).

La distribution annuelle de l'entraînement et de l'intensité se fera en fonction de périodes précises dans le plan d'entraînement. Par exemple, la dernière compétition du calendrier professionnel sur route de l'Union Cycliste Internationale (UCI) en 2013 était le Tour de Beijing, du 11 au 15 octobre<sup>1</sup>. De façon générale, après cette dernière course, les cyclistes s'octroieront quelques semaines de repos plus ou moins complet, en conservant un volume d'entraînement très faible, majoritairement autour d'une à deux heures par jour à des intensités en dessous de 60% du  $\dot{V}O_2\text{max}$  (Sassi, Impellizzeri, Morelli, Menaspà et Rampinini, 2008). Ensuite, durant le mois de décembre, les cyclistes professionnels reprennent graduellement l'entraînement en vue de la nouvelle saison cycliste qui débutera dès janvier (Sassi et coll., 2008). Lors de la saison morte, certains paramètres physiologiques diminueront légèrement ( $\dot{V}O_2\text{max}$ , PAM, seuils lactiques, économie d'effort, etc.) en raison de la baisse d'intensité de l'entraînement lors de la phase annuelle de transition (Sassi et coll., 2008).

Pour la plupart des cyclistes compétitifs du Québec et du Canada, l'entraînement hivernal spécifique au cyclisme se déroule très souvent à l'intérieur, sur un vélo stationnaire ou en salle de musculation (Thibault, 2010). Il y a aussi la possibilité de pratiquer une discipline sportive différente (cross-training) comme le ski de fond ou la course à pied, sans toutefois retrouver le principe de spécificité. Bien que le vélo

---

<sup>1</sup> : Consulté en ligne, le 14 août 2013 : <http://www.uciprotour.com/templates/BUILTIN-NOPFRAMES/Template3/layout.asp?Menuld=MTY2NzU&LangId=1>

stationnaire ou le « rouleau » à base fixe soient des outils qui répliquent très bien le mouvement du cycliste, il semble néanmoins légitime de croire que les conditions intérieures ne reflètent pas exactement les conditions réelles comme l'ont déjà expliqué Bertucci, Grappe et Groslambert (2007). Ceci sera discuté au point 3.4, mais il semble d'abord important de définir et comprendre le camp d'entraînement.

### **3.2 : Les camps d'entraînement**

À notre connaissance, aucun article scientifique ne s'est penché précisément sur l'observation des effets des camps d'entraînement, bien que le terme soit utilisé dans quelques travaux (Levine et Stray-Gundersen, 1997; Jones et Carter, 2000; Hawley et Stepto, 2001; Faude, Meyer, Urhaussen et Kindermann, 2009; Slivka, Hailes, Cuddy et Ruby, 2010). Or, il semble pertinent de le définir tel qu'il est vécu par plusieurs cyclistes compétitifs canadiens. Il s'agit d'une période d'entraînement d'une durée précise, souvent comprise entre 7 et 21 jours, dans la phase précompétitive, où le cycliste quitte vers un lieu géographique propice à la pratique du vélo afin d'accumuler un maximum de volume d'entraînement (en heures ou en km). Le tout est réalisé dans le but de préparer le cycliste à la saison de compétition qui approche (Hawley et Stepto, 2001). Bien qu'ils soient souvent réalisés en plaine ou en terrain vallonné, voire en terrain montagneux, il arrive aussi que les camps d'entraînement se réalisent en altitude pour des raisons physiologiques (Levine et Stray-Gundersen, 1997). De plus, si l'objectif primaire est généralement de cumuler un grand volume d'entraînement, il est fréquent d'observer des camps plus « intensifs », dépendamment du temps de l'année où ils

seront pratiqués. Ultimement, le fait d'augmenter son volume d'entraînement permettra possiblement au cycliste d'optimiser divers paramètres rattachés à la performance, comme la technique (le coup de pédale, la coordination gestuelle, etc.), de même que ses capacités physiques (Jones et Carter, 2000; Sassi et coll., 2008; Grappe, 2009). En raison des fluctuations saisonnières des capacités physiques du cycliste, et pour l'entraînement global du cycliste (Sassi et coll., 2008), les camps d'entraînement semblent être une pratique intéressante en début de saison. On remarque aussi que certains cyclistes participent à plusieurs camps d'entraînement lors de cette période de l'année.

Si l'idée première des camps d'entraînement est d'offrir aux cyclistes une période de plusieurs jours où ils peuvent rouler et acquérir un grand volume d'entraînement, d'autres objectifs sont également poursuivis : des objectifs 1) physiologiques (améliorer la capacité d'endurance aérobie, effectuer du travail en intervalles de haute intensité, absorber un volume d'entraînement optimal, etc.), 2) techniques (améliorer la technique de pédalage et les gestes techniques propres au cyclisme de route ou de montagne, améliorer les comportements en peloton, etc.), 3) tactiques (développer des stratégies de course, lancer des attaques ou y répondre, etc.), 4) psychologiques (amener l'athlète à travailler sur sa force mentale en situation difficile, à analyser des situations particulières, renforcer les liens entre coéquipiers, etc.), et 5) personnels (intégrer les nouveaux athlètes au groupe, offrir des cliniques éducationnelles sur différents sujets pertinents, etc.) (Hugues, 2011, *données non publiées*).

Le tableau 3.2 relate l'entraînement typique effectué par des cyclistes professionnels européens de niveau mondial lors d'un camp d'entraînement pré-saison d'une durée de 2 à 3 semaines (Hawley et Stepto, 2001). On peut observer que la plus grande partie du temps d'entraînement se réalise à intensité faible à moyenne, rarement élevée. Aussi, il est intéressant de noter que le temps d'entraînement est rarement sous trois heures par jour, ceci démontrant l'objectif primaire du camp qui est d'absorber un volume d'entraînement en endurance relativement élevé.

**Tableau 3.2** Semaine d'entraînement typique d'un athlète de classe mondiale lors d'un camp d'entraînement de début de saison  
(Tiré et traduit de Hawley et Stepto, 2001, p. 513. Adapté de Hawley et Burke.)

Jour	Description	Intensité	Durée (h)	Distance (km)
Lundi	Jour de repos ou décontraction	-	-	-
Mardi	Sortie moyennement longue	Facile à moyenne	3-4	110
Mercredi	Sortie moyennement longue	Facile à moyenne	4	130
Jeudi	Sortie de récupération Entraînement en intervalles	Facile Difficile	2 2-3	70 80-100
Vendredi	Sortie de récupération	Facile	2-3	90
Samedi	Sortie d'endurance	Moyenne	4-6	170-200
Dimanche	Tests physiologiques ou sortie en petits groupes	-	-	-
Total de la semaine	-	17 à 22	650 à 700 et +	

Au Québec, les camps d'entraînement des équipes provinciales de vélo de montagne et de vélo de route ont lieu au printemps. Au début de la saison 2011, deux camps ont eu lieu pour l'équipe du Québec de vélo de montagne, soit un en Californie et un autre en Virginie (Hugues, 2011, *données non publiées*). Les calendriers, horaires et détails d'entraînement sont présentés aux annexes C, D, E et F. De façon générale, les entraîneurs planifient les séances d'entraînement en fonction de l'âge du participant (par catégorie) et du sexe. On observe qu'environ 58 à 70% du temps d'entraînement prévu est consacré à l'endurance fondamentale (zone 1), ce qui est en accord avec ce qui a précédemment rapporté par Hawley et Stepto (2001). L'entraîneur définit la zone 1 comme un travail équivalant à 50-59% de la PAM.

D'autres formes d'entraînement sont également prévues. Les athlètes passent du temps en zone 2 et 3, la dernière correspondant à la mention « sortie de rythme ». La zone 2 correspond à une intensité de 60 à 70% de la PAM, tandis que la zone 3 correspond à 71-85% de la PAM. Environ 17% du temps total a été passé en zone 2, selon les catégories. Le reste du temps est davantage consacré à l'entraînement d'intensité (zone 3 ou intervalles) ou la musculation sur vélo (par exemple, en côte, rester assis sur le vélo plutôt que de monter debout). Ainsi, on observe effectivement que le camp d'entraînement semble avoir comme objectif primaire de cumuler un grand volume d'entraînement, bien que d'autres formes d'entraînement soient également au calendrier. Puisque le cyclisme est un sport où plusieurs qualités physiologiques sont requises pour bien performer, il est important de connaître les effets potentiels des camps d'entraînement sur ces qualités physiologiques, aussi appelées déterminants de la performance.

### **3.3 : Déterminants de la performance d'endurance en cyclisme**

Pour chaque cycliste, l'objectif ultime de l'entraînement est d'augmenter sa capacité à maintenir un effort à une intensité la plus élevée possible sur une distance donnée (Hawley, 2002). Pour ce faire, plusieurs paramètres doivent être pris en considération concernant l'amélioration de la performance. Jeukendrup et coll. (2000) ont élaboré des critères de performance très précis, basés sur divers paramètres physiologiques qui, lorsqu'ils sont améliorés, ont le potentiel de contribuer à l'amélioration des performances en cyclisme. Ces paramètres sont le  $\dot{V}O_2\text{max}$ , la PAM,

l'EE, et le rapport W/kg. Il y a aussi des paramètres concernant l'état d'entraînement (fréquence hebdomadaire des entraînements, rang mondial, nombre de courses annuelles, de même que le passé sportif). Selon sa capacité, le cycliste appartient à une classe précise, soit un cycliste « entraîné », un cycliste « bien entraîné », un cycliste « élite » ou un cycliste de « classe mondiale » (voir annexe G). Chez les femmes, les classes ne sont pas aussi bien définies. Néanmoins, nous pouvons nous référer au travail de Impellizzeri et coll. (2008), qui ont évalué des cyclistes féminines de niveau élite mondiale (voir annexe H). Le travail de ces chercheurs offre quelques pistes de comparaisons. Ainsi, nous pouvons penser que l'entraînement total du cycliste (en volume et en intensité) dépendra étroitement de la catégorie à laquelle il se situe et aussi de ses forces et objectifs (courses sur route, contre-la-montre, épreuves sur piste, cycliste de montagne, triathlète, etc.).

Dans une revue de littérature, Jones et Carter (2000) mentionnent que l'entraînement en endurance résulte en de profondes adaptations des systèmes cardiorespiratoires et neuromusculaires. Ils définissent quatre paramètres essentiels pour une performance aérobie optimale : 1) le  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ , 2) l'EE, 3) les seuils ventilatoire (SV) et lactique (SL) et 4) la cinétique de la  $\dot{V}O_2$ . Ils avancent l'hypothèse selon laquelle lorsqu'un ou plusieurs de ces paramètres sont améliorés, la performance du cycliste augmente automatiquement (en omettant de considérer les facteurs tactiques, techniques et environnementaux). Dans le même ordre d'idées, Hawley (2002) précise que l'entraînement d'endurance comprend des adaptations fonctionnelles pour le cycliste (par exemple, en étant plus puissant), mais cela inclut d'abord des adaptations

biochimiques (particulièrement au niveau musculaire) et métaboliques. Ainsi, les programmes d'entraînement en endurance imposeront des adaptations au niveau musculaire, par exemple 1) une plus forte production d'énergie des systèmes aérobie et anaérobie, 2) un contrôle métabolique plus affuté (par exemple, une balance entre la production et l'hydrolyse d'adénosine triphosphate ou ATP), 3) une diminution des débalancements cellulaires (soit une acidification plus contrôlée), 4) une amélioration de l'EE et 5) une meilleure résistance des muscles à la fatigue.

Tel que mentionné dans le paragraphe précédent, l'entraînement en endurance induit des changements dans les paramètres d'économie et d'efficacité du mouvement, soit l'EMB et l'EE. Selon Jeukendrup et Martin (2001), ces paramètres sont reconnus pour être des déterminants de la performance en cyclisme, au même titre que le SL ou le  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ . L'EMB, généralement rapportée entre 18 et 23 % chez des cyclistes entraînés (Coyle, Sidossis, Horowitz et Beltz, 1992; Hopker, Passfield, Coleman, Jobson, Edwards et Carter, 2009), est représentée par le ratio du travail accompli (exprimé en Watts) divisé par l'énergie métabolique dépensée (Coyle, Feltner, Kautz, Hamilton, Montain, Baylor, Abraham et Petrek, 1991). Il est effectivement intéressant de regarder ces concepts puisque Jeukendrup et coll. (2000) ont développé un modèle mathématique qui prévoit qu'une augmentation de seulement 1 % de l'EMB, en chiffre absolu, est positivement corrélée à une amélioration de 63 secondes lors d'un test contre-la-montre de 40 kilomètres en laboratoire. Le calcul est ainsi exprimé :

$$[60 \times W] \div [20934 \times \dot{V}O_2].$$

Concernant le concept d'EE, il est obtenu en divisant le travail mécanique sous-maximal (W) par la consommation d'oxygène (en litres), exprimé W/L/min (Coyle et coll., 1991; Jeukendrup et coll., 2000).

Il semble accepté que l'EMB ne soit pas appelée à changer lors d'un entraînement d'endurance à court terme (Hopker et coll., 2009). Ces auteurs estiment plutôt qu'environ quatre semaines d'entraînement, voire plus, seraient nécessaires pour observer les premiers changements. Néanmoins, puisque nous savons qu'une puissance sous-maximale peut augmenter pour une même intensité métabolique (c'est-à-dire un pourcentage donné du  $\dot{V}O_2\text{max}$ ) à la suite d'une période d'entraînement d'endurance à court terme (Neary et coll., 2002), il semble plausible de croire que ce sont d'abord et avant tout des changements centraux (c'est-à-dire l'altération de la cinétique de consommation d'oxygène au niveau pulmonaire) qui sont à la base des fluctuations d'EE et d'EMB, suite à une période d'entraînement d'endurance à court terme chez des athlètes entraînés. Néanmoins, des changements périphériques pourraient aussi être responsables de ces modifications. En effet, il est clairement démontré que la respiration cellulaire est modifiée après seulement 7 à 10 jours d'entraînement en raison d'une hausse de l'activité enzymatique intracellulaire (Spina et coll., 1996). Ainsi, l'activité enzymatique accrue pourrait être responsable de l'augmentation de l'EMB et de l'EE car pour une charge de travail mécanique plus élevée (W), un apport accru en oxygène aux muscles actifs n'est pas nécessaire (Holloszy et Coyle, 1984). C'est plutôt une meilleure « utilisation » de l'oxygène qui serait en cause. Peu importe le mécanisme,

l'amélioration de l'EE et de l'EMB est intéressante pour le cycliste et ne semble pas improbable, même pour une durée aussi courte que celle d'un camp d'entraînement.

Hawley (2002) mentionne que le volume, l'intensité et la fréquence des séances d'exercice sont les trois composantes importantes dans la réussite d'un programme d'entraînement d'une durée donnée. Cet auteur fait également la distinction entre les réponses « immédiates » à l'entraînement, observables immédiatement après une séance d'entraînement et les réponses « chroniques », celles-ci apparaissant après une accumulation de séances d'entraînement : on peut alors parler d'adaptation et de surcompensation. C'est effectivement après plusieurs séances d'entraînement que le corps s'adapte à un stimulus physique (Hawley, 2002). Ainsi, les camps d'entraînement en cyclisme, comme dans tout autre sport, ont en partie cet objectif de fournir aux athlètes la possibilité d'augmenter rapidement leur condition physique par un entraînement de courte durée variant de quelques jours à quelques semaines.

Dans les prochaines pages, nous tenterons de déterminer si un camp d'entraînement (via une revue du concept d'entraînement d'endurance à court terme), d'une durée aussi courte que quelques jours à quelques semaines, peut s'avérer être une période de temps assez longue pour que l'on puisse espérer des modifications d'un ou de plusieurs déterminants de la performance. Juste avant, nous discuterons de l'entraînement intérieur, sur rouleau ou sur bicyclette ergonomique, à savoir si le fait de rouler en conditions réelles (à l'extérieur) est différent de rouler sur une base d'entraînement (à l'intérieur).

### **3.4 : Notions biomécaniques rattachées au cyclisme**

Il existe des différences entre le fait de rouler en conditions réelles (sur la route, dans le vent, au soleil et dans la pluie, dans des températures plus ou moins élevées, etc.) comparativement à l'intérieur (sur une base d'entraînement). Grappe (2009) identifie trois résistances à vaincre lorsque qu'un cycliste roule à l'extérieur : 1) la traînée aérodynamique de l'air, 2) les résistances de roulement (la friction des pièces dans le vent, le roulement des pneus au sol, etc.) et 3) la force de gravité (en ascension). En se basant seulement sur ces éléments, n'importe quel cycliste pourrait affirmer qu'il est préférable de rouler à l'extérieur, puisqu'en plus des conditions météorologiques, les paramètres nommés précédemment ne peuvent qu'en partie être reproduits à l'intérieur.

Un concept important pour comprendre la différence qui existe entre les conditions extérieures et intérieures est de quantifier l'inertie qu'un cycliste produit au niveau du pédalier (inertie ramenée au pédalier ou IRP) (Hansen, Jørgensen, Jensen, Fregly et Sjøgaard, 2002; Bertucci et coll., 2007; Sassi, Rampinini, Martin et Morelli, 2009; Grappe, 2009; Grappe, 2012). Sassi et coll. (2009) définissent l'IRP comme la force qui s'oppose à la vitesse angulaire des manivelles du pédalier. L'IRP se mesure sur le terrain, mais peut aussi être mesurée en laboratoire (Grappe, 2009). Elle prend en compte, entre autre, la masse du cycliste et de son vélo, le nombre de révolutions par minute (RPM) et surtout le développement (braquet) utilisé par le cycliste (Grappe, 2009; Grappe, 2012). Plus le résultat du calcul de l'IRP est élevé, plus la résistance inertie au pédalier est grande (voir annexe B). Nous obtenons la valeur d'une force exprimée en kilogrammes par mètre carré ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ), permettant indirectement d'apprécier

une partie de la force qui s'oppose au cycliste afin de se déplacer à une vitesse donnée. En termes pratiques, l'IRP influence grandement la perception de l'effort pour un niveau de puissance donnée (Grappe, 2012). Grappe (2009) mentionne qu'à l'heure actuelle, il est impossible de reproduire sur rouleau ou cyclo-ergomètre la même somme de travail qu'en conditions réelles, en tenant compte du calcul de l'IRP.

Bertucci et coll. (2007) ont comparé les deux situations. Ils ont tenté de déterminer l'état de fatigue (avec l'échelle de Borg) de cyclistes ayant réalisé cinq tests en laboratoire, lesquels ont été reproduits sur la route (sur le plat et en montée). Les tests étaient de même durée (une minute) à des fréquences de pédalage précises (60, 80 ou 100 RPM) et à la même puissance mécanique (W), soit à la PAM du cycliste. Les dénivélés étaient reproduits sur cyclo-ergomètre (Monark 818E, Varberg, Suède). Dans un premier temps, les résultats démontrent que l'état de fatigue a été plus élevé en laboratoire plutôt que dans des conditions réelles (sur la route), et ce, pour trois raisons : 1) la sensation de fatigue physiologique pourrait être accrue en laboratoire en raison d'une plus grande présence de mouvements de compensation provenant du haut du corps (davantage de mouvements au niveau des bras, des mains et des épaules) résultant en une plus grande perte d'énergie, 2) il pourrait y avoir des modifications dans les perceptions des feedbacks intrinsèques de l'athlète (via des changements dans la stimulation des mécanorécepteurs), résultant en une modification de la force totale appliquée sur les manivelles de pédales et 3) les auteurs émettent l'hypothèse que les cyclistes sont simplement plus assujettis à la fatigue psychologique puisque le fait de pédaler sur place avec le même environnement visuel peut devenir monotone. Fait

notable, les investigateurs observent que la force appliquée (en Newton × mètre) sur les manivelles de pédales est moins importante en conditions de laboratoire contrairement aux conditions extérieures, et ce, peu importe le RPM. Ils soulignent que ces différences sont présentes en raison de l'IRP qui est nettement supérieure à l'extérieur (IRP variant de 21,8 à 137,2 kg/m<sup>2</sup>) qu'elle l'est sur la bicyclette ergométrique (5,2 kg/m<sup>2</sup>).

Évidemment, outre ceux identifiés plus haut, d'autres facteurs biomécaniques peuvent être déterminants pour le cycliste, comme la technique de pédalage (le fait d'assurer une traction sur les pédales, changer de position, etc.) de même que les conditions techniques (par exemple, suivre un cycliste et échanger des relais). Il s'agit de facteurs qui ne peuvent être reproduits que partiellement à l'intérieur (Hansen et coll., 2002; Bertucci et coll., 2007; Grappe, 2009). En ne considérant que ce qui est mentionné dans les lignes précédentes, il semble clair que certains facteurs limitatifs sont présents pour les cyclistes qui doivent s'entraîner à l'intérieur lors de la saison hivernale, tant au niveau motivationnel que biomécanique. Ainsi, le camp d'entraînement semble, *a priori*, représenter une pratique intéressante pour les cyclistes compétitifs. Il s'agit maintenant de savoir si ces camps peuvent avoir les effets escomptés, en observant particulièrement le concept d'entraînement d'endurance à court terme.

### **3.5 : L'entraînement en endurance à court terme (*Short-term endurance training*)**

Tel que mentionné, à notre connaissance, aucune étude scientifique n'a observé l'effet d'un camp d'entraînement sur de potentielles adaptations physiologiques. Cependant, le concept d'*entraînement d'endurance à court terme* a été utilisé à maintes

reprises par plusieurs études rapportées dans ce mémoire (voir le point 1 pour références). Ce concept se révèle important dans le cas de notre étude, puisqu'il représente ce que les athlètes expérimentent lors d'un camp d'entraînement. Howard J. Green est l'un des chercheurs ayant énormément élaboré sur ce concept. À ce jour, il s'agit des observations qui se rapprochent le plus des camps d'entraînement et des adaptations physiologiques rattachées à ce type d'entraînement, en raison des aspects suivants : 1) les expérimentations sont effectuées en laboratoire sur des périodes qui varient la plupart du temps entre 3 et 21 jours, durée comparable à celle des camps d'entraînement réalisés par les athlètes québécois et canadiens, 2) la durée quotidienne des séances d'entraînement se situe entre 90 et 120 minutes, correspondant à une séance d'entraînement d'endurance, 3) les investigations ont été réalisées en mesurant plusieurs paramètres physiologiques différents, donnant ainsi plusieurs indices sur les adaptations probables rattachées à l'entraînement de quelques jours chez l'être humain et 4) les intensités auxquelles les entraînements sont réalisés se situent généralement entre 50 et 90% du  $\dot{V}O_2\text{max}$ , se rapprochant également des zones d'intensités auxquelles les cyclistes en camp d'entraînement passeront la plupart de leur temps d'entraînement (voir les annexes C, D, E et F). Il est aussi à noter que ces études comportent des limites importantes, ce qui sera discuté au point 3.5.5. Les prochaines pages auront comme objectif de mieux comprendre les adaptations physiologiques probables pour le cycliste à la suite d'un entraînement d'endurance à court terme.

### ***3.5.1 : Entraînement d'endurance à court terme et paramètres maximaux***

Le  $\dot{V}O_2\text{max}$  a longtemps été associé à la réussite et à la performance en cyclisme (Saltin et Astrand, 1967; Jones et Carter, 2000). Il est démontré aujourd’hui que plusieurs autres facteurs physiologiques peuvent jouer un rôle, par exemple la PAM (Coyle et coll., 1991). Néanmoins, il s’agit ici de savoir si ces paramètres peuvent être positivement altérés par l’entraînement d’endurance à court terme, et d’en observer l’ampleur.

Plusieurs auteurs observent une augmentation significative du  $\dot{V}O_2\text{max}$  à la suite d’un entraînement d’endurance à court terme chez des participants actifs mais non entraînés (Green, Heylar, Ball-Burnett, Kowalchuk, Symon et Farrance 1992; Spina et coll., 1996; Rodas, Ventura, Cadefau, Cusso et Parra, 2000; Goodman et coll., 2005). Par exemple, un programme d’entraînement d’endurance de 10 à 12 jours, sans grande variation d’intensité (59% du  $\dot{V}O_2\text{max}$  pendant deux heures, chaque jour) est suffisant afin d’augmenter significativement le  $\dot{V}O_2\text{max}$  de 4% (relatif au poids), chez des participants moyennement entraînés (53,0 à 55,3 mlO<sub>2</sub>/kg/min) (Green et coll., 1991b). Dans le même ordre d’idées, Rodas et coll. (2000) ont expérimenté un programme étalé sur deux semaines, comportant des séances avec intervalles de haute intensité mais courts, soit de 15 et 30 secondes (durée totale des séances inconnue). En moyenne, après deux semaines, les participants, qui étaient en santé mais non-engagés dans un programme d’entraînement régulier, ont augmenté leur  $\dot{V}O_2\text{max}$  de plus de 11% ( $p<0,05$ ). Chez des cyclistes « entraînés », Neary et coll. (2002) observent une

augmentation du  $\dot{V}O_2\text{max}$  moyen après trois semaines d'entraînement d'endurance à court terme ( $4,39 \text{ L/min} \pm 0,66$  pré-entraînement à  $4,65 \text{ L/min} \pm 0,57$  post-entraînement). Lors de cette période, les cyclistes se sont entraînés une heure par jour à une intensité comprise entre 85 et 90 % du  $\dot{V}O_2\text{max}$ , cinq fois par semaine. À l'inverse, d'autres auteurs n'observent aucun changement du  $\dot{V}O_2\text{max}$  suivant un entraînement d'endurance à court terme (Green et coll., 1992; Putman et coll., 1998; Faude et coll., 2009; McKay et coll., 2009; Slivka et coll., 2010). Ainsi, un changement significatif du  $\dot{V}O_2\text{max}$  à la suite d'une période d'entraînement d'endurance à court terme semble être déterminée par la durée et par l'intensité du programme d'entraînement entrepris par les athlètes et surtout par la condition physique initiale. Neary et coll. (2002) suggèrent que les augmentations observées du  $\dot{V}O_2\text{max}$  sont dues d'abord à des adaptations centrales, par exemple une meilleure diffusion de l'oxygène au niveau pulmonaire vers la circulation sanguine. Ceci a comme effet de fournir davantage d'oxygène au niveau des cellules musculaires.

Concernant la PAM, il s'agit d'une des mesures les plus fiables que l'on peut faire chez un cycliste en laboratoire (Grappe, 2009). Elle nous permet d'apprécier la puissance aérobie et le potentiel physiologique d'un cycliste. Coyle et coll. (1991) ont observé que la PAM (et non le rapport W/kg) est corrélée ( $r = -0.88$ ,  $p < 0,01$ ) avec la performance lors d'un contre-la-montre de 40 km en laboratoire. En effet, les chercheurs supposent que plus la PAM d'un cycliste est élevée, plus la puissance moyenne (en W) maintenue par le cycliste lors d'une telle épreuve sera élevée. Neary et coll. (2002) ont montré que cinq séances hebdomadaires de 60 minutes pendant trois semaines à 85-90%

du  $\dot{V}O_2\text{max}$  ont fait augmenter la PAM de huit cyclistes bien entraînés de  $367 \pm 63$  W à  $383 \pm 60$  W. Des augmentations significatives de la PAM sont également observées par d'autres chercheurs (McKay et coll., 2009) à la suite d'une période d'entraînement aussi courte que huit jours.

Pour expliquer les changements à court terme concernant les capacités maximales, Holloszy et Coyle (1984) supposent qu'un meilleur apport en oxygène aux cellules musculaires, pour une même intensité sous-maximale, serait responsable d'un meilleur équilibre métabolique à la suite d'un entraînement d'endurance à court terme. De plus, ce meilleur équilibre métabolique sous-maximal pourrait repousser le temps avant l'atteinte de la capacité maximale. En effet, Phillips et coll. (1995), Putman et coll. (1998) et Green et coll. (2008) affirment que les capacités à transporter le lactate du muscle vers le sang (via une augmentation considérable du nombre des transporteurs MCT-4) et une meilleure oxydation du lactate à intensités sous-maximales expliqueraient, en partie, une puissance maximale plus élevée lors d'un test post-entraînement. Chez les rats, Donovan et Brooks (1983) ont observé que ce n'est pas la production de lactate elle-même qui est réduite suite à un entraînement mais plutôt la cinétique d'élimination qui est améliorée. Toujours selon eux, une meilleure homéostasie du glucose serait le résultat d'une plus forte conversion du lactate en glucose. Le tout, combiné à un travail accru de certaines enzymes oxydatives musculaires, résulterait en un meilleur potentiel aérobie conduisant à de meilleures capacités sous-maximales et, ultimement, maximales. Ainsi, le meilleur équilibre métabolique sous-maximal rencontré après un entraînement d'endurance à court terme

pourrait, en partie, expliquer l'augmentation de certains paramètres maximaux. Le prochain point fera d'ailleurs la lumière sur certains changements relatifs au métabolisme musculaire.

### ***3.5.2 : Entraînement d'endurance à court terme, métabolisme musculaire et cinétique de production de lactate***

Le seuil lactique (SL) et le seuil ventilatoire (SV) représentent de puissants prédicteurs de la performance en endurance (Coyle et coll., 1991; Jones et Carter, 2000). Le dérivé de l'acide lactique, le lactate, peut s'avérer être un élément essentiel pour déterminer les zones d'entraînement du cycliste de même que l'état de sa condition physique. Le lactate apparaît en plus ou moins grande quantité selon le processus de production d'énergie, soit en anaérobiose (sans O<sub>2</sub>) ou en aérobiose (avec O<sub>2</sub>) (Grappe, 2009). Lorsque l'intensité de travail s'accroît pour approcher la puissance de travail maximale, le lactate est produit en plus grande quantité, résultat d'une acidification croissante de l'organisme.

Chez des cyclistes de niveau élite, le phénotype des muscles squelettiques et cardiaques n'est pas le même que chez des cyclistes de niveau amateur. En effet, Coyle et coll. (1991) ont démontré que les cyclistes de classe nationale-élite possédaient davantage de fibres musculaires à production d'énergie lente (de type I, p<0,05), une densité capillaire du muscle 23 % plus élevée et une activité enzymatique oxydative accrue, si l'on compare à des cyclistes de bon niveau. Cela serait dû, entre autres, à une adaptation musculaire en réponse aux nombreuses années d'entraînement en endurance.

Pour faciliter la lecture des prochaines pages, un bref résumé sur la biochimie de l'exercice semble pertinent. Tel que décrit par Wilmore et Costill (2006), la production d'énergie au niveau de la cellule musculaire passe par un processus relativement complexe. Bien entendu, ce processus de production d'énergie a le potentiel de devenir plus efficace avec l'entraînement. Les glucides, éléments essentiels à la production d'énergie, circulent dans le sang sous forme de glucose et sont répartis dans toutes les cellules, dont celles des muscles. Une fois capté par le muscle, le glucose est stocké sous forme de glycogène jusqu'à ce que celui-ci soit utilisé par la cellule musculaire afin de créer l'énergie sous forme d'adénosine triphosphate (ATP). Pour être transformé en énergie, le glycogène doit passer par une série de dégradations chimiques au niveau cellulaire avant d'être transformé et utilisé sous forme d'énergie. Pour ce faire, des enzymes sont responsables de dégrader les substrats énergétiques. Trois systèmes énergétiques sont responsables de la production d'ATP soit : 1) le système ATP-PCr (sans présence d' $O_2$  ou anaérobiose), 2) le système glycolytique (sans présence d' $O_2$  ou anaérobiose) et 3) le système oxydatif (via la phosphorylation oxydative, création d'énergie avec la présence d' $O_2$  ou aérobiose). Le troisième système de création d'énergie nous intéresse particulièrement, puisqu'il est le principal système de production d'énergie lors d'un exercice d'endurance tel que le cyclisme. La production d'ATP se fait à l'intérieur de la mitochondrie lorsque l'énergie est créée à partir du système oxydatif. C'est lors de la glycolyse (dégradation du glucose) ainsi que dans le cycle de Krebs que les enzymes responsables de certaines réactions chimiques entreront en jeu. La présence de ces enzymes est cruciale pour le sportif et le simple fait d'augmenter le

nombre ou la capacité des enzymes (via un entraînement prolongé) peut s'avérer très important pour accroître les performances d'un athlète.

Bien que certains auteurs sont d'avis qu'au moins quatre semaines d'entraînement sont nécessaires afin d'augmenter significativement le métabolisme mitochondrial (Hopker et coll., 2009), d'autres ont démontré qu'une période nettement plus courte était suffisante afin d'améliorer substantiellement la capacité des enzymes oxydatives. En effet, selon Spina et coll. (1996), seulement 7 à 10 jours d'entraînement en endurance à 60-70 % du  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ , chez des sujets sains mais non athlètes, sont suffisants pour augmenter l'activité des enzymes oxydatives suivantes : la citrate synthase (CS), la  $\beta$ -hydroxyacyl-Coenzyme-A déshydrogénase, la carnitine acétyltransférase et l'hexokinase. Burgomaster, Heigenhauser et Gibala (2006) et Green et coll. (2008) observent la même tendance suite à un entraînement d'endurance à court terme, notamment une augmentation de 11% de l'activité de la CS ( $p=0,04$ ), la première enzyme mitochondriale du cycle de Krebs, à la suite d'un programme d'entraînement par intervalles chez des sujets sains. Après la période d'entraînement, cela aurait comme effet de réduire la glycogénolyse musculaire de même que l'accumulation de lactate pour une même intensité sous-maximale (Green et coll., 1992; Putman et coll., 1998; Burgomaster et coll., 2006).

Donovan et Brooks (1983) ont également démontré que pour deux groupes de rats (un groupe entraîné [expérimental] et un groupe non entraîné [témoin]), le groupe expérimental utilisait davantage le lactate afin de le retransformer en glucose et ultimement en énergie par le processus de néoglucogenèse (Donovan et Brooks, 1983;

Green et coll., 1992). De plus, ils utilisaient davantage les lipides comme substrat énergétique, résultant en une acidose moindre de l'organisme pour une même puissance de travail. Phillips et coll. (1995) ont aussi évalué l'effet d'un entraînement d'une durée de 10 jours, à raison de deux heures par jour à 59% du  $\dot{V}O_2\text{max}$ , chez des sujets sains mais non entraînés ( $\dot{V}O_2\text{max}$  de  $45,5 \pm 2,4 \text{ mlO}_2/\text{kg/min}$ ) sur la cinétique d'apparition et de disparition du lactate, tant dans le muscle que dans le sang. Ils ont démontré qu'avant et après cet entraînement, le lactate musculaire apparaît en même concentration pour un même effort. Selon eux, c'est la vitesse à laquelle l'organisme réussit à diffuser et éliminer le lactate qui serait en cause, résultat probable d'une plus grande quantité de transporteurs MCT-4 dans les cellules musculaires (Phillips et coll., 1995; Putman et coll., 1998), comme discuté au chapitre 3.5.1. Donovan et Brooks (1983) vont également dans ce sens. Ainsi, un entraînement d'endurance ne procurerait pas la capacité à produire moins de lactate, mais plutôt une meilleure cinétique d'élimination.

Il est donc logique de croire qu'un camp d'entraînement de quelques jours pourrait être suffisant pour modifier positivement le métabolisme musculaire en modulant les concentrations de lactate pour une même puissance mécanique, du moins sous-maximale. Cependant, à notre connaissance, aucune étude réalisée sur le terrain ne le confirme.

### ***3.5.3 : Entraînement d'endurance à court terme adaptations cardiovasculaires***

L'une des adaptations les plus rapides après l'initiation d'un entraînement d'endurance est la réduction de la fréquence cardiaque pour une charge de travail donnée. En 2005, Goodman et ses collaborateurs ont rapporté des fréquences cardiaques maximales ( $FC_{max}$ ) moins élevées chez des sujets physiquement actifs mais non entraînés. En effet, lors d'un test à paliers progressifs jusqu'à l'atteinte du régime maximal, précédent et suivant une période d'entraînement de six jours à raison de deux heures par jour, les chercheurs ont observé une réduction de 5,6 % de la  $FC_{max}$  (passant de  $197 \pm 2$  battements par minute (BPM) pré-entraînement à  $187 \pm 1$  BPM post-entraînement). Faude et coll. (2009) observent les mêmes tendances, à la suite d'un entraînement de 13 jours et ce, chez des athlètes possédant en moyenne un  $\dot{V}O_2\text{pic}$  de  $69,7 \pm 9$   $mLO_2/kg/min$ . Cependant, plusieurs auteurs n'observent aucune différence pré et post-entraînement (Green et coll., 1991a; Green et coll., 1992; Green et coll., 1995; Green et coll., 2008) tandis que d'autres associent une  $FC_{max}$  diminuée à un état de fatigue (Urhausen, Gabriel, Weiler et Kindermann, 1998). Ce point sera discuté ultérieurement.

À l'exercice sous-maximal, la même tendance s'observe : après un entraînement d'endurance à court terme, les FC ont diminué en moyenne de 10,4, 10,2 et 6,7% à des intensités de 53, 68 et 83% du  $\dot{V}O_2\text{max}$  (Goodman et coll., 2005). Green et coll. (2008) observent également une diminution de 6,6% des FC sous-maximales (pour la même intensité pré et post entraînement) après cinq jours d'entraînement, à raison de deux

heures par jour à 62 % du  $\dot{V}O_2$ pic. Green et coll. (1990) ont démontré que les FC sous-maximales diminuaient à la suite d'un tel programme d'entraînement en raison du débit cardiaque (DC), du volume sanguin (VTS) et du volume d'éjection systolique (VES) qui augmentent, créant ainsi une bradycardie. L'observation des FC sous-maximales est pertinente, puisque ces dernières reflètent les adaptations à l'entraînement chronique.

Une autre adaptation rapide que subit le corps humain à l'entraînement d'endurance est la hausse du volume plasmatique (Green et coll., 1990) ou hypervolémie. L'hypervolémie représente la hausse du volume plasmatique (et non du VTS). Un entraînement d'une durée aussi courte que trois jours, à raison de deux heures par jour à 65 % du  $\dot{V}O_2$ max chez des sujets non entraînés, provoque une hypervolémie de 20 % et une hausse de 12 % du VTS (Green et coll., 1990). Green et coll. (1987) ont observé que le VTS passait de  $5,247 \pm 0,558$  (pré-entraînement) à  $5,876 \pm 0,57$  litres (L) après un entraînement sous-maximal (deux heures par jour à 71 % du  $\dot{V}O_2$ max) de quatre jours ( $p<0,01$ ) chez des sujets sains mais non entraînés. Le volume plasmatique moyen passait de  $3,146 \pm 0,35$  L (avant entraînement) à  $3,770 \pm 0,35$  L après l'entraînement ( $p<0,01$ ). Pourtant, le volume des globules rouges (hémoglobine totale) n'a augmenté que de 0,003 % entre le début ( $2,101 \pm 0,23$  L) et la fin ( $2,107 \pm 0,23$  L) de la période d'entraînement. De plus, les concentrations en hématocrite et en hémoglobine ont diminué respectivement de 10,4 et 11,2 % entre le début et la fin de la période d'entraînement ( $p<0,01$ ). La capacité de transport d' $O_2$  (au niveau artériel) a diminué de 11 %, sans toutefois avoir un effet significatif sur le  $\dot{V}O_2$ max. Green et coll. (2008) ont récemment observé que l'hématocrite diminuait de  $45,9 \pm 0,53$  à  $44,8 \pm$

0,54 % après cinq jours d'entraînement, à raison de deux heures par jour, résultat d'une hémodilution. L'hémodilution s'explique donc par une hausse du volume plasmatique (hypervolémie) alors que l'hémoglobine demeure stable. Green et coll. (1990) avancent l'hypothèse selon laquelle l'hémodilution réduirait le rendement sportif du cycliste à court terme puisque l'oxygène ( $O_2$ ) présent sur l'hémoglobine serait plus difficile à extraire par le muscle actif. Ainsi, bien que le volume sanguin semble subir une hausse rapide après un entraînement d'endurance à court terme, ce changement n'aurait pas d'impact sur les capacités circulatoires de l'athlète, du moins en ce qui a trait au transport de l' $O_2$ . Les études de Green et coll. (1987, 1991a) et de Goodman et coll. (2005) vont également dans ce sens.

Si le volume sanguin change, il est possible de penser que l'ensemble du système cardiovasculaire suive certaines adaptations. Le ventricule gauche du cœur a été étudié par Goodman et coll. (2005). Un entraînement en endurance de six jours (deux heures par jour) à 65 % du  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  chez des sujets physiquement actifs mais non entraînés, induit une augmentation de la fraction d'éjection systolique à l'exercice de 10,4, 10,2 et 7 % (en moyenne) pour des intensités sous-maximales correspondant à 53, 68 et 83 % du  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ , lors d'un test subit pré et post entraînement ( $p<0,01$ ). Ces changements sont parallèles à une amélioration du remplissage ventriculaire en fin de diastole, augmentant de  $139 \text{ ml} \pm 6$  à  $154 \pm 6 \text{ ml}$  à 53 % du  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  et de  $136 \pm 5 \text{ ml}$  à  $156 \pm 5 \text{ ml}$  à 83% du  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  ( $p<0,01$ ). Les auteurs notent que l'entraînement d'endurance à court terme tend à accélérer le temps de remplissage de la phase diastolique (sans toutefois obtenir de signification statistique) grâce à une diminution des FC sous-maximales combinée à une

hausse du temps de variabilité cardiaque. Sous le même entraînement, ces chercheurs ont aussi observé un changement du DC. À 83 % du  $\dot{V}O_2\text{max}$ , le DC augmente significativement ( $p<0,01$ ) de  $20,8 \pm 2,2$  L/min pré-entraînement à  $22,9 \pm 3,1$  L/min post-entraînement.

Ainsi, il est possible de croire que le camp d'entraînement peut induire des changements cardiovasculaires significatifs pour le cycliste, reflétant une amélioration de la performance.

#### ***3.5.4 : Entraînement d'endurance à court terme et oxygénation du muscle squelettique mesurée par spectroscopie proche infrarouge (SPIR)***

Les mesures enregistrées par l'appareil de « spectroscopie proche infrarouge », ou SPIR, sont importantes et doivent être considérées, car elles permettent, entre autres, de mesurer indirectement et de façon non invasive l'hémoglobine totale (indice indirecte du débit sanguin dans le muscle ciblé) lors d'un exercice ou lors d'une tâche clinique. De plus, elles permettent aussi d'observer la quantité d'oxygène présente sur l'hémoglobine et la myoglobine de même que la désaturation tissulaire (Mancini, 1997; Neary et coll., 2002).

De plus en plus de chercheurs s'intéressant à l'entraînement d'endurance utilisent cette technologie. Neary et coll. (2002) ont constaté qu'un entraînement de trois semaines à raison d'une heure par jour pendant cinq jours chez des cyclistes bien entraînés, à 85-90 % du  $\dot{V}O_2\text{max}$ , permettait de constater certaines adaptations

périphériques (dans les tissus musculaires), suite à un tel entraînement. Les chercheurs n'ont observé aucun changement entre les tests incrémentaux pré et post entraînement dans la désaturation musculaire en O<sub>2</sub>. Cependant, ils ont noté que pendant un contre-la-montre de 20 km en laboratoire, la désoxygénéation musculaire en fin d'épreuve est plus élevée à la suite de cet entraînement, mettant en évidence la capacité accrue du muscle à utiliser l'O<sub>2</sub> en circulation.

Récemment, McKay et coll. (2009) ont observé qu'après 1) huit séances d'entraînement en intervalles de haute intensité ou 2) huit à neuf séances d'endurance (90-120 minutes) chez des sujets sains mais non-engagés dans un programme d'entraînement régulier, la SPIR permet de vérifier que l'hémoglobine totale, la désoxy-hémoglobine ou encore l'oxy-hémoglobine ne diffèrent pas après l'un ou l'autre de ces entraînements. Les chercheurs supposent plutôt que la perfusion micro-vasculaire est fortement améliorée. En effet, la différence entre la mesure de repos de la désoxy-hémoglobine et une mesure effectuée à une intensité donnée pendant un test représente la capacité du muscle actif à utiliser l'oxygène. Lorsque cette différence est jumelée à la cinétique de diffusion de l'O<sub>2</sub> au niveau pulmonaire, McKay et coll. (2009) supposent que ces deux paramètres reflètent la perfusion micro-vasculaire au niveau du muscle en action (c'est-à-dire où l'appareil SPIR est installé). Ainsi, suivant la période d'entraînement, pour une même intensité, plus d'oxygène se rendrait au muscle actif pour y être utilisé. La cellule musculaire serait donc en mesure de créer davantage d'énergie à la suite d'un entraînement en endurance ou par intervalles de haute intensité.

Ainsi, la SPIR est utile dans l'observation des adaptations périphériques du cycliste. Il faut noter que ces dernières se font parallèlement aux adaptations centrales (comme la hausse du  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ ) (Neary et coll., 2002). Il convient donc d'utiliser plusieurs variables physiologiques pour l'évaluation d'un cycliste afin d'apprécier plus méthodiquement les adaptations encourues avant et après un entraînement d'endurance à court terme. Dans le cadre de notre étude, la SPIR nous permettra d'apprécier les changements périphériques et pourra nous fournir des pistes d'explication pour comprendre certains changements. Bien que cette technologie soit récente et que beaucoup de travail reste à faire avec celle-ci (Grassi, Quaresima, Marconi, Ferrari et Cerretelli, 1999), la SPIR est un outil qui pourra expliquer et fournir des pistes de compréhension sur l'entraînement d'endurance à court terme réalisé sur le terrain chez les athlètes. Au meilleur de nos connaissances, aucune étude scientifique n'a porté sur les adaptations possibles mesurées avec cette technologie, chez des cyclistes entraînés, à la suite d'un entraînement d'endurance à court terme sur le terrain.

### ***3.5.5 : Limites des études sur l'entraînement d'endurance à court terme***

Certaines limites entourant cette forme d'entraînement sont à considérer lorsque l'on désire utiliser les résultats des études portant sur l'entraînement en endurance à court terme. D'abord, l'entraînement réalisé par les sujets des différentes études citées dans ce travail n'excède pas deux heures par jour, alors que les cyclistes qui participent à des camps d'entraînement peuvent s'entraîner jusqu'à six heures par jour (voir

annexes C à F et le tableau 3.2), voire davantage. Ensuite, les participants aux différentes études sur ce sujet sont rarement des athlètes entraînés, tel que décrit par Jeukendrup et coll. (2000) ou Impellizzeri et coll. (2008). Selon ces auteurs, le  $\dot{V}O_2\text{max}$  de « cyclistes entraînés » est compris entre 64 et 70  $\text{mLO}_2/\text{kg/min}$  alors que dans la plupart des études citées dans ce travail, les cyclistes (ou athlètes d'autres disciplines) possèdent un  $\dot{V}O_2\text{max}$  compris entre 43 et 61  $\text{mLO}_2/\text{kg/min}$ , ce qui pourrait entraîner des différences notables dans les amplitudes des changements associés à un entraînement d'endurance à court terme. Ainsi, chez des cyclistes élites ayant déjà des valeurs physiologiques élevées, il est nettement plus difficile de faire varier ces valeurs si on les compare à des sujets actifs mais non entraînés, pour qui les variations physiologiques sont plus probantes. Dans le cas de ce mémoire, nous nous concentrerons sur des cyclistes « bien entraînés », ce qui constitue une différence majeure avec les études citées dans ce document. Finalement, les programmes d'entraînement réalisés par les sujets des études citées sont dans presque tous les cas effectués en laboratoire, de sorte qu'il est ardu de comparer les réponses physiologiques en laboratoire et celles sur le terrain.

### **3.6 : L'état psychologique à considérer dans les camps d'entraînement**

Bien que les camps d'entraînement soient réalisés essentiellement dans le but d'améliorer les capacités physiologiques d'un cycliste, il est probable que l'athlète soit affecté pendant ou après le camp par une fatigue psychologique (surcharge d'entraînement menant à un état de démotivation, un niveau d'énergie psychologique à

la baisse, etc.). En effet, l'augmentation drastique de l'entraînement (en temps et en intensité) occasionnera peut-être un stress psychologique important, voire un état de surentraînement (Slivka et coll., 2010). Ces paramètres de fatigue sont mesurables par des données psychométriques (questionnaires et tests) mais aussi via certaines réponses hormonales (paramètres biologiques) ou physiologiques (fréquence cardiaque sous-maximale et maximale).

Concernant les réponses hormonales, Faude et coll. (2009) indiquent qu'il y a une augmentation de l'hormone de croissance dans la circulation sanguine, au repos, après une période d'entraînement de grand volume (13 jours en endurance et quelques séances en intensité). Selon ces chercheurs, c'est l'effet de la fatigue qui pourrait être en cause car l'hormone de croissance est sécrétée en réponse à des dommages tissulaires. Lorsque la charge d'entraînement est particulièrement élevée, il peut y avoir de grands stress physiologiques, expliquant la présence accrue de cette hormone. Cependant, il faut être prudent dans cette dernière interprétation, puisque Urhausen, Gabriel et Kindermann (1995) indiquent que même si un sujet est en surentraînement, il est possible que cela n'influence pas les niveaux sanguins d'hormone de croissance. Au contraire, Chwalbinska-Moneta et coll. (2005) ont observé une baisse de la présence d'hormone dans le sang chez des sujets sédentaires mais sains, à la suite d'un programme d'entraînement en endurance à court terme de trois semaines (à 70 % du  $\dot{V}O_2\text{max}$ , 45 minutes par séance d'entraînement, trois à quatre séances par semaine).

La partie qui nous intéresse davantage dans le cadre de ce mémoire concerne les analyses psychométriques mesurées à l'aide de la version francophone du

questionnaire Profile Of Mood States (POMS) (Cayrou, Dickès, Dolbeault, 2003). Ce questionnaire comporte 65 éléments divisés en 7 sous-catégories : 1) Anxiété-Tension, 2) Colère-Hostilité, 3) Confusion-Perpléxité, 4) Dépression-Découragement, 5) Fatigue-Inertie, 6) Vigueur-Activité et 7) Relations interpersonnelles. Il sert essentiellement à vérifier et quantifier la fluctuation de l'humeur dans le temps, en utilisant l'analyse des sous-catégories nommées précédemment (voir Cayrou et collaborateurs [2003] pour plus de détails). Faude et coll. (2009) indiquent que les cyclistes qui reviennent d'un entraînement où la charge d'entraînement a été hautement augmentée lorsque comparée à la charge habituelle, continuent souvent de suivre un régime d'entraînement de plusieurs heures par jour, sans s'accorder de repos particulier, et négligent ainsi leur récupération. Les chercheurs ont toutefois démontré qu'après 13 jours d'entraînement en endurance fondamentale, une période de repos actif de quatre jours à raison d'une heure d'entraînement à intensité légère (60% du  $\dot{V}O_2\text{pic}$ ) est plus efficace que trois heures par jour à la même intensité afin de bien récupérer après une telle période d'entraînement. Ils indiquent que de continuer l'entraînement à raison de trois heures par jour détériore encore plus certains paramètres psychométriques (mesurés via le questionnaire POMS, soit l'humeur, la fatigue générale de même que le pointage total du questionnaire), hormonaux (hausse du cortisol et de la prolactine) et ergométriques (performance). Au contraire, si le temps d'entraînement des quatre jours de repos actif est d'une heure seulement, les marqueurs de fatigue retournent aux valeurs initiales. Slivka et coll. (2010) n'observent aucun changement dans les sous-catégories du questionnaire POMS après trois semaines d'entraînement sur le terrain chez des cyclistes de bon niveau, sauf

dans la catégorie Vigueur-Activité, où le pointage a diminué, résultat d'un manque de vigueur et de désir face à l'entraînement. D'ailleurs, Slivka et coll. (2010) suggèrent que des études sur le terrain devraient être réalisées chez des athlètes de haut niveau car selon eux, le fait de participer à une activité semblable à un camp d'entraînement peut amener des sources de stress autres que l'entraînement. Par exemple, les camps d'entraînement peuvent induire des stress reliés à certaines tâches comme faire la vaisselle, préparer la nourriture, laver son linge, réparer son vélo, etc. Cependant, le fait de quitter le pays et de se retrouver dans un endroit nouveau et propice à l'entraînement peut représenter un ressourcement, à l'image d'une période de vacances.

Finalement, certains marqueurs physiologiques, comme les FC, seraient interprétés comme des indices de fatigue. Par exemple, le fait que les cyclistes de l'étude de Faude et coll. (2009) aient diminué leurs  $FC_{max}$  de même que leurs concentrations maximales de lactate n'indiquerait pas une amélioration, selon les chercheurs. Au contraire, ils interprètent plutôt ces modifications physiologiques comme des marqueurs de fatigue puisque les cyclistes ne sont pas en mesure de revenir aux valeurs obtenues avant l'entraînement. Ils mentionnent également que si le repos actif de quatre jours se fait à raison de trois heures par jour, les  $FC_{max}$  continuent de diminuer lors de la phase post-camp (période de récupération), ce qui n'est pas le cas lorsque la durée du repos actif est d'une heure par jour. Urhausen et coll. (1998) avancent également ce point. Ainsi, une récupération adéquate semble incontournable afin que le corps ait le temps d'absorber la charge d'entraînement. Néanmoins, il semble que certaines informations soient manquantes en ce qui concerne la participation de cyclistes entraînés à un camp

d'entraînement, comme le suggèrent Slivka et coll. (2010). Étant donné que les cyclistes de notre étude participeront à un camp de façon autonome, il sera intéressant de vérifier l'évolution de l'état psychologique des cyclistes (via le questionnaire POMS) et d'observer le degré de fatigue physiologique (via certains paramètres physiologiques comme la FC<sub>max</sub> ou la lactatémie maximale).

## 4. QUESTIONS DE RECHERCHE

**Question de recherche #1 :** Quel est l'intérêt de pratiquer un camp d'entraînement, d'un point de vue physiologique, chez des « cyclistes entraînés »?

**Question de recherche #2 :** Advenant des changements physiologiques importants, de quelle ampleur sont-ils? Ces changements sont-ils principalement observables à l'effort sous-maximal, maximal ou les deux?

**Question de recherche #3 :** Est-ce que le camp d'entraînement représente une pratique psychologiquement trop ardue pour les cyclistes y prenant part, en raison de l'augmentation imposante de la charge d'entraînement?

## 5. HYPOTHÈSES

1. Nous émettons une première hypothèse selon laquelle, sous l'effet d'un camp d'entraînement où le volume d'entraînement est élevé, les paramètres physiologiques sous-maximaux, maximaux de même que les paramètres d'économie et d'efficacité d'effort, augmenteront positivement chez des cyclistes « bien entraînés » (tel que décrit par Jeukendrup et coll., 2000 et Impellizzeri et coll., 2008). Ceci de telle sorte que le camp d'entraînement s'avère être une pratique positive au plan physiologique pour des cyclistes « bien entraînés ».
2. La seconde hypothèse émise est que la charge d'entraînement abruptement élevée du camp d'entraînement favorisera une baisse d'énergie motivationnelle reliée à la pratique du sport (mesurée via le questionnaire POMS).

## **6. PHYSIOLOGICAL AND PSYCHOLOGICAL ADAPTATIONS OF TRAINED CYCLISTS TO A CYCLING TRAINING CAMP**

**Physiological and psychological adaptations of trained cyclists to cycling training camps**

J.F. Dionne, C. Lajoie, E. Freiberger, and F. Trudeau\*

Département des sciences de l'activité physique, Université du Québec à Trois-Rivières,  
Trois-Rivières, QC, Canada G9A 5H7

\*Corresponding author

L'article sera soumis au *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*.

### 6.1: Abstract

Cycling training camps (CTC) are a common training practice for trained and elite cyclists at season onset. They are a form of training akin to well-known “short-term endurance training” outdoors. However, we do not know the physiological and psychological potential of this training regimen for trained athletes. The purpose of our study was to: 1) assess physiological adaptations and 2) measure mood outcomes [via the Profile of Mood State (POMS) questionnaire] of this form of training in trained athletes. Fourteen trained male (n=8) and female (n=6) athletes were recruited (average  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ :  $65.5 \pm 6.7$  and  $53.2 \pm 4.5$  ml O<sub>2</sub>/kg/min, respectively). Participants performed 2 incremental tests to exhaustion, one before (test<sub>PRECAMP</sub>) and one after (test<sub>POSTCAMP</sub>) CTC. Investigators did not control the training regimen in CTC but volume and intensity load were recorded. Submaximal and maximal metabolic data were analysed, as were specific cycling parameters, such as gross mechanical efficiency (GE) and cycling economy (CE). Furthermore, near infrared spectroscopy (NIRS) assessed skeletal muscle adaptations.

GE at lactate threshold (LT) intensity and at the same precamp LT power output (PCLTP) increased respectively by 4.9 and 2.8 % ( $p < 0.05$ ) after CTC. At LT and PCLTP, CE increased by 5.2 and 2.9 %, respectively ( $p < 0.05$ ). These data were correlated with individual fluctuations in total haemoglobin and deoxyhaemoglobin ( $p < 0.01$ ) in the *vastus lateralis*. Furthermore, POMS results showed that the subcategories “Tension-Anxiety” (Ten), “Confusion” (Con), “Fatigue” (Fat) and “Total Global Score” (ScG) were significantly decreased ( $p < 0.05$ ) after CTC. In conclusion,

we established that rapid increases in GE and CE are mainly related to peripheral adaptations in skeletal muscle cells, as indicated by NIRS. Also, we observed that after CTC, POMS subcategories scores (e.g. Ten, Con, Fat and ScG) were decreased, which is the inverse of what we hypothesized. Hence, training camps seem to be a good way for trained cyclists to prepare an outdoor season.

**Keywords:** Training camp, cycling, physiological adaptations, gross efficiency

## 6.2: Introduction

Maximal and submaximal physiological parameters fluctuate among trained and elite cyclists during a whole year (Sassi et al., 2008). Key components of a training programme are volume, intensity and frequency (Hawley, 2002). Cyclists increase their physical capacities (e.g. submaximal, maximal aerobic and anaerobic capacity) when these components are optimized over a year (Hawley and Stepto, 2001). To do so, cyclists are frequently involved in preseason cycling training camps (CTC), a popular training procedure in several endurance sports (Hawley and Stepto, 2001). It is even more popular among cyclists in northern countries because of cold climates (e.g. Canada and northern Europe). CTC can be defined as more or less prolonged periods when cyclists go to warmer regions to train on the road (e.g. real conditions instead of indoor on a trainer), in the season's preparation phase (Hawley and Stepto, 2001; Bompa and Haff, 2009). The main goal of CTC is to enhance performance by increasing volume and intensity.

Because cyclists are known to cumulate high amounts of training hours (Jeukendrup et al., 2000; Hopker et al., 2010), CTC seems to be an excellent way for them to quickly increase their training volume and initiate outdoor training. In Canada, cyclists spend most wintertime training indoors on a home-trainer or in a different endurance sport. Still, we know that differences exist between indoor and field conditions because of multiple biomechanical, psychological and natural factors (Bertucci et al., 2007; Grappe, 2009).

CTC can be compared to short-term endurance training. This type of training is defined as a short period (days) when subjects train at submaximal intensities for several hours per day. It has been widely demonstrated that this type of training can significantly enhance submaximal and maximal physiological parameters over a short time period (4-12 days) in active but untrained subjects (Green et al., 1987, 1989, 1991*a*, 1991*b*, 1992, 2008; Philipps et al., 1995; Spina et al., 1996; Putman et al., 1998; Rodas et al., 2000; Burgomaster et al., 2006; McKay et al., 2009) and trained athletes (Neary et al., 2002). Generally, trained athletes are studied for longer time periods (e.g. >4 weeks) (Sjödin et al., 1982; Sassi et al., 2008; Hopker et al., 2010; Slivka et al., 2010), which is a period of time that no longer belongs to short-term training. Thus, it remains unclear whether short-term endurance training can be efficient for trained athletes.

Some authors have observed that, after short-term endurance training, submaximal alterations occur, such as increased plasma and total blood volume (Green et al., 1987; Green et al., 1991*a*, Putman et al., 1998), better lactate removal at certain intensities (Phillips et al., 1995; Green et al., 2008), reduced heart rate (HR) (Green et al., 1991*a*; Green et al., 1992), higher enzymatic activity in human mitochondria (Green et al., 1991*b*, Spina et al., 1996; Green et al., 2008), enhanced O<sub>2</sub> kinetics in central or peripheral zones (Neary et al., 2002; McKay et al., 2009) and better energy supply to muscles (Green et al., 1992; McKay et al., 2009). Furthermore, maximal parameters like peak power output (PPO) and  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  might also be enhanced by short-term endurance training (Spina et al., 1996; Rodas et al., 2000; McKay et al., 2009). Hence, these

alterations are likely responsible for other specific training adaptations known as performance predictors (Jones and Carter, 2000), such as higher lactate (LT) and ventilatory thresholds, PPO (Coyle et al., 1991),  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  and cycling efficiency parameters (e.g. gross efficiency [GE] and cycling economy [CE]), even if they have been shown to improve only after 4 weeks of training or more (Hopker et al., 2009; Hopker et al., 2010). To our knowledge, only 2 investigators worked with cyclists on short-term endurance training on the field (Faude et al., 2009; Slivka et al., 2010), and their main objectives were to assess fatigue parameters (e.g. hormonal markers and psychometric data). It would be interesting to also measure psychometric as well as physiological parameters since CTC are known to be exhausting because of rapidly-increased training volume (O'Connor et al., 1989). We consider that data are lacking on short-term endurance training of trained athletes, as many of them participate in CTC as a key element in their annual training plan (Hawley and Stepto, 2001; Hawley, 2002).

The major aim of this study was to describe physiological adaptations after short-term endurance training on the field (e.g. training camps) by measuring submaximal and maximal capacities before ( $\text{test}_{\text{PRECAMP}}$ ) and after ( $\text{test}_{\text{POSTCAMP}}$ ) CTC in a group of trained athletes. In order to investigate whether CTC represents a source of motivation for athletes, we added a psychometric test (Profile of Mood State or POMS). Our first hypothesis is that CTC will significantly improve submaximal physiological parameters over a short training period on the field, leading to enhanced physiological capacities. Our second hypothesis is that CTC represent a significant source of mood disturbance that could impair physiological performance.

### **6.3: Methods**

#### *Subjects*

Fourteen trained athletes (8 males, 6 females) were recruited for this investigation (see Table 6.1 for participant characteristics). All athletes were competing at the provincial, national or international level. They were either cyclists ( $n=10$ ) or triathletes/duathletes ( $n=4$ ). All of them had already come to the laboratory and were familiar with laboratory procedures. They all volunteered to participate after being fully informed about the details and potential risks of the experiment. They gave their written consent and were aware that they could withdraw from the study at any time without prejudice. Our study was approved by the Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR) Ethics Committee. Subjects were recruited through advertisements on UQTR campus and the Fédération Québécoise des Sports Cyclistes website.

#### *Experimental design*

Study subjects had to participate in a CTC to be included in this investigation. Two to 5 days before (test<sub>PRECAMP</sub>) and after (test<sub>POSTCAMP</sub>) CTC, they came to the UQTR Exercise Physiology Laboratory to perform an incremental PPO test. These athletes brought their own bicycles to the laboratory for testing. Anthropometric (height and weight) and psychometric data were recorded before the PPO test. Prior to testing, the study subjects were asked to avoid eating solid foods within 3 hours, drinking coffee within 6 hours, drinking alcohol within 24 hours and refrain from strenuous exercise within 48 hours prior to the test procedures. They were also asked to drink and eat as if

they were preparing for competition. They were instructed to inform the study investigators if there were any conditions that could alter test performance. Then, each subject's bicycle was installed on a Computrainer Lab system (Racermate, Computrainer Lab, Seattle, WA, USA) just before the PPO test began.

#### *PPO tests*

After calibration, each subject was installed on his/her own bicycle and began pedalling for a ~5 minutes low-intensity warm-up and for calibration of the Computrainer. The test for men began at 130 watts (W) resistance and was stepped up by 30W every 5 minutes. For women, the test started at 120W and increased by 20W every 5 minutes. This time period was shown to be ideal for collecting data on gas exchange (Hopker et al., 2009) and blood lactate concentration (B[La]). Except for the first 2 levels of the PPO test, subjects were allowed 3-minute bouts of active recovery at resistance of 1 W per kilogram of weight (W/kg). The last minute of each PPO test stage served to analyse submaximal and maximal parameters. Participants were asked to maintain a self-selected pedaling rate at or above 80 revolutions per minutes (RPM), stay seated on the bicycle and keep the same RPM and gears for all test durations. They had to pedal until volitional exhaustion. In all tests, humidity was kept stable (25-30 %), and laboratory temperature was set at 20-22°C. A cooling fan was installed at the trunk level of participants during the test.

*Metabolic and mechanical data collection*

Ventilation ( $\dot{V}_E$ ) and pulmonary gas exchange ( $\dot{V}O_2$  and  $\dot{V}CO_2$ ) were measured by gas analyser (Moxus, AEI Technologies, Pittsburgh, PA, USA). Before each test, the device was calibrated according to the manufacturer's instructions. HR (beats per minute or BPM) was recorded during all laboratory testing procedures (Polar Electro Oy FT1, Kempele, Finland). GE was measured by the following formula (Jeukendrup et al., 2000):

$$[60 \times W] \div [20934 \times \dot{V}O_2].$$

CE was determined by dividing power output (W) by moment  $\dot{V}O_2$  (W/L/min) (Jeukendrup et al., 2000). Oxygen pulse ( $O_2$ -PULSE) was obtained by dividing cardiac BPM by  $\dot{V}O_2$  (Whipp et al., 1996). Mechanical power (W) and all derived data were recorded by the Computrainer, which had been validated (Westgarth-Taylor et al., 1997). B[La] was measured from a sample of fingertip capillary whole blood at the end of each bout of work and recovery (Pro-Lactate, Arkray Inc., Kyoto, Japan). LT or onset of blood lactate accumulation was defined as the point where lactate began to accumulate exponentially (4 mmol/L, Heck et al., 1985) and was obtained through interpolation.

Near infrared spectroscopy (NIRS, Portamon, Artinis Medical System BV, Utrecht, The Netherlands) data are reported as arbitrary units. Briefly, changes in oxyhaemoglobin ( $\Delta O_2Hb$ ), deoxyhaemoglobin ( $\Delta HHb$ ) and total haemoglobin ( $\Delta THb$ ) as well as the tissue saturation index ( $\Delta TSI\%$ ) are recorded as changes in concentration

(in arbitrary units) from resting values before initiation of the incremental test. This apparatus was installed at the same measured distance halfway between the knee and the ankle, on the *vastus lateralis* muscle of cyclists at test<sub>PRECAMP</sub> and test<sub>POSTCAMP</sub>. NIRS data were obtained during all laboratory testing procedures.

The Computrainer system, metabolic analyser, lactate analyser and NIRS apparatus were calibrated at every single test to ensure data accuracy.

#### *Determination of intensities for data collection*

Because we studied a sample of men and women and because both genders underwent the same test but with different load increments, we had to find intensities that fitted all participants without referring to genders. Hence, we calculated all physiological data at 3 different intensities: 1) the same submaximal mechanical intensity; 2) LT intensity in W; and 3) PPO. Because many parameters are frequently calculated at the same submaximal working rate, such as GE and CE (Jeukendrup et al., 2000; Hopker et al., 2009), along with other physiological data, we considered test<sub>PRECAMP</sub> mechanical power at LT (W) and at the same mechanical power test<sub>POSTCAMP</sub>. Then, for test<sub>POSTCAMP</sub>, we calculated GE, CE,  $\dot{V}O_2$ , B[La],  $\dot{V}_E$ , RER and NIRS parameters at the same precamp LT mechanical power (PCLTP). GE and CE were calculated at PCLTP and LT. For example, PCLTP-GE refers to test<sub>PRECAMP</sub> GE at LT power (W) calculated at the same mechanical power at test<sub>POSTCAMP</sub>.

*Time spent in training zones*

Because CTC are specific to a team or single athlete, we could not control how long and how stressful the CTC were for any athletes in this investigation. However, we provided a training diary to participants that included training zones based on maximal HR at test<sub>PRECAMP</sub> to quantify training loads and total training time (Échelle Subjective de l'Intensité d'Entraînement, ESIE scale, Grappe, 2009). Seven training zones were calculated and divided into 2 major zones: 1) below LT (zones 1, 2 and 3), and 2) at and above LT (zones 4, 5, 6 and 7). Subjects needed to wear their personal HR monitor at every training session during CTC and they were instructed on how to enter their training data during CTC.

*Psychometric data collection*

The POMS questionnaire assessed motivation and mood fluctuations. When participants arrived at the laboratory, they were asked to complete the French version of the POMS questionnaire (Cayrou et al., 2003). This 65-item questionnaire considered the emotional and psychological condition of athletes. Scores on the 7 subcategories (Tension-Anxiety, Anger, Depression, Vigour, Fatigue, Confusion and Relationship) as well as Total Global Score were calculated at test<sub>PRECAMP</sub> and test<sub>POSTCAMP</sub>.

*Statistical analyses*

Student's unpaired *t*-tests compared the men's and women's CTC data, e.g. total time (hours), time spent in intensity zones (minutes), distance (km) and number of days

in CTC. Student's paired *t*-tests compared the means of test<sub>PRECAMP</sub> and test<sub>POSTCAMP</sub> physiological variables and analysed the POMS questionnaire data (n=14). Pearson correlations ascertained the relationship between gain in GE and CE with gain in other physiological variables. Statistical significance was set at  $p=0.05$  (unless otherwise specified). All values were expressed as means and standard deviation (means $\pm$ SD). The data were analysed by the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) version 20.0 for Microsoft Windows.

## 6.4: Results

### *Time spent in intensity zones during CTC*

Table 6.2 reports the global training characteristics of participants in CTC. Significant differences were observed between men and women for total time and distance spent cycling and total number of days spent during their CTC ( $p<0.05$ ). Table 6.3 shows the total average time spent in the 2 intensity zones (at, above or below LT) during CTC for men, women and both genders. Cyclists of both genders spent more time at intensities below LT compared to intensities at or above LT ( $p<0.01$ ). Because of the large differences between participants in the time spent at these 2 intensities, no significant correlation between physiological parameter changes and the time spent in

**Table 6.1** Physiological and anthropometric characteristics of participants

	Men (n=8)	Women (n=6)
Age (years)	25.1±5.9	26.7±5.5
Height (cm)	176.0± 5.0	166.0±5.0
Weight (kg)	70.6±6.7	59.7±9.4
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	22.9±1.9	21.7 ± 2.2
VO <sub>2max</sub> (mlO <sub>2</sub> /kg/min)	65.5± 6.7	53.2±4.5
PPO (W)	321±22	220±28
Maximal HR (BPM)	191±13	190±12

Values are means±SD. cm: centimeters; kg: kilograms; BMI: body mass index; m<sup>2</sup>: square meters; W: watts; PPO: peak power output; HR: heart rate; BPM: beats per minute;

**Table 6.2** Global training characteristics of subjects in CTC

	Men (n=8)	Women (n=6)	Both genders (n=14)
Average total distance (km)	933±271*	557±240	772±315
Average number of days in CTC	11±3*	7±3	9±3
Average total time (h)	33.0±7.9*	24.0±8.7	29.1±2.9
Average training hours per day (h)	3.2±0.5	3.4±0.6	3.3±0.5
Average distance per day (km)	88±13	77±13	83±14

Values are means±SD. \*Significantly higher in comparison to women ( $p<0.05$ ). km: kilometers; h: hours; CTC: cycling training camp

**Table 6.3** Time (minutes) spent in the 2 intensity zones during CTC

	Men (n=8)		Women (n=6)		Both genders (n=14)	
	Minutes	Reported % [range]	Minutes	Reported % [range]	Minutes	Reported % [range]
Below LT	1826±411*	90.8 [74-98]	1317±561*	91.5 [71-97]	1608±529	91.1 [71-98]
At or above LT	184±219	9.2 [2-26]	123±98	8.5 [3-29]	158±175	8.9 [2-29]
Total	2010±463	100	1440±525	100	1765±554	100

Values are means±SD. \*Total time spent at intensities below LT is significantly greater than total time spent at or above LT for both genders ( $p<0.01$ ). LT: Lactate threshold

these intensity zones.

#### *Psychometric data*

The POMS results are presented in Table 6.4 for men, women and both genders.

For men, only “Relationship” subcategory increased significantly ( $p<0.05$ ). For women,

“Tension-Anxiety” and “Total Global Score” showed trends for statistical significance.

When both genders were analysed together, “Tension-Anxiety”, “Confusion”, “Fatigue” and “Total Global Score” were significantly different at test<sub>POSTCAMP</sub> compared to test<sub>PRECAMP</sub> ( $p<0.05$ ). Except for men’s “Relationship”, all significant changes declined

**Table 6.4** Differences in average scores obtained in different categories of the POMS questionnaire between test<sub>PRECAMP</sub> and test<sub>POSTCAMP</sub>

POMS subcategories	Men (n=8)		Women (n=6)		Both genders (n=14)	
TEN	8.4±3.3	7.5±2.9	9.8±1.7	7.0±4.0	9.0±2.7	7.3±3.3**
ANG	5.3±3.2	5.0±3.2	4.3±4.5	2.8±2.2	4.9±3.7	4.1±2.9
CONF	6.0±3.4	5.0±2.6	5.7±4.2	4.5±2.8	5.9±3.6	4.8±2.6*
DEP	2.1±3.1	2.4±3.3	1.2±2.4	0.5±1.2	1.7±2.8	1.6±2.7
FAT	4.0±2.5	2.9±2.2	4.3±3.1	2.7±1.6	4.1±2.6	2.8±1.9*
VIG	19.9±3.8	19.0±5.0	20.0±4.1	22.3±4.2	19.9±3.8	20.4±2.3
REL	18.1±3.0	19.8±2.9*	20.0±2.1	20.8±4.1	18.9±2.7	20.2±3.4
ScG	63.6±18.7	61.5±18.2	65.7±10.8	60.7±9.6	64.5±15.3	61.1±13.9*

Values are means±SD. \*Significantly different from test<sub>PRECAMP</sub> ( $p<0.05$ ). \*\*Significantly different from test<sub>PRECAMP</sub> ( $p<0.01$ ). TEN: tension-anxiety; ANG: anger; CONF: confusion; DEP: depression; FAT: fatigue; VIG: vigour; REL: relationship; ScG: total global score.

at test<sub>POSTCAMP</sub> compared to test<sub>PRECAMP</sub>.

#### *Changes in submaximal and maximal physiological variables*

Table 6.5 reports changes in physiological variables between test<sub>PRECAMP</sub> and test<sub>POSTCAMP</sub> for men, women and both genders. For men (n=8) and women (n=6), PPO,

PPO-W/kg ratio and PPO-B[La] were significantly increased after CTC ( $p<0.05$ ). PPO, LT power, PPO-W/kg, PCLTP- $\dot{V}O_2$ , LT-W/kg, PCLTP-B[La], PPO-B[La] and PCLTP- $\dot{V}_E$  were positively altered after CTC ( $p<0.05$ ) for both genders ( $n=14$ ).

#### *Changes in efficiency variables*

Table 6.6 enumerates changes in efficiency variables at test<sub>POSTCAMP</sub> compared to test<sub>PRECAMP</sub> for men, women and both genders. LT-GE, PCLTP-GE, LT-CE and PCLTP-CE were increased for both genders after CTC ( $p<0.05$ ). For men only, LT-CE was increased after CTC ( $p<0.05$ ). At PCLTP, GE and CE were calculated at an intensity averaging  $79.4\pm6.5\%$  of PPO at test<sub>PRECAMP</sub> and  $74.6\pm7.7\%$  at test<sub>POSTCAMP</sub>, values similar to those reported by Sassi et al. (2008).

#### *NIRS parameters*

Training induced no modulation of  $\Delta THb$ ,  $\Delta HHb$ ,  $\Delta TSI\%$  and  $\Delta O_2Hb$  in men, women and both genders at LT, PPO and PCLTP. When we calculated men's differences between test<sub>POSTCAMP</sub> and test<sub>PRECAMP</sub> for  $\Delta HHb$  and  $\Delta THb$  (e.g. [ $\Delta HHb$  at test<sub>POSTCAMP</sub>] - [ $\Delta HHb$  at test<sub>PRECAMP</sub>]), we found strong correlations between improvements of these blood variables and gains in GE and CE at LT and PCLTP intensities (Figures 6.1-A, -B and -C, Figures 6.2-A, -B and -C). Both genders'  $\Delta TSI\%$  were negatively correlated with improvements in LT-CE ( $r=-.58$ ,  $p<0.05$ ) and LT-GE ( $r=-0.57$ ,  $p<0.05$ ) (Figures 6.3-A and 6.3-B) but was not correlated at PCLTP. Men's  $\Delta HHb$  increase was strongly associated with increments in PCLTP- $\dot{V}O_2$  ( $r=0.88$ ,

$p<0.004$ ) (Figure 6.4), LT-GE and PCLTP-GE ( $r=0.91$ ,  $p<0.002$ ;  $r=0.87$ ,  $p<0.005$ , respectively) and LT-CE and PCLTP-CE ( $r=0.91$ ,  $p<0.002$ ;  $r=0.87$ ,  $p<0.005$ , respectively). Men's increases in  $\Delta\text{THb}$  were also strongly correlated with increments in PCLTP- $\dot{V}\text{O}_2$ , PCLTP-CE and PCLTP-GE ( $r=0.87$ ,  $p<0.005$ ;  $r=0.84$ ,  $p<0.009$ ;  $r=0.86$ ,  $p<0.008$ , respectively). Finally, we found negative correlations between alterations in  $\Delta\text{HHb}$  and PCLTP- $\dot{V}_E$  ( $r=-0.87$ ,  $p=0.005$ ) (Figure 6.5).

**Table 6.5** Evolution of physiological variables before and after CTC for men, women and both genders together.

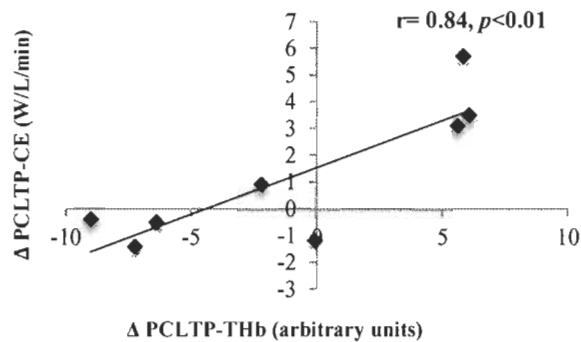
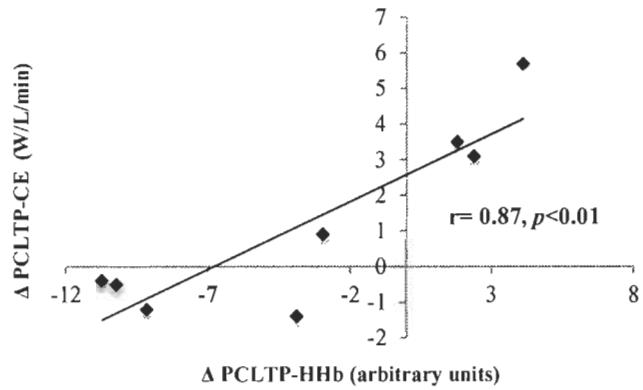
Variables	Men (n=8)		Women (n=6)		Both genders (n=14)	
	Test <sub>PRECAMP</sub>	Test <sub>POSTCAMP</sub>	Test <sub>PRECAMP</sub>	Test <sub>POSTCAMP</sub>	Test <sub>PRECAMP</sub>	Test <sub>POSTCAMP</sub>
Weight (kg)	71.0±7.1	70.7±6.6	59.8±9.5	60.0±9.4	66.2±9.7	66.1±9.4
PPO (W)	321±22	340±28*	220±28	237±23*	278±57	296±59**
LT (W)	252±28	269±23	179±34	188±29	221±48	234±48*
HR <sub>max</sub> (BPM)	191±13	195±9	190±12	190±12	191±12	193±10
̇VO <sub>2max</sub> (L/min)	4.60±0.22	4.71±0.29	3.15±0.43	3.27±0.46	3.98±0.81	4.10±0.82
̇VO <sub>2max</sub> (mlO <sub>2</sub> /min/kg)	65.5±6.7	66.8±5.1	53.2±4.5	55.0±4.7	60.2±8.5	61.8±7.7
LT-W/kg	3.57±0.46	3.80±0.31	3.00±0.41	3.16±0.43	3.33±0.52	3.53±0.48*
PPO-W/kg	4.55±0.42	4.81±0.31*	3.72±0.49	4.00±0.51*	4.20±0.61	4.46±0.58**
PPO-B[La] (mmol/L)	11.0±2.0	13.0±1.9*	9.4±2.3	11.2±2.4*	10.3±2.2	12.2±2.3**
PCLTP-B[La]	4.00± 0.00	3.34±0.92	4.00±0.00	3.27±1.26	4.00±0.00	3.31±1.03*
LT-O <sub>2PULSE</sub> (mlO <sub>2</sub> /beat)	22.12±2.86	22.50±2.05	16.71±2.74	17.26±2.79	19.37±4.28	19.71±4.11
PPO-O <sub>2PULSE</sub> (mlO <sub>2</sub> /beat)	24.13±2.02	24.24±1.75	15.69±2.78	15.99±3.01	20.95±4.43	21.25±4.18
LT-̇VO <sub>2</sub> (L/min)	3.79±0.43	3.90±0.28	2.75±0.45	2.74±0.47	3.35±0.68	3.40±0.70
PCLTP-̇VO <sub>2</sub> L/min)	3.79±0.43	3.73±0.49	2.75±0.45	2.66±0.50	3.35±0.68	3.23±0.71*
LT-̇V <sub>E</sub> (L/min)	100.8±14.5	101.8±12.2	80.2±14.6	79.3±17.0	92.0±17.5	92.2±18.0
PCLTP-̇V <sub>E</sub> (L/min)	100.8±14.5	94.4±14.8	80.2±14.6	75.5±18.5	92.0±17.5	86.3±18.5*
PCLTP-RER (̇CO <sub>2</sub> /̇VO <sub>2</sub> )	0.92±0.05	0.90±0.04	0.94±0.06	0.94±0.07	0.93±0.06	0.92±0.06

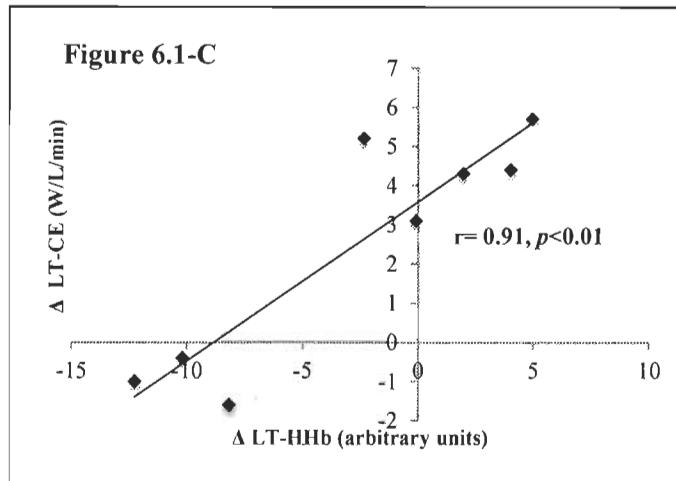
Values are means±SD. \*Significant at p<0.05; \*\*Significant at p<0.01. PPO: peak power output; PCLTP: precamp lactate threshold power; LT: lactate threshold; RER: Respiratory Exchange Ratio; W: watts; ̇V<sub>E</sub>: ventilation; HR: heart rate; BPM: beats per minute; B[La]: blood lactate; ̇VO<sub>2max</sub>: maximal oxygen uptake; kg: kilograms.

**Table 6.6** Evolution of efficiency variables between test<sub>PRECAMP</sub> and test<sub>POSTCAMP</sub> at lactate threshold (LT) and at pre-camp lactate threshold power (PCLTP)

Variables	Men (n=8)		Women (n=6)		Both genders (n=14)	
	Test <sub>PRECAMP</sub>	Test <sub>POSTCAMP</sub>	Test <sub>PRECAMP</sub>	Test <sub>POSTCAMP</sub>	Test <sub>PRECAMP</sub>	Test <sub>POSTCAMP</sub>
LT-GE (%)	19.07±1.18	19.78±1.28	18.58±1.15	19.78±1.40	18.86±1.15	19.78±1.28*
PCLTP-GE (%)	19.07±1.18	19.41±0.75	18.58±1.15	19.35±1.32	18.86±1.15	19.39±0.99*
LT-CE (W/L/min)	66.6±4.1	69.4±4.7*	64.8±4.0	69.0±4.8	65.8±4.0	69.2±4.6**
PCLTP-CE (W/L/min)	66.6±4.1	67.8±2.6	64.8±4.0	67.5±4.6	65.8±4.0	67.7±3.4*

Values are means±SD. \*Significant at p<0.05; \*\*Significant at p<0.01. GE: gross efficiency; PPO: peak power output; LT: lactate threshold; W: watts; CE: cycling economy

**Figure 6.1-A****Figure 6.1-B**



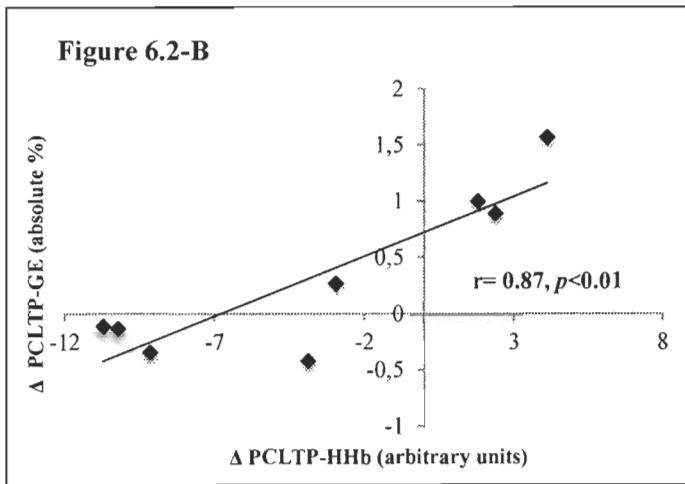
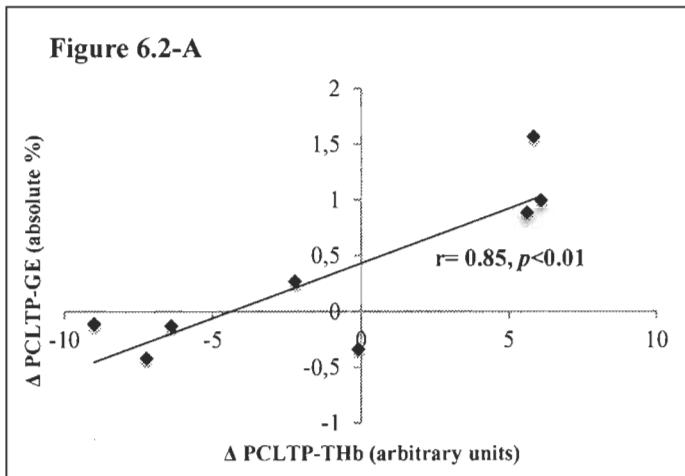
**Figure 6.1-A** Delta changes in CE and THb (postcamp – precamp) for men at the same submaximal power output (PCLTP). There is a positive correlation between changes in these variables ( $r=0.84$ ,  $p=0.009$ ).

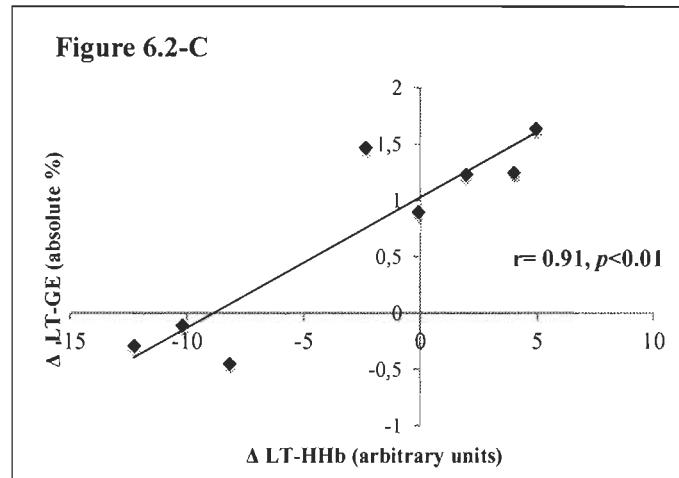
**Figure 6.1-B** Delta changes in CE and HHb (postcamp – precamp) for men at the same submaximal power output (PCLTP). There is a positive correlation between these variables ( $r=0.87$ ,  $p=0.005$ ).

**Figure 6.1-C** Delta changes in CE and HHb (postcamp – precamp) for men at LT. There is a positive correlation between these variables ( $r=0.91$ ,  $p=0.002$ ).

PCLTP: pre-camp lactate threshold power; CE: cycling economy; LT: lactate threshold; HHb: deoxyhaemoglobin; THb: total haemoglobin

Data are presented for males only. Figures 6.1-A, -B and -C show strong interactions between changes in NIRS parameters (THb and HHb) and in CE, at the same precamp and postcamp intensity (PCLTP) and at LT.





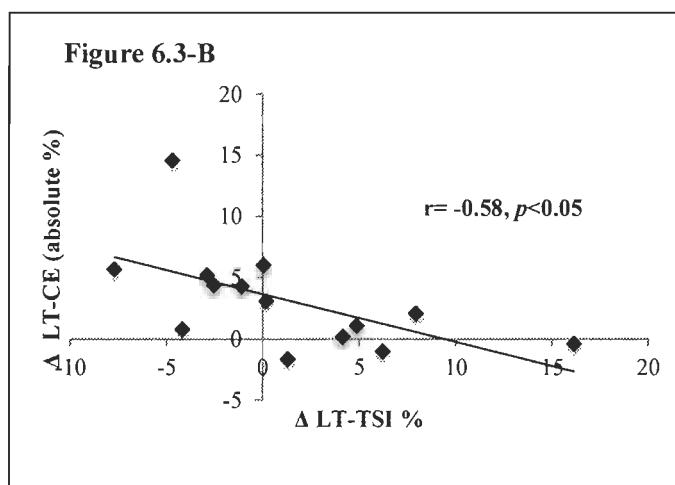
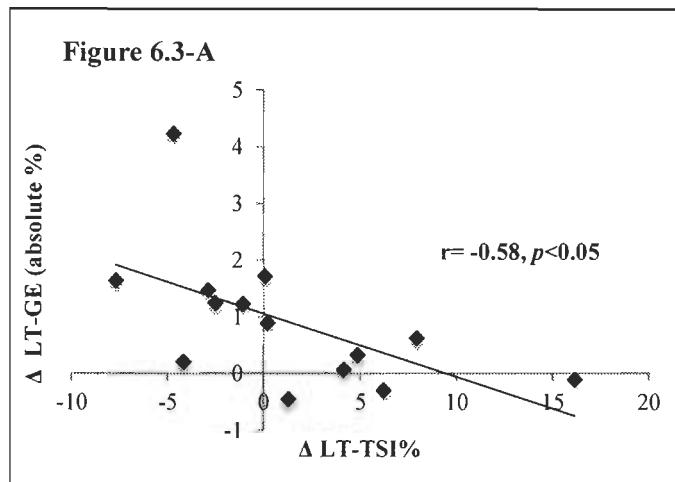
**Figure 6.2-A** Delta changes in GE and THb (postcamp – precamp) for men at the same submaximal power output (PCLTP). There is a positive correlation between changes in these variables ( $r=0.85$ ,  $p=0.008$ ).

**Figure 6.2-B** Delta changes in GE and HHb (postcamp – precamp) for the same submaximal power output (PCLTP). There is a positive correlation between these variables ( $r=0.87$ ,  $p=0.005$ ).

**Figure 6.2-C** Delta changes in GE and HHb (postcamp – precamp) at LT. There is a positive correlation between these variables ( $r=0.91$ ,  $p=0.002$ ).

PCLTP: pre-camp lactate threshold power; GE: gross efficiency; LT: lactate threshold; HHb: deoxyhaemoglobin; THb: total haemoglobin

Data are presented for males only. Figures 6.2-A, -B and -C show strong interactions between changes in NIRS parameters (THb and HHb) and changes in GE, at the same precamp and postcamp intensity (PCLTP) and at LT.

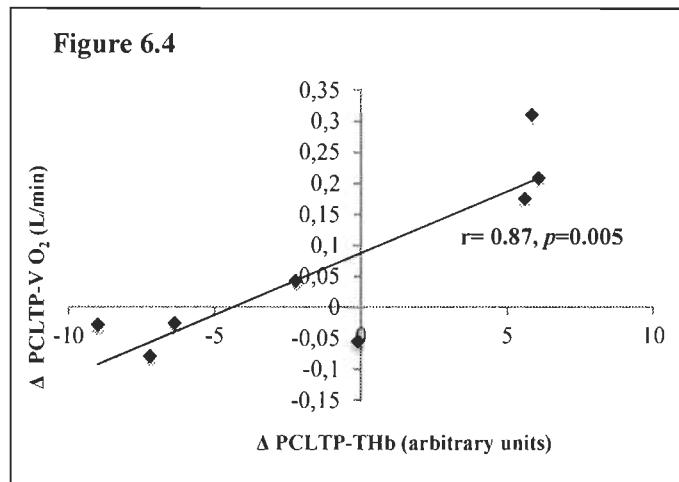


**Figure 6.3-A** Delta changes in GE and TSI % (postcamp – precamp) for both genders at lactate threshold (LT). There is a negative correlation between changes in these variables ( $r=-0.58$ ,  $p=0.031$ ).

**Figure 6.3-B** Delta changes in CE and TSI % (postcamp – precamp) for both genders at lactate threshold (LT). There is a negative correlation between these variables ( $r=-0.58$ ,  $p=0.029$ ).

GE: gross efficiency; LT: lactate threshold; TSI %: Total saturation index (%).

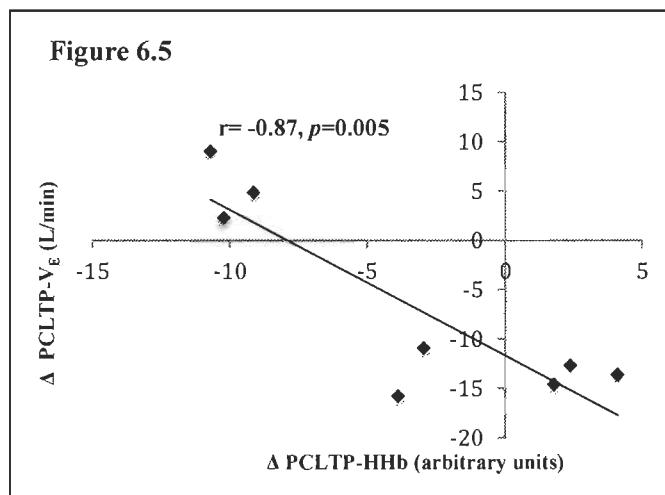
Data are presented for both genders ( $n = 14$ ). Figures 6.3-A and -B show strong interactions between changes in NIRS TSI % and changes in GE and CE at LT.



**Figure 6.4** Delta changes in  $\text{O}_2$  and THb (postcamp – precamp) for the same submaximal power output (PCLTP). There is a positive correlation between changes in these variables ( $r=0.87, p=0.005$ ).

PCLTP: precamp lactate threshold power; THb: total haemoglobin; L/min: liter per minute;  $\text{O}_2$ : Oxygen consumption.

Data are presented for males only. Figure 6.4 shows strong interaction between changes in THb and in  $\text{O}_2$  at the same precamp and postcamp intensity (PCLTP).



**Figure 6.5** Delta changes in  $\text{V}_{\bar{E}}$  and HHb (postcamp – precamp) for the same submaximal power output (PCLTP). There is a positive correlation between changes in these variables ( $r=0.87, p=0.005$ ).

PCLTP: pre-camp lactate threshold power; HHb: deoxyhaemoglobin; L/min: liter per minute;  $\text{V}_{\bar{E}}$ : Ventilation.

Data are presented for males only. Figure 6.5 shows strong interaction between changes in HHb and in  $\text{V}_{\bar{E}}$  at the same precamp and postcamp intensity (PCLTP).

## 6.5: Discussion

The present study was conducted to describe the effect of CTC on physiological adaptations, and one of its particularities was that we aimed to determine to what extent these adaptations would occur in a group of trained cyclists, without controlling participants training regimens. We also attempted to observe mood fluctuations, measured via the POMS questionnaire. The philosophy behind CTC is that cyclists train many hours at low intensity to gain basic endurance and ultimately increase performance. In fact, we showed that participants spent most of their total CTC training time below LT (an average of 91.2 % for both genders). We found 2 major outcomes in this study. First, efficiency parameters (GE and CE) were greatly improved, probably because of submaximal alterations (Table 6.6). On the contrary of what was expected, we did not encounter psychological fatigue among cyclists after CTC.

### *Changes in efficiency variables*

LT-GE improved significantly by an absolute 0.92 % (4.9 % relative) after CTC, as did PCLTP-GE (+0.53 % or 2.8 % relative) for all athletes (n=14). To our knowledge, this is the first time that GE is shown to be improved over a time period as short as the one of the present study (9±3 days). It is interesting to follow the evolution of these variables because Jeukendrup et al. (2000) reported that a 1% increase in absolute GE results in a 63-s improvement in a 40-km time-trial. Recently, Hopker et al. (2010) found that GE was changed in a group of professional cyclists (+1.6 % absolute) after high-intensity training, but this occurred over a period of 6 weeks in a well-controlled

training regimen. Because trained cyclists living in countries like Canada cannot perform outdoor cycling during the winter, it is likely that GE decreases during the off-season (Sassi et al., 2008; Hopker et al., 2009) but increases quickly at the onset of CTC. It is likely what happened to our study participants. To improve GE, the athletes have to produce more power at a given metabolic cost or, reversely, consume less oxygen for a given power output (Jeukendrup et al., 2000; Hopker et al., 2009). In our study, LT-CE and PCLTP-CE was significantly improved after CTC (+5.2 and 2.9 % respectively). What is interesting is that after CTC, cyclists did not significantly consume more O<sub>2</sub> at LT (Table 6.5), but produced more power (+4.9 %, Table 6.5).

Our first hypothesis to explain changes in efficiency variables concerns peripheral adaptations in oxygen carrying capacity. CTC failed to demonstrate alterations in  $\Delta\text{HbO}_2$ ,  $\Delta\text{TSI} \%$ ,  $\Delta\text{THb}$  and  $\Delta\text{HHb}$  for a given intensity when all subjects were compared together, which is consistent with the findings of McKay et al. (2009). Nonetheless, these authors suggested that the distribution of blood and subsequent adaptations of microvascular blood flow might be improved by training. To support this idea, our results showed positive correlations between alterations in the *vastus lateralis* blood flow (PCLTP- $\Delta\text{THb}$ ) and PCLTP-CE and PCLTP-GE, but for men only (Figures 6.1-A and 2-A). This might indicate that increased (or decreased) GE and CE could be due to higher (or lower) blood flow ( $\Delta\text{THb}$ ) to working muscles for the same submaximal intensity. Harms (2000) observed that during a high-intensity work, blood flow is compromised in working limb muscles because of the breathing work. Furthermore, we expect it to be combined with heightened oxygen utilization in working

muscles since we found a positive correlation between alterations in  $\Delta\text{HHb}$  and PCLTP-GE and PCLTP-CE (Figures 6.1-B and 6.2-B). Also, we showed that cyclists who improved the most LT-CE and LT-GE were those for which *vastus lateralis* desaturation ( $\Delta\text{TSI} \%$ ) was higher after CTC (see Fig. 6.3-A and 6.3-B). As  $\Delta\text{HHb}$  can be viewed as the capacity of working muscles to extract (and use)  $\text{O}_2$  (McKay et al., 2009), it is likely that after CTC the working muscles are able to extract more  $\text{O}_2$  from haemoglobin with lesser  $\text{O}_2$  consumption at the pulmonary level, as seen in our study at PCLTP (Table 6.5). This reinforces the idea that CE and GE are improved because of better muscular efficiency in using oxygen (Holloszy and Coyle, 1984; Spina et al., 1996; Putman et al., 1998) in accordance with enhanced blood flow at the muscular level after a short period of training (for the same power output).

Furthermore, pulmonary ventilation (PCLTP- $\dot{V}_E$ ) was significantly decreased after training in both genders (Table 6.5), combined with an increase in PCLTP- $\Delta\text{HHb}$ . This process should potentially augment PCLTP- $\dot{V}\text{O}_2$ , what we did not observe in our work. Because our results showed an increased LT-GE and PCLTP-GE, it is likely that oxygen headed towards working muscles (e.g. *vastus lateralis*) instead of respiratory muscles after CTC, as it has been hypothesized by Harms (2000). Furthermore, LT- $\Delta\text{THb}$  remained unchanged after CTC but alterations in  $\Delta\text{HHb}$  were significantly correlated with changes in LT-GE and LT-CE. Hence, for the same “physiological” intensity, blood flow remains the same but  $\text{O}_2$  may be used to a greater extent (Figures 6.1-C and 6.2-C), contributing to increased power at LT (W) as well as heightened GE and CE.

Our second hypothesis to explain increments in CE and GE concerns enhanced muscle respiratory capacity, which can be altered after a period of training (Holloszy and Coyle, 1984; Spina et al., 1996; Jones and Carter, 2000; Green et al., 2008). It reportedly takes at least 4-6 weeks to increase mitochondrial volume and respiratory capacity (Hopker et al, 2009). However, some authors showed that shorter duration endurance training is associated with heightened enzyme activity in the mitochondrial electron transport chain (Holloszy and Coyle, 1984; Spina et al., 1996; Hawley, 2002). Spina et al. (1996) reported that only 7-10 days of submaximal cycle training in healthy but untrained subjects results in a significant increase in mitochondrial enzyme activity (citrate synthase [CS],  $\beta$ -hydroxyacyl-CoA dehydrogenase, carnitine acetyltransferase and hexokinase). According to our results, greater O<sub>2</sub> delivery (via increased  $\Delta$ HHb and  $\Delta$ THb) likely occurred after CTC, thus improving energy production. Recent study have reported 11-38% increments in CS activity after 2 weeks of high-intensity training in active but untrained subjects, resulting in better oxidative potential in mitochondria, including sprint interval sessions (Burgomaster et al., 2006). Hence, even if we did not measure enzymatic changes, the possibility is high that cyclists in our study experienced a significant enzymatic adaptation.

Another plausible hypothesis is that learning and neuromuscular adaptations can occur. Bonacci et al. (2009) enlightened the fact that running or cycling economy may be improved following endurance training or even by strength or resistance training (Paavolainen et al., 1999). In fact, adaptations in motor recruitment are results of training. Continuous practice of a task results in more controlled movements,

characterized by decreased amplitude and duration of muscle activity, decreased muscle co-activation and less variability of movement. Cyclists in CTC may experience this kind of adaptation, although we have not been assessing this. Further researches could confirm this hypothesis.

#### *Effects of CTC on submaximal and maximal parameters*

Interestingly, we found that PPO, W/kg ratio (regardless of a weight loss, see Table 6.5) and PPO-B[La] were all significantly increased after CTC, even if 91.2 % of total training time was spent below LT intensity. This was in accordance with other investigations into short-term endurance training, which revealed that alterations of maximal capacity are likely to occur (Green et al., 1992; Rodas et al., 2000; Neary et al., 2002; Faude et al., 2009; McKay et al., 2009). Coyle et al. (1991) showed that higher PPO was strongly correlated ( $r=-0.88$ ,  $p<0.01$ ) with higher 40-km time-trial performance. It is possible that increased better submaximal capacities may improve time to exhaustion because of lesser metabolic disturbances for a given submaximal work rate (Holloszy and Coyle, 1984), leading to higher maximal capacities. After short-term endurance training, it has been demonstrated that glycogen stores are elevated in muscles because of lesser utilization for the same workload and reduction of muscle lactate concentration (Sjödin et al., 1982; Holloszy and Coyle, 1984; Green et al., 1992; Phillips et al., 1995; Putman et al., 1998) or for a given period of endurance training (Sassi et al., 2008). Even if the training regimen of athletes in our study was short ( $9\pm3$  days), it is likely that such adaptation occurred to a lower extent, as shown by

reduced acidosis at PCLTP. Additionally, power (W) at LT was significantly increased following CTC in both genders. Although speculative, this may suggest greater pyruvate and lactate oxidation by the mitochondria (Green et al., 1992; Green et al., 2008) or greater clearance rate of blood and muscle lactate (Phillips et al., 1995; Green et al., 2008) after only a few days of training.

Our study disclosed that PCLTP-B[La] was decreased after CTC ( $p<0.05$ ) which is consistent with the findings of McKay et al. (2009). Donovan and Brooks (1983) and Phillips et al. (1995) demonstrated that lactate clearance was increased after endurance training at submaximal intensities. Donovan and Brooks (1983) ascertained that the metabolic clearance rate was significantly higher in a group of trained rats compared to a control group at “easy” or “hard” exercise. The metabolic clearance rate increased by 34% when trained rats went from “easy” to “hard” running, whereas it decreased by 49% in untrained rats because of impaired transporters efficiency when metabolic acidosis was high. It is likely that MCT-4 lactate transporters were elevated in trained rats, as it has been proposed in humans by Green et al. (2008). B[La] concentration has been well-documented to decline at submaximal intensities after a period of endurance training (Donovan and Brooks, 1983; Green et al., 1992; Phillips et al., 1995; Putman et al., 1998; McKay et al., 2009) because of increased lactate conversion to glucose as well as greater use of fatty acids for energy production. However, we did not observe any change in PCLTP-RER (Table 6.5), which fails to demonstrate any greater use of fatty acids for energy production.

### *Effect of CTC on fatigue markers*

The second aim of the present work was to determine if CTC might be a source of psychological fatigue, since CTC are thought to be an exhausting exercise for athletes because of the high training load and the presence of other stressors (psychological). Foster (1998) suggested that when training-induced stress (or other stresses) is high, the individual becomes more susceptible to infections by pathogens. In our study, POMS subcategory scores were not initially high at test<sub>PRECAMP</sub> (whatever the subcategory), but we consider that when POMS subcategory scores decrease or increase significantly, it might represent a valuable observation. Thus, athletes could present symptoms of fatigue or, inversely, a higher rate of motivation. O'Connor et al. (1989) observed that, in female swimmers who doubled their training volume during 10 days<sup>-1</sup>, scores in "Depression" and "Global Mood" (Total Global Score) were increased hence resulting in global fatigue. Recent studies in groups of trained cyclists showed a decreased score in "Vigour" (Faude et al., 2009; Slivka et al., 2010) and increased score in "Fatigue" (Faude et al., 2009) after either 13 days<sup>-1</sup> (Faude et al., 2009) or 3 weeks<sup>-1</sup> (Slivka et al., 2010) of intensified training on the field. However, our results demonstrate that subcategories "Tension-Anxiety", "Confusion", "Fatigue" and "Total Global Score" were all significantly reduced after training for both genders (Table 6.4), even if training load was increased compared to normal training.

Furthermore, it seems to be accepted that some physiological indices such as HR and blood lactate are reduced at maximal intensity in athletes presenting symptoms of fatigue after a period of training (Urhausen et al., 1998; Faude et al., 2009). In our study,

we observed that PPO-B[La] was increased by more than 18 % ( $p<0.01$ ), and maximal HR remained unchanged. Hence, it appears that maximal cardiac and circulatory responses are not affected by CTC, as the previously-named authors have proposed.

#### *Study limitations*

First of all, sample size represents a major limitation of the present study. When we could not match men and women for data analysis, we only had a sample of 8 men and 6 women. Although our sample size was 14, it was not the case for all data in this work (e.g. NIRS correlation with efficiency parameters) mainly because the test was not the same for men and women. Also, numerous interpretations were made in our study on the basis of researchers who worked with untrained subjects. In our opinion, experiments on trained athletes are lacking. In this regard, we frequently refer to authors who investigated short-term endurance training in healthy but untrained subjects. Therefore, comparisons are difficult. Finally, it is important to underline that most of the sample is represented by cyclists ( $n = 10$ ) but also by triathletes and duathletes ( $n = 4$ ). Therefore, responses to training may vary, although all participants have been doing the same amount of hours of training on the bike during CTC.

### 6.6: Conclusion

In summary, CTC has been shown to be an interesting practice for trained male and female athletes who cannot train outdoors during winter. Efficiency parameters (GE and CE) were the variables that increased the most after CTC. We think that this might be due, in part, to rapid increases in cyclists' mechanical power for a given submaximal metabolic intensity, caused by significant peripheral adaptations ( $O_2$  distribution and utilization in working muscles). Men's improvements in efficiency parameters are greatly related to higher total haemoglobin and deoxyhaemoglobin in the *vastus lateralis* muscle. Moreover, these rapid submaximal alterations could be responsible for increases in maximal capacities, e.g. higher PPO. Also, our results suggest that CTC is not a source of fatigue for cyclists at season onset as it has been proposed. Therefore, although further research is needed because of a dearth of data on short-term endurance training on the field by trained athletes, it appears that ~10 days of early-season CTC are an interesting practice for trained athletes.

### 6.7: Conflict of interest

All authors declare that they have no conflict of interest.

## 6.8: References

- Bertucci W, Grappe F, Grolambert A (2007). Laboratory versus outdoor cycling conditions: Differences in pedaling biomechanics. *Journal of Applied Biomechanics* 23, 87-92.
- Bompa, TO, Haff GG (2009). Periodization: theory and methodology of training, 5<sup>th</sup> edition. Champaign, IL. Human Kinetics.
- Bonacci J, Chapman A, Blanch P, Vicenzino B (2009). Neuromuscular adaptations to training, injury and passive interventions. *Sports Medicine*. 39(11), 903-921.
- Burgomaster KA, Heigenhauser GJ, Gibala MJ (2006). Effect of short-term sprint interval training on human skeletal muscle carbohydrate metabolism during exercise and time-trial performance. *Journal of Applied Physiology* 100, 2041-2047.
- Cayrou S, Dickès P, Dolbeault S (2003). Version française du Profil of Mood States. *Journal de Thérapie Comportementale et Cognitive* 13(2), 83-88.
- Coyle EF, Feltner ME, Kautz SA, Hamilton MT, Montain SJ, Baylor AM, Abraham LD, Petrek GW (1991). Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1, 93-107.
- Donovan CM, Brooks GA (1983). Endurance training affects lactate clearance, not lactate production. *American Journal of Physiology – Endocrinology and Metabolism* 244(7), E83-E92.
- Faude O, Meyer T, Urhausen A, Kindermann W (2009). Recovery in cyclists: ergometric, hormonal and psychometric findings. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 19, 433-441.
- Foster C (1998). Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 30(7), 1164-1168.
- Grappe F (2009). Cyclisme et optimisation de la performance, 2<sup>e</sup> édition. Bruxelles : De Boeck.
- Green HJ, Jones LL, Hughson RL, Painter DC, Farrance BW (1987). Training-induced hypervolemia: lack of an effect on oxygen utilization during exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 19(3), 202-206.

- Green HJ, Jones LL, Houston ME, Ball-Burnett ME, Farrance BW (1989). Muscle energetics during prolonged cycling after exercise hypervolemia. *Journal of Applied Physiology* 66(2), 622-631.
- Green HJ, Coates G, Sutton JR, Jones S (1991a). Early adaptations in gas exchange, cardiac function and haematology to prolonged exercise training in man. *European Journal of Applied Physiology* 63, 17-23.
- Green HJ, Jones S, Ball-Burnett ME, Smith D, Livesey J, Farrance BW (1991b). Early muscular and metabolic adaptations to prolonged exercise training in humans. *Journal of Applied Physiology* 70(5), 2032-2038.
- Green HJ, Heylar M, Ball-Burnett M, Kowalchuk N, Symon S, Farrance B (1992). Metabolic adaptations to training precede changes in muscle mitochondrial capacity. *Journal of Applied Physiology* 72(2), 484-491.
- Green HJ, Bombardier E, Duhamel TA, Stewart RD, Tupling AR, Ouyang J (2008). Metabolic, enzymatic and transporter responses in human muscle during three consecutive days of exercise and recovery. *American Journal of Physiology – Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 295 R1238-R1250.
- Harms CA (2000). Effect of skeletal muscle demand on cardiovascular function. *Journal of Medicine and Science in Sports and Exercise* 32(1), 94-99.
- Hawley JA (2002). Adaptations of skeletal muscle to prolonged, intense endurance training. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology* 29, 218-222.
- Hawley JA, Stepto NK (2001). Adaptations to training in endurance cyclists (Implications for performance). *International Journal of Sports Medicine* 31(7), 511-520.
- Heck H, Mader A, Hess G, Mücke S, Müller R, Hollmann W (1985). Justification of the 4 mmol/l lactate threshold. *International Journal of Sports Medicine* 3, 117-130.
- Holloszy JO, Coyle EF (1984). Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *Journal of Applied Physiology* 56(4), 831-838.
- Hopker J, Passfield L, Coleman D, Jobson S, Edwards L, Carter H (2009). The effects of training on gross efficiency in cycling: a review. *International Journal of Sports Medicine* 30, 845-850.

- Hopker J, Coleman D, Passfield L, Wiles J (2010). The effect of training volume and intensity on competitive cyclists' efficiency. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism* 35, 17-22.
- Jeukendrup AE, Craig NP, Hawley JA (2000). The bioenergetics of world class cycling. *Journal of Science and Medicine in Sport* 3(4), 414-433.
- Jones AM, Carter H (2000). The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Medicine* 29(6), 373-386.
- McKay BR, Pateson DH, Kowalchuk JM (2009). Effect of short-term high-intensity interval training vs. continuous training on O<sub>2</sub> uptake kinetics, muscle deoxygenation, and exercise performance. *Journal of Applied Physiology* 107, 128-138.
- Neary JP, McKenzie DC, Bhamhani YN (2002). Effects of short-term endurance training on muscle deoxygenation trends using NIRS. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 34(11), 1725-1732.
- O'Connor PJ, Morgan WP, Raglin JS, Barksdale CM, Kalin NH (1989). Mood state and salivary cortisol levels following overtraining in female swimmers. *Psychoneuroendocrinology* 14(4), 303-310.
- Paavolainen L, Häkkinen K, Hämäläinen I, Nummela A, Ruskko H (1999). Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *Journal of Applied Physiology* 86(5), 1527-1533.
- Phillips SM, Green HJ, Tarnopolsky MA, Grant SM (1995). Increased clearance of lactate after short-term training in men. *Journal of Applied Physiology* 79(6), 1862-1869.
- Putman CT, Jones NL, Hultman E, Hollidge-Horvat MG, Bonen A, McConachie DR, Heigenhauser GJF (1998). Effects of short-term submaximal training in humans on muscle metabolism in exercise. *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism* 275, E132-E139.
- Rodas G, Ventura JL, Cadefau JA, Cusso R, Parra J (2000). A short training programme for the rapid improvement of both aerobic and anaerobic metabolism. *European Journal of Applied Physiology* 82, 480-486.
- Sassi A, Impellizzeri FM, Morelli A, Menaspà P, Rampinini E (2008). Seasonal changes in aerobic fitness indices in elite cyclists. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism* 33, 735-743.

- Sjödin B, Jacobs I, Svedenhag J (1982). Changes in onset of blood lactate accumulation (OBLA) and muscle enzymes after training at OBLA. *European Journal of Applied Physiology* 49, 45-57.
- Slivka DR, Hailes WS, Cuddy JS, Ruby BC (2010). Effects of 21 days of intensified training on markers of overtraining. *Journal of Strength and Conditioning Research* 24(10), 2604-2612.
- Spina RJ, Chi MM, Hopkins MG, Nemeth PM, Lowry OH, Holloszy JO (1996). Mitochondrial enzymes increase in muscle in response to 7-10 days of cycle exercise. *Journal of Applied Physiology* 80, 2250-2254.
- Urhausen A, Gabriel HHW, Weiler B, Kindermann W (1998). Ergometric and psychological findings during overtraining: a long-term follow-up study in endurance athletes. *International Journal of Sport Medicine* 19, 114-120.
- Westgarth-Taylor C, Hawley JA, Rickard S, Myburgh KH, Noakes TD, Dennis SC. (1997). Metabolic and performance adaptations to interval training in endurance-trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology* 74(4), 298-304.
- Whipp BJ, Higgenbotham MB, Cobb FC (1996). Estimating exercise stroke volume from asymptomatic oxygen pulse in humans. *Journal of Applied Physiology* 81, 2674-2679.

## 7. DISCUSSION GÉNÉRALE

Cette étude a été réalisée dans le but de décrire, d'observer, d'analyser et de fournir des pistes pratiques concernant les camps d'entraînement hors-saison en cyclisme, qui se comparent à un entraînement d'endurance de court terme. L'objectif principal était d'observer le potentiel physiologique de même que l'étendue des adaptations physiologiques rattachées aux camps d'entraînement pour des cyclistes « bien entraînés ». Le régime d'entraînement des participants ayant pris part à cette étude n'était pas contrôlé ni dirigé. L'objectif secondaire de ce travail était de vérifier à quel point la charge de travail accrue du camp d'entraînement pouvait influencer l'état motivationnel et la fatigue des participants (via l'analyse d'un questionnaire psychométrique, le Profile Of Mood States ou POMS). La plupart des intervenants en cyclisme préconisent le travail en endurance fondamentale lors d'un camp d'entraînement, en effectuant beaucoup de volume à basse intensité. Les résultats de notre étude démontrent effectivement que les participants ont passé, en moyenne, 91,2 % du temps total d'entraînement sous la zone du seuil lactique (SL), et ce, tant pour les hommes que pour les femmes.

Deux observations importantes ressortent de cette étude. D'abord, les paramètres d'efficacité mécanique brute (EMB) et d'économie d'effort (EE) ont été significativement améliorés, et ce, pour les deux sexes. Toutefois, nous n'avons pas été en mesure de confirmer notre seconde hypothèse puisque nous n'avons pas observé de « fatigue » ou de démotivation d'origine psychologique lors du test<sub>POSTCAMP</sub>. De plus, il

est intéressant de noter que la puissance aérobie maximale (PAM) de même que la puissance au SL, qui apparaissent comme étant de forts indicateurs de la performance (Jones et Carter, 2000), ont respectivement été augmentés de 6,5 et 5,9 %. Dans les prochaines pages, nous discuterons des mécanismes responsables des changements observés dans les paramètres nommés précédemment.

### **7.1 : Changements dans les paramètres d'économie d'effort**

L'observation la plus intéressante de cette étude est que l'EMB calculée 1) au seuil lactique (SL-EMB) et 2) à la puissance du SL pré-camp ramenée à la même puissance post-camp (MP-EMB)<sup>2</sup>, a significativement été augmentée au test<sub>POSTCAMP</sub> de 0,92 et 0,53 % en données absolues, pour les deux sexes ( $n = 14$ , voir tableau 6.6). À notre connaissance, il s'agit de la première étude qui démontre que l'EMB est significativement améliorée sur une période aussi courte que celle sur laquelle se base cette étude ( $9 \pm 3$  jours). Les répercussions pratiques de l'amélioration de ce paramètre sont notables. Jeukendrup et coll. (2000) ont démontré qu'une hausse absolue de 1 % de l'EMB résultait en 63 secondes d'amélioration lors d'un effort contre-la-montre en cyclisme de 40 km en laboratoire. Récemment, Hopker et coll. (2010) observaient également que l'EMB, pour une même puissance de travail, augmentait de 1,6 % en chiffre absolu, à la suite d'un programme d'entraînement pré-saison de six semaines à

---

<sup>2</sup> Rappel : L'EE et l'EMB ont été calculés à deux intensités mécaniques différentes (W). D'abord au SL, qui est une intensité *métabolique* correspondant à une lactatémie sanguine de 4 mmol/L. Ainsi, puisque le SL change entre le test<sub>PRÉCAMP</sub> et test<sub>POSTCAMP</sub>, le calcul se fait à une intensité mécanique différente. Ensuite, un autre calcul a été réalisé à la même puissance mécanique (MP). Il s'agit de la puissance mécanique observée au SL du test<sub>PRÉCAMP</sub>, calcul que nous avons réutilisé lors du test<sub>POSTCAMP</sub>.

haute intensité chez un groupe de cyclistes professionnels. Quant aux « cyclistes entraînés » demeurant au Canada, ils ne peuvent pas, ou peuvent difficilement, s'entraîner à l'extérieur lors de la saison hivernale. Ainsi, cette difficulté à conserver un haut régime d'entraînement en conditions réelles nous pousse à croire que l'EMB diminue durant la saison morte, tel que l'ont démontré Sassi et coll. (2008) et Hopker et coll. (2009), mais que ce paramètre augmente très rapidement dès le début de l'entraînement (départ de la saison extérieure, jumelé à une augmentation nette de la charge d'entraînement). Pour améliorer l'EMB, un athlète doit produire plus de puissance mécanique (en Watts) pour un même coût métabolique (une consommation d'oxygène [ $\dot{V}O_2$ ] donnée) ou, à l'inverse, consommer moins d'oxygène pour produire la même puissance (Jeukendrup et coll., 2000; Hopker et coll., 2009).

L'EE est le rapport entre la puissance mécanique sous-maximale développée et divisée par la  $\dot{V}O_2$  qui lui est rattachée (W/L/min). Dans notre étude, nous avons montré que SL-EE et MP-EE ont significativement été améliorées après le camp d'entraînement (+5,2 et 2,9 % respectivement, voir tableau 6.5), et ce, tant pour les hommes que pour les femmes. Nous observons que les cyclistes consomment la même quantité d'oxygène au SL (SL- $\dot{V}O_2$ ) avant ou après le camp ( $p>0,05$ ), alors qu'ils produisent significativement plus de puissance (+3,4 W/L/min). Ainsi, pour un même coût énergétique, les cyclistes produisent plus de puissance mécanique après un camp d'entraînement.

Notre première hypothèse pour expliquer les changements dans l'EE et l'EMB concerne les fluctuations périphériques. Comme nous l'avons observé, le camp

d'entraînement ne semble pas avoir d'effet sur l'extraction de l' $\text{O}_2$  ( $\Delta\text{HHb}$ ) ni sur le flux sanguin total ( $\Delta\text{THb}$ ) dans le muscle actif (voir au point 6.4), pour une même puissance mécanique (MP) sous-maximale, lorsque tous les sujets sont comparés ensemble lors des tests de PAM. Ceci est en accord avec les observations de McKay et coll. (2009), qui ne notent aucun changement dans  $\Delta\text{HHb}$  et  $\Delta\text{THb}$  lié à l'entraînement d'endurance à court terme, après huit sessions d'entraînement en endurance ou en intensité. Néanmoins, ces auteurs suggèrent certaines adaptations, par exemple une meilleure perfusion micro-vasculaire du muscle en activité ( $\Delta\text{HHb}$ ) après l'entraînement, combinée à une cinétique accélérée de la  $\dot{\text{V}}\text{O}_2$  au début de l'exercice. Selon ces auteurs, ceci résulterait en une utilisation plus rapide et efficace de l' $\text{O}_2$  dans le muscle. Dans notre étude, lorsque nous comparons la même intensité de travail mécanique (W), nous observons que la MP- $\dot{\text{V}}\text{O}_2$  est significativement diminuée de 3,6% (voir tableau 6,5) au test<sub>POSTCAMP</sub>. Nous observons également une corrélation positive entre l'augmentation du flux sanguin ( $\Delta\text{THb}$ ) et MP-EE ( $r = 0.84$ ,  $p < 0,01$ ) de même qu'entre le  $\Delta\text{THb}$  et MP-EMB ( $r = 0.85$ ,  $p < 0,01$ ) (voir Figures 6.1-A et 6.2-A), pour les hommes seulement. Aussi, nous avons démontré que les cyclistes ayant amélioré davantage SL-EE et SL-EMB semblent être ceux pour qui le muscle *vastus lateralis* possède un plus fort potentiel de désaturation (mesuré via  $\Delta\text{TSI} \%$ ) à la suite du camp d'entraînement (voir les Figures 6.3-A et 6.3-B). Dans le même ordre d'idée, nous observons que les changements dans l'EE et l'EMB sont corrélés à une extraction proportionnelle de l' $\text{O}_2$  par le muscle au SL (mesuré via le  $\Delta\text{HHb}$ , voir Figures 6.1-C et 6.2-C). Des corrélations entre le  $\Delta\text{HHb}$  et MP-EE ( $r = 0.87$ ,  $p < 0,01$ ) de même que le  $\Delta\text{HHb}$  et MP-EMB ( $r =$

0.87,  $p<0,01$ ) ont également été observées. Ainsi, si le  $\Delta\text{HHb}$  est le reflet de la capacité du muscle à extraire (et utiliser) l' $\text{O}_2$  (McKay et coll., 2009), il est probable qu'après le camp d'entraînement, pour une même puissance sous-maximale de travail, le muscle actif soit en mesure d'extraire davantage l' $\text{O}_2$  de l'hémoglobine et de la myoglobine. Nous soutenons donc certaines hypothèses antérieures, qui suggéraient que l'EE et l'EMB sont améliorées grâce à une meilleure capacité du muscle actif à extraire et traiter l' $\text{O}_2$  pour une même intensité et ainsi créer plus efficacement l'ATP (Holloszy et Coyle, 1984; Spina et coll., 1996; Putman et coll., 1998) à la suite d'une période d'entraînement.

Par ailleurs, la ventilation pulmonaire mesurée aux tests de PAM ( $\dot{V}_{\text{E}}$ , L/min) a significativement diminuée ( $p<0,05$ ) au test<sub>POSTCAMP</sub> pour une même puissance (MP- $\dot{V}_{\text{E}}$ ), tant pour les hommes que pour les femmes (voir tableau 6.5), cela combiné à une hausse de MP- $\Delta\text{HHb}$ . Ce processus devrait potentiellement augmenter MP- $\dot{V}\text{O}_2$ , ce que nous n'observons pas. Puisque l'EE et l'EMB sont améliorées pour une même puissance de travail, et parce que MP- $\dot{V}\text{O}_2$  et MP- $\dot{V}_{\text{E}}$  sont diminuées, il apparaît logique d'expliquer les changements de l'EE et l'EMB par des adaptations périphériques. Ainsi, il est plausible qu'une meilleure redistribution du sang dans l'organisme survienne, comme l'on proposé McKay et coll. (2009). Harms (2000) a observé que pendant un effort de haute intensité, le flux sanguin normalement destiné aux muscles actifs à l'effort était réduit, se dirigeant plutôt vers les muscles respiratoires. Bien qu'hypothétique (puisque non-mesuré dans le cadre de ce mémoire), il est probable qu'après le camp d'entraînement le flux sanguin ait tendance à se diriger vers les

muscles actifs plutôt que vers d'autres groupes musculaires, par exemple les muscles respiratoires, expliquant en partie les gains dans l'EE et l'EMB.

Dans le même ordre d'idées, nous avons démontré qu'au SL, aucune corrélation n'existe entre le  $\Delta\text{THb}$  et la hausse des paramètres d'économie d'effort alors que de fortes corrélations existaient entre le  $\Delta\text{HHb}$  et SL-EE ( $r = 0.91$ ,  $p < 0,01$ ), et le  $\Delta\text{HHb}$  et SL-EMB ( $r = 0.91$ ,  $p < 0,01$ ). Pour la même intensité de travail métabolique (SL) à la suite du camp d'entraînement, il est probable que l' $\text{O}_2$  présente dans la circulation sanguine n'y soit pas en plus grande quantité, mais qu'elle soit davantage utilisée par le muscle, reflétant une utilisation intramusculaire accrue de l' $\text{O}_2$ . Pour soutenir cette hypothèse, nous observons qu'au test<sub>POSTCAMP</sub>, plus la désaturation au niveau musculaire (TSI % au SL) est importante chez un sujet, moins les gains dans les paramètres d'économie d'effort sont élevés (l'EE et l'EMB, voir figures 6.3-A et 6.3-B). Ceci nous laisse croire qu'au test<sub>POSTCAMP</sub>, les athlètes ayant amélioré davantage les paramètres d'économie d'effort sont ceux pour qui le muscle à l'effort est en mesure d'utiliser davantage l' $\text{O}_2$  dans la circulation sanguine.

## 7.2 : Liens entre la hausse des paramètres d'économie d'énergie et le métabolisme musculaire

La seconde hypothèse pour expliquer la hausse de l'EE et de l'EMB concerne les changements potentiels au niveau de la cellule musculaire, dans la mitochondrie. Bien que nous ne l'ayons pas mesuré directement, l'amélioration de EE et de EMB pourrait aussi être rendue possible grâce à la capacité enzymatique accrue au niveau des cellules musculaires, qui peut être modifiée à la suite d'une période d'entraînement plus ou

moins longue (Holloszy et Coyle, 1984; Green et coll., 1992; Spina et coll., 1996; Jones et Carter, 2000; Green et coll., 2008; Hopker et coll., 2009). Bien qu'il ait été rapporté que quatre à six semaines étaient nécessaires afin d'augmenter la capacité respiratoire et le volume de la mitochondrie (Hopker et coll., 2009), d'autres auteurs suggèrent que sept à dix jours sont suffisants pour augmenter l'activité de certaines enzymes responsables de la respiration cellulaire dans la mitochondrie (Spina et coll., 1996). Certains auteurs affirment que l'entraînement en endurance est associé à une hausse de l'activité des enzymes contenues dans la chaîne de transport des électrons de la mitochondrie (Holloszy et Coyle, 1984; Spina et coll., 1996; Hawley, 2002) ainsi qu'à un plus grand nombre de fibres musculaires de type I, reconnues pour leur forte capacité oxydative (Holloszy et Coyle, 1984; Coyle et coll., 1991; Jones et Carter, 2000). Le travail récent de McKay et coll. (2009) démontre qu'il y a une cinétique plus rapide de captation d' $O_2$  au niveau pulmonaire après un entraînement d'endurance à court terme, ce qui pourrait se traduire par un apport plus rapide de l' $O_2$  aux muscles actifs via la circulation sanguine. Évidemment, beaucoup de cyclistes ont une typologie prédominante de fibres musculaires oxydatives de type I (Coyle et coll., 1991), ce qui représente un atout pour la formation mitochondriale d'ATP, les fibres musculaires de type I étant les plus riches en mitochondries.

Il a été démontré qu'une période aussi courte que sept à dix jours d'entraînement sous-maximal, chez des personnes actives mais non-engagées dans un plan d'entraînement régulier, est suffisante pour induire une augmentation significative ( $p<0,05$ ) de l'activité des enzymes mitochondrielles suivantes : citrate synthéase,  $\beta$ -

hydroxyacyl-coenzyme-A déshydrogénase, carnitine acétyltransférase et hexokinase (Spina et coll., 1996). L'étude de Burgomaster et coll. (2006) rapporte une hausse de 11 % de l'activité du CS après deux semaines d'entraînement de haute intensité ce qui, selon ces auteurs, résulte en une plus forte capacité oxydative au niveau des cellules musculaires. Même si nous n'avons pas mesuré les variations enzymatiques musculaires dans notre étude, la possibilité que les participants présentent des adaptations similaires suivant leur camp d'entraînement est élevée. En effet, nos résultats suggèrent que les participants ayant un plus fort débit en hémoglobine se rendant aux muscles actifs (mesuré via le  $\Delta\text{THb}$ ) et qui réussissent à extraire davantage l' $\text{O}_2$  de l'hémoglobine circulante (observé via le  $\Delta\text{HHb}$  et le  $\Delta\text{TSI}\%$ ) après le camp d'entraînement sont ceux pour qui les gains dans les paramètres d'économie d'effort ont été les plus forts. Bien que ceci ne représente qu'une hypothèse, une hausse de l'activité enzymatique dans la mitochondrie pourrait être reflétée par l'utilisation plus efficace de l' $\text{O}_2$  au niveau musculaire ( $\Delta\text{HHb}$ ) et être favorisée par la plus grande quantité d'hémoglobine totale ( $\Delta\text{THb}$ ) en circulation dans le muscle, sans toutefois qu'il y ait présence d'une plus grande quantité d' $\text{O}_2$  dans la circulation sanguine, tel que suggéré par Holloszy et Coyle (1984).

Toujours en ce qui a trait au métabolisme musculaire, à la suite d'un entraînement d'endurance à court terme, il est probable qu'il y ait une réduction des concentrations de lactate musculaire (Sjödin, Jacobs et Svedenag, 1982; Holloszy et Coyle, 1984; Green et coll., 1992; Phillips et coll., 1995; Putman et coll., 1998), ce qui peut être observé après une période d'entraînement prolongée de six semaines (Sassi et

coll., 2008). Quelques auteurs suggèrent qu'après une période d'entraînement aussi courte qu'une semaine (Green et coll., 1991b; McKay et coll., 2009) ou plus (Sjödin et coll., 1982), la glycolyse aérobie est significativement réduite alors que la capacité à oxyder le lactate et le pyruvate est plus élevée. Dans notre étude, même si la durée moyenne du programme d'entraînement était courte ( $9 \pm 3$  jours), il est probable que de telles adaptations surviennent (comme l'ont indiqué Green et coll. [1992], après 5 à 7 jours d'entraînement) et qu'elles soient proportionnelles à la durée de l'entraînement, comme en témoigne la diminution significative des concentrations en lactate lors du test<sub>POSTCAMP</sub>, pour une même puissance sous-maximale (voir tableau 6.5). De plus, la puissance mécanique observée au seuil lactique (SL-W) a été significativement augmentée, tant pour les hommes que pour les femmes. Bien que cela demeure hypothétique, il est probable qu'après un camp d'entraînement le muscle soit plus efficace pour transporter et métaboliser le lactate (Green et coll., 1992; Phillips et coll., 1995). Il est également probable qu'une concentration réduite en lactate sanguin (ou musculaire), pour un effort sous-maximal même en dessous du seuil lactique, représente un facteur important dans le gain de SL-EMB et de MP-EMB puisque dans ces conditions, des auteurs démontrent que la capacité à oxyder le lactate est augmentée (Sjödin et coll., 1982; Green et coll., 1992), réduisant ainsi les déséquilibres métaboliques.

Les dernières pages ne réfutent pas le fait que quatre semaines et plus sont nécessaires (Hopker et coll., 2009) afin d'améliorer fortement l'EMB et tous les sous-paramètres qui lui sont rattachés (par exemple la  $\dot{V}O_2$  pour une intensité donnée).

Néanmoins, nous supposons, avec ce qui a été mentionné précédemment, qu'une augmentation du volume d'entraînement en endurance de seulement quelques jours à intensité sous-maximale, à raison de plusieurs heures par jour, peut, à moins grande échelle, améliorer les paramètres d'économie chez des cyclistes « bien entraînés ».

### **7.3 : Les mécanismes d'adaptation neuromusculaire comme voie potentielle d'amélioration des paramètres d'économie d'effort**

Une autre hypothèse pouvant expliquer la hausse de l'économie d'effort concerne les adaptations neuromusculaires susceptibles de survenir à la suite d'une période d'entraînement. En effet, Bonacci, Chapman, Blanch et Vicenzino (2009) affirment que l'entraînement induit d'importantes adaptations neuromusculaires, notamment un meilleur recrutement des fibres du groupe musculaire ciblé, responsable d'un contrôle accru du mouvement. Ces chercheurs affirment qu'il est possible de rattacher l'apprentissage d'un mouvement à une meilleure économie d'effort dans des sports d'endurance tels que le cyclisme. D'autres auteurs ont émis l'hypothèse que les adaptations neuromusculaires après un entraînement de force et de résistance pouvaient conduire à de fortes améliorations de l'économie de course suivant un programme d'entraînement de neuf semaines (Paavolainen, Häkkinen, Hämäläinen, Nummela et Ruskko, 1999). Bien que les deux programmes d'entraînement ne soient pas similaires, il est probable que les participants de notre étude aient subi des adaptations similaires, mais à moins grande échelle. Puisque nos sujets ont passé plusieurs jours à pratiquer le même mouvement, et que la pratique régulière d'une tâche donnée résulte en un contrôle plus affuté du mouvement notamment via une diminution de la co-activation musculaire, de même qu'en moins grande amplitude et durée de l'activité musculaire pour un même mouvement (Bonacci et coll., 2009), il est probable, bien que cela demeure hypothétique, que les cyclistes aient subis de telles adaptations. De futures recherches, spécifiques au cyclisme et avec un entraînement similaire à celui dont il est question dans ce travail, pourraient confirmer ou infirmer ces affirmations.

#### **7.4 : Effets des camps d'entraînement sur les capacités sous-maximales et maximales**

Nous avons montré que certains paramètres maximaux (PAM et le ratio W/kg) ont significativement été améliorés après les camps d'entraînement, et ce, sans que les participants passent beaucoup de temps dans les zones d'intensités élevées. Nos résultats sont en accord avec ceux d'autres chercheurs qui ont étudié l'entraînement d'endurance à court terme et qui ont démontré que les paramètres maximaux pouvaient néanmoins s'améliorer même si les entraînements étaient réalisés à des intensités nettement inférieures aux capacités maximales (Green et coll., 1992; Rodas et coll., 2000; Neary et coll., 2002; Faude et coll., 2009; McKay et coll., 2009). Dans notre étude, la PAM, le ratio W/kg (sans changement significatif du poids des cyclistes, voir tableau 6.5) de même que la lactatémie maximale ont tous été significativement augmentés, et ce, tant pour les hommes que pour les femmes. Il est intéressant de regarder la fluctuation des paramètres maximaux puisque Coyle et coll. (1991) ont démontré qu'une PAM élevée était fortement corrélée ( $r = -0,88$ ,  $p < 0,01$ ) avec une meilleure performance lors d'une épreuve « contre-la-montre » de 40 kilomètres en laboratoire. Bien que nous n'ayons pas mesuré la performance via une épreuve comme le contre-la-montre, nous observons néanmoins qu'une période d'entraînement sous-maximale peut faire augmenter la PAM significativement, même si le temps d'entraînement est, en majeure partie, réalisé à des intensités sous le seuil lactique (voir tableau 6.3). Ainsi, il semble juste de penser que l'amélioration des capacités sous-maximales augmente les capacités maximales, probablement en raison d'un débalancement métabolique moins important aux intensités sous-maximales (Holloszy et coll., 1984).

Nous avons rapporté que la concentration de lactate sanguin (LaS), pour une même puissance sous-maximale (MP-LaS), a été significativement diminuée après le camp d'entraînement, passant de  $4,0 \pm 0$  mmol/L au test<sub>PRECAMP</sub> à  $3,31 \pm 1,03$  mmol/L au test<sub>POSTCAMP</sub>, pour tous les participants ( $n = 14$ ), ce qui est en accord avec plusieurs autres études (Donovan et Brooks, 1983; Phillips et coll., 1995; Green et coll., 2008; McKay et coll., 2009). Lors d'une expérimentation chez les rats, Donovan et Brooks (1983) ont démontré que la cinétique d'élimination du lactate sanguin était significativement plus élevée chez des rats entraînés lorsque ceux-ci sont comparés au groupe de rats non-entraînés, lors d'efforts sous-maximaux d'intensité « facile » et « difficile ». Lorsque les animaux passaient de l'intensité « facile » à « difficile », la cinétique d'élimination du LaS était augmentée de 34 % pour les rats entraînés alors qu'elle était diminuée de 49 % pour les rats non-entraînés. Les chercheurs expliquent ce phénomène par une forte acidose de l'organisme qui diminue du même coup la capacité à éliminer le LaS. Il est probable qu'à la suite d'une période d'entraînement en endurance, l'augmentation des transporteurs de lactate monocarboxylate-4 (MCT-4) soit à l'origine de ces changements (Green et coll., 2008). D'autres auteurs suggèrent également une transformation accrue du pyruvate via un processus d'oxydation mitochondriale plus affuté (Donovan et Books, 1983; Green et coll., 1992; Phillips et coll., 1995). Plusieurs études ont montré que la concentration sous-maximale de LaS est réduite à la suite d'un tel entraînement (Donovan et Brooks, 1983; Green et coll., 1992; Phillips et coll., 1995; Putman et coll., 1998; Green et coll., 2008; McKay et coll., 2009) en raison d'autres phénomènes comme un taux plus élevé de conversion du lactate en

glucose (création d'énergie métabolique via la néoglucogenèse) ou encore grâce à une utilisation accrue des lipides comme source énergétique. Cependant, dans le cadre de notre étude, nous n'avons pas été en mesure d'explorer ces pistes de réflexion, puisque le quotient respiratoire, pour un même travail mécanique (W) (MP-RER), est resté inchangé au test<sub>POSTCAMP</sub> (voir tableau 6.5).

À l'inverse, nous n'avons observé aucun changement du  $\dot{V}O_2\text{max}$  au test<sub>POSTCAMP</sub> ( $p>0,05$ ), ce qui est en accord avec plusieurs autres études sur l'entraînement d'endurance à court terme, car cette forme d'entraînement est souvent trop courte pour induire un quelconque changement significatif sur le  $\dot{V}O_2\text{max}$  (Putman et coll., 1998; Faude et coll., 2009; McKay et coll., 2009; Slivka et coll., 2010), particulièrement chez des athlètes « bien entraînés ». D'autres chercheurs ont tout de même observé des augmentations légères mais significatives (Green et coll., 1991a; Spina et coll., 1996; Neary et coll., 2002). Chez des athlètes d'endurance tels que ceux de notre étude ( $\dot{V}O_2\text{max} : 4,39 \pm 0,66 \text{ L/min}$ ; PAM :  $367 \pm 63 \text{ W}$ ), Neary et coll. (2002) suggèrent que les changements du  $\dot{V}O_2\text{max}$  observés après trois semaines d'entraînement à raison d'une heure par jour, cinq jours par semaine à 85 à 90 % du  $\dot{V}O_2\text{max}$ , étaient dus d'abord et avant tout à des changements centraux. Lors d'un test incrémental similaire à celui de notre étude, ces chercheurs n'ont noté aucun changement dans la désoxygénéation post-entraînement du *vastus lateralis* (mesuré via la technologie SPIR). Ils ont plutôt observé que le pouls en O<sub>2</sub> (O<sub>2</sub>-PULSE) à la PAM était significativement augmenté, tout comme le  $\dot{V}O_2\text{max}$ . Bien que nous possédions un échantillon similaire à celui de cette étude, nous n'avons pas observé ces changements en ce qui concerne l'O<sub>2</sub>.

PULSE. Cependant, la différence dans la durée du programme d'entraînement entre notre étude ( $9 \pm 3$  jours) et celle de Neary et coll. (2002) (trois semaines) pourrait expliquer l'écart des résultats, d'autant plus que nous avons observé une légère augmentation du  $\dot{V}O_2\text{max}$  chez nos sujets, sans signification statistique.

### **7.5 : Effets des camps d'entraînement sur le niveau de stress psychologique**

Le second objectif de cette étude était de vérifier si les camps d'entraînement pouvaient représenter une source de démotivation face à la pratique du sport ou de stress importants pour les participants. Les camps d'entraînement sont souvent perçus comme étant essentiels pour le développement des athlètes, mais comme étant épuisants en raison de l'augmentation nette du volume d'entraînement et de la présence de nombreuses sources de stress psychologiques (Slivka et coll., 2010). De plus, Foster (1998) avance l'idée selon laquelle lorsqu'il y a une forte présence de stress rattachés à l'entraînement (ou même de facteurs de stress psychologiques), il est probable que les athlètes soient plus enclins aux infections dues aux agents pathogènes. Dans notre étude, les résultats aux sous-catégories du test Profile Of Mood States (POMS) n'étaient pas initialement élevés, de sorte que nous ne pouvons pas conclure que nos sujets étaient « surentraînés » ou présentaient des symptômes de stress liés à un entraînement excessif lors du test<sub>POSTCAMP</sub>. Néanmoins, nous considérons qu'une hausse ou une diminution significative de la moyenne des points d'une sous-catégorie du questionnaire POMS peut représenter une observation intéressante dans le cadre de notre étude.

Des auteurs ont déjà démontré qu'à la suite de périodes d'entraînement similaires à des camps d'entraînement, des athlètes pouvaient présenter des signes de fatigue. Or, O'Connor, Morgan, Raglin, Barksdale et Kalin (1989) ont observé, chez des nageuses entraînées ayant doublé leur volume d'entraînement pendant 10 jours, des signes de dépression de même que des changements dans l'humeur global (observés via les résultats du score total du questionnaire POMS), à la suite de la période d'entraînement. Cette dernière observation laisse présumer que l'entraînement d'endurance à court terme peut s'avérer épuisant ou induire un stress face à l'entraînement. De leur côté, Faude et coll. (2009) n'ont observé aucun changement dans chacune des sous-catégories du POMS, mise à part une augmentation des points dans les sous-catégories « Vigueur-Activité » et « Fatigue-Inertie », après 13 jours d'entraînement chez des cyclistes entraînés. Slivka et coll. (2010) ont observé la même tendance pour la sous-catégorie « Vigueur-Activité » seulement, après trois semaines d'entraînement en endurance chez des cyclistes entraînés.

Concernant nos résultats, le pointage d'aucune sous-catégorie du POMS n'a été augmenté, nous laissant croire que « l'épuisement » anticipé n'est pas survenu (voir tableau 6.4). Au contraire, nous avons démontré que les résultats des sous-catégories « Anxiété-Tension », « Confusion-Perplexité », « Fatigue-Inertie » et le score total ont tous été diminués significativement au test<sub>POSTCAMP</sub>, nous laissant plutôt croire que les cyclistes conservent un degré de motivation élevé face à l'entraînement et que le camp d'entraînement ne génère pas de stress particulier. Ceci est observé malgré une hausse considérable du temps d'entraînement, semblable au programme d'entraînement utilisé

par Faude et coll. (2009) et malgré que la hausse de la charge d'entraînement soit interprétée comme une source d'épuisement potentiel (O'Connor et coll., 1989; Faude et coll., 2009).

De plus, il semble accepté dans la littérature que la baisse de certains paramètres physiologiques maximaux est précurseur d'épuisement, par exemple la diminution de la  $FC_{max}$  ou de la lactatémie maximale lors d'un test effectué après une période d'entraînement (Urhausen et coll., 1998; Faude et coll., 2009). Encore une fois, nous observons qu'après le camp d'entraînement, les concentrations maximales de lactate ont plutôt été fortement augmentées de 18 % alors que les fréquences cardiaques maximales sont demeurées inchangées. Ainsi, sur les bases de nos données et en prenant en considération la situation particulière des cyclistes qui résident au Canada, nous ne pouvons pas conclure à un épuisement ou une fatigue physiologique à la suite d'un camp d'entraînement.

Slivka et coll. (2010) affirment que des investigations sur les effets de l'entraînement d'endurance à court terme devraient être réalisées en présence d'autres facteurs de stress tels que la vie étudiante et professionnelle ou la préparation des tâches quotidiennes. En effet, puisque des athlètes de bon niveau mais non-professionnels, tels que les participants de notre étude, sont généralement des étudiants ou des travailleurs professionnels, il est possible que le camp d'entraînement soit perçu comme une forme de vacances. Nous croyons que cette perception est à la base de la diminution des pointages dans les sous-catégories « Anxiété-Tension », « Confusion-Perplexité », « Fatigue-Inertie » et le score total. Le fait d'aller dans un autre pays et dans un

environnement nouveau et plus chaud peut aussi représenter une source motivationnelle pour l'athlète, bien que ceci ne soit qu'une hypothèse.

### **7.6 : Limites de l'étude**

D'abord, la taille de l'échantillon de cette étude (14 participants) représente une limite majeure. En effet, lorsque les cyclistes sont divisés en fonction du genre, nous obtenons deux échantillons, l'un d'une taille de huit participants et l'autre de six participantes. Aussi a-t-il été parfois difficile, particulièrement pour les femmes, de réaliser des analyses statistiques viables en raison d'un trop petit nombre de sujets. Un plus grand nombre de femmes aurait été souhaitable de même qu'un échantillon plus homogène. Cependant, puisque l'objectif de l'étude était d'observer les réponses de cyclistes entraînés aux camps d'entraînement, et non pas de comparer les résultats des hommes versus ceux des femmes, la taille de l'échantillon semble intéressante, sans tenir compte du genre. Ce mémoire, et l'article joint, inclut néanmoins les réponses en fonction du sexe (homme ou femme). Lorsque c'était possible, nous avons tenté de rendre la mesure des résultats sans tenir compte du sexe, en y créant des intensités mécaniques (même puissance pré et post camp) et métaboliques (puissance aérobie et seuil lactique) qui prenaient en compte les quatorze sujets et non pas huit ou six sujets en fonction du genre. Le fait que le test de puissance aérobie n'était pas le même, en raison des incrémentés différents, a compliqué quelque peu les analyses. Nous croyons néanmoins avoir réussi à rendre la lecture considérablement facile. Il est également important de noter que quatre participants sur quatorze ne pratiquaient pas uniquement le cyclisme comme discipline sportive au moment des expérimentations, mais également

le triathlon ou le duathlon, bien que tous les participants n'aient fait que du cyclisme durant leur camp d'entraînement respectif.

De plus, la condition physique des femmes et des hommes, bien que très bonne dans les deux cas, est très différente lorsque toutes les réponses physiologiques sont comparées. Ainsi, certaines analyses de la SPIR, notamment concernant les corrélations, n'ont pu être réalisées avec les femmes, puisque les résultats étaient probablement d'une trop grande étendue. De plus, il est probable que le fait de ne pas avoir contrôlé la durée et l'intensité du camp d'entraînement des participants ait pu influencer les données, particulièrement chez les femmes. Par exemple, les hommes ont tous passé au moins sept jours en camp d'entraînement alors que trois femmes ont passé moins de sept jours en camp (soit quatre, cinq et six journées). Évidemment, même s'il est démontré qu'aussi peu que trois jours sont suffisants pour induire les premières adaptations physiologiques (Green et coll., 1990; Green et coll., 1995; Green et coll., 2008), il n'en demeure pas moins qu'un cycliste qui s'entraîne pendant sept jours, voire plus, profitera probablement davantage des effets de l'entraînement que ceux qui auront passé six jours ou moins.

Finalement, il est important de souligner que les travaux cités dans notre étude étaient très souvent réalisés auprès d'une population de participants actifs mais non-entraînés. Ceci rend difficile les comparaisons entre les résultats que nous avons obtenus et ceux d'une forte proportion d'études citées. Cette caractéristique donne un sens descriptif à notre travail puisque très peu d'études ont travaillé sur l'effet de l'entraînement d'endurance à court terme avec des cyclistes « entraînés ».

## 8. CONCLUSION

En somme, nous avons démontré que les camps d'entraînement en cyclisme, une forme d'entraînement d'endurance à court terme, représente une pratique efficace pour l'athlète qui y prend part, comme le stipulait notre hypothèse initiale, et ce, tant pour les hommes que pour les femmes. L'augmentation de l'EE et l'EMB représente l'adaptation la plus intéressante à la suite du camp d'entraînement. Ce changement se fait voir par le fait que pour une même puissance mécanique sous-maximale, la  $\dot{V}O_2$  et, par conséquent, la dépense énergétique se voient diminuées, améliorant du même coup les paramètres d'économie d'effort. De plus, certaines corrélations nous indiquent que des adaptations périphériques sont potentiellement responsables de ces changements. Par exemple, des corrélations existent entre la hausse du flux sanguin (mesurée via le  $\Delta THb$ ), l'augmentation de la captation de l'oxygène (mesurée via le  $\Delta HHb$ ) ainsi que de la désaturation (mesurée via le  $\Delta TSI \%$ ) du muscle *vastus lateralis* et la hausse des paramètres d'économie d'effort, après le camp d'entraînement, et ce, chez les hommes seulement. Bien que cela demeure hypothétique, la littérature suggère que des adaptations dans le métabolisme des cellules musculaires (respiration cellulaire accrue dans la mitochondrie) de même qu'un meilleur recrutement des fibres musculaires à la suite du camp d'entraînement, soient des pistes logiques pour expliquer les changements physiologiques positifs chez les cyclistes au test<sub>POSTCAMP</sub>. Aussi, nous croyons que les nombreux changements sous-maximaux sont responsables du fort gain observé dans les paramètres maximaux (PAM et le rapport W/kg) en raison des débordements métaboliques moins importants après le camp d'entraînement. Toutefois, notre seconde

hypothèse, qui stipulait que les camps d'entraînement pouvaient représenter une pratique « épuisante » pour les cyclistes, n'a pas été confirmée. Au contraire, les camps d'entraînement semblent être une pratique stimulante pour les athlètes qui y participent. Nous pouvons donc conclure qu'un camp d'entraînement pré-saison d'une durée d'environ sept jours peut apporter des bénéfices importants chez des cyclistes « entraînés ».

## RÉFÉRENCES

- Bertucci, W., Grappe, F. & Groslambert, A. (2007). Laboratory versus outdoor cycling conditions : Differences in pedaling biomechanics. *Journal of Applied Biomechanics*, 23, 87-92.
- Bompa, T. O. & Haff, G. G. (2009). *Periodization: theory and methodology of training, 5<sup>th</sup> edition*. Champaign, IL : Human Kinetics.
- Bonacci, J., Chapman, A., Blanch, P. & Vicenzino, B. (2009). Neuromuscular adaptations to training, injury and passive interventions. *Sports Medicine*, 39(11), 903-921.
- Burgomaster, K. A., Heigenhauser, G. J. & Gibala, M. J. (2006). Effect of short-term sprint interval training on human skeletal muscle carbohydrate metabolism during exercise and time-trial performance. *Journal of Applied Physiology*, 100, 2041-2047.
- Cayrou, S., Dickès, P. et Dolbeault, S. (2003). Version française du Profile of mood states. *Journal de Thérapie Comportementale et Cognitive*, 13(2), 83-88.
- Chwalbinska-Moneta, J., Kruk, B., Nazar, K., Krzeminski, K., Kaciuba-Uscilko, H. & Ziembra, A. (2005). Early effects of short-term endurance training on hormonal responses to graded exercise. *Journal of Physiology and Pharmacology*, 56(1), 87-99.
- Coyle, E. F., Feltner, M. E., Kautz, S. A., Hamilton, M. T., Montain, S. J., Baylor, A. M., Abraham, L. D. & Petrek, G. W. (1991). Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(1), 93-107.
- Coyle, E. F., Sidossis, L. S., Horowitz, J. F. & Beltz, J. A. (1992). Cycling efficiency is related to the percentage of Type I muscle fibers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24, 782-788.
- Donovan, C. M., Brooks, G. A. (1983). Endurance training affects lactate clearance, not lactate production. *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism*, 244(7), E83-E92.
- Faude, O., Meyer, T., Urhausen, A. & Kindermann, W. (2009). Recovery Training in Cyclists : Ergometric, Hormonal and Psychometric Findings. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 19, 433-441.

- Foster, C. (1998). Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(7), 1164-1168.
- Goodman, J. M., Liu, P. P. & Green, H. J. (2005). Left ventricular adaptations following short-term endurance training. *Journal of Applied Physiology*, 98, 454-460.
- Grappe, F. (2009). *Cyclisme et optimisation de la performance (2<sup>e</sup> édition)*. Bruxelles : De Boeck.
- Grappe, F. (2012). *Puissance et performance en cyclisme: s'entraîner avec des capteurs de puissance*. Bruxelles: De Boeck.
- Grassi, B., Quaresima, V., Marconi, C., Ferrari, M. & Cerretelli, P. (1999). Blood lactate accumulation and muscle deoxygenation during incremental exercise. *Journal of Applied Physiology*, 87(1), 348-355.
- Green, H. J., Jones, L. L., Hughson, R. L., Painter, D. C. & Farrance, B. W. (1987). Training-induced hypervolemia : lack of an effect on oxygen utilization during exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 19(3), 202-206.
- Green, H. J., Jones, L. L., Houston, M. E., Ball-Burnett, M. E. & Farrance, B. W. (1989). Muscle energetics during prolonged cycling after exercise hypervolemia. *Journal of Applied Physiology*, 66(2), 622-631.
- Green, H. J., Jones, L. L. & Painter, D. C. (1990). Effects of short-term training on cardiac function during prolonged exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(4), 488-493.
- Green, H. J., Coates, G., Sutton, J. R. & Jones, S. (1991a). Early adaptations in gas exchange, cardiac function and hematology to prolonged exercise training in man. *European Journal of Applied Physiology*, 63, 17-23.
- Green, H. J., Jones, S., Ball-Burnett, M. E., Smith, D., Livesey, J. & Farrance, B. W. (1991b). Early muscular and metabolic adaptations to prolonged exercise training in humans. *Journal of Applied Physiology*, 70(5), 2032-2038.
- Green, H. J., Heylar, M., Ball-Burnett, M., Kowalchuk, N., Symon, S., Farrance, B. W. (1992). Metabolic adaptations to training precede changes in muscle mitochondrial capacity. *Journal of Applied Physiology*, 72(2), 484-491.

- Green, H. J., Ball-Burnett, M., Symon, S., Grant, S., Jamieson, G. (1995). Short-term training, muscle glycogen and cycle endurance. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 20(3), 315-324.
- Green, H. J., Bombardier, E., Duhamel, T. A., Stewart, R. D., Tupling, A. R. & Ouyang, J. (2008). Metabolic, enzymatic and transporter responses in human muscle during three consecutive days of exercise and recovery. *American Journal of Physiology – Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 295, R1238-R1250.
- Hansen, E. A., Jorgensen, L. V., Jensen, K., Fregly, B. J. & Sjogaard, G. (2002). Crank inertial load affect freely chosen pedal rate during cycling. *Journal of Biomechanics*, 35, 277-285.
- Harms, C. A. (2000). Effect of skeletal muscle demand on cardiovascular function. *Journal of Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(1), 94-99.
- Hawley, J. A. & Stepto, N. K. (2001). Adaptations to training in endurance cyclists (Implications for performance). *International Journal of Sports Medicine*, 31(7), 511-520.
- Hawley, J. A. (2002). Adaptations of skeletal muscle to prolonged, intense endurance training. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 29, 218-222.
- Holloszy, J. O. & Coyle, E. F. (1984). Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *Journal of Applied Physiology*, 56(4), 831-838.
- Hopker, J., Passfield, L., Coleman, D., Jobson, S., Edwards, L. & Carter, H. (2009). The effects of training on gross efficiency in cycling: a review. *International Journal of Sports Medicine*, 30, 845-850.
- Hopker, J., Coleman, D., Passfield, L. & Wiles, J. (2010). The effect of training volume and intensity on competitive cyclists' efficiency. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 35, 17-22.
- Impellizzeri, F. M., Ebert, T., Sassi, A., Menaspà, P., Rampinini, E. & Martin, D. T. (2008). Level ground and uphill cycling ability in elite female mountain bikers and road cyclists. *European Journal of Applied Physiology*, 102, 335-341.
- Jeukendrup, A. E., Craig, N. P., Hawley, J. A. (2000). The bioenergetics of world class cycling. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 3(4), 414-433.

- Jeukendrup, A. E. & Martin, J. (2001). Improving cycling performance: How should we spend our time and money. *Sports Medicine*, 31(7), 559-569.
- Jones, A. M. & Carter, H. (2000). The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Medicine*, 29(6), 373-386.
- Levine, B. D. & Stray-Gundersen, J. (1997). « Living high-training low » : effect of moderate altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *Journal of Applied Physiology*, 83(1), 102-112.
- Mancini, D. (1997). Application of Near Infrared Spectroscopy to the evaluation of exercise performance and limitations in patients with heart failure. *Journal of Biomedical Optics*, 2(1), 22-30.
- McKay, B. R., Pateson, D. H. & Kowalchuk, J. M. (2009). Effect of short-term high-intensity interval training vs. continuous training on O<sub>2</sub> uptake kinetics, muscle deoxygenation, and exercise performance. *Journal of Applied Physiology*, 107, 128-138.
- Neary, J. P., McKenzie, D. C. & Bhambhani, Y. N. (2002). Effects of short-term endurance training on muscle deoxygenation trends using NIRS. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(11), 1725-1732.
- O'Connor, P. J., Morgan, W. P., Raglin, J. S., Barksdale, C. M., Kalin, N. H. (1989). Mood state and salivary cortisol levels following overtraining in female swimmers. *Psychoneuroendocrinology*, 14(4), 303-310.
- Paavolainen, L., Häkkinen, K., Hämäläinen, I., Nummela, A. & Ruskko, H. (1999). Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *Journal of Applied Physiology*, 86(5), 1527-1533.
- Phillips, S. M., Green, H. J., Tarnopolsky, M. A. & Grant, S. M. (1995). Increased clearance of lactate after short-term training in men. *Journal of Applied Physiology*, 79(6), 1862-1869.
- Putman, C. T., Jones, N. L., Hultman, E., Hollidge-Horvat, M. G., Bonen, A., McConachie, D. R. & Heigenhauser, G. J. F. (1998). Effects of short-term submaximal training in humans on muscle metabolism in exercise. *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism*, 275, E132-E139.
- Rodas, G., Ventura, J. L., Cadefau, J. A., Cusso, R. & Parra, J. (2000). A short training programme for the rapid improvement of both aerobic and anaerobic metabolism. *European Journal of Applied Physiology*, 82, 480-486.

- Saltin, B. & Astrand, P. O. (1967). Maximal oxygen uptake in athletes. *Journal of Applied Physiology*, 23(3), 353-358.
- Sassi, A., Impellizzeri, F. M., Morelli, A., Menaspà, P. & Rampinini, E. (2008). Seasonal changes in aerobic fitness indices in elite cyclists. *and Metabolism*, 33, 735-743.
- Sassi, A., Rampinini, E., Martin, D. T. & Morelli, A. (2009). Effect of gradient and speed on freely chosen cadence: The key role of crank inertial load. *Journal of Biomechanics*, 42, 171-177.
- Sjödin, B., Jacobs, I. & Svedenhag, J. (1982). Changes in onset of blood lactate accumulation (OBLA) and muscle enzymes after training at OBLA. *European Journal of Applied Physiology*, 49, 45-57.
- Slivka, D. R., Hailes, W. S., Cuddy, J. S. & Ruby, B. C. (2010). Effects of 21 days of intensified training on markers of overtraining. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(10), 2604-2612.
- Spina, R. J., Chi, M. M., Hopkins, M. G., Nemeth, P. M., Lowry, O. H. & Holloszy, J. O. (1996). Mitochondrial enzymes increase in muscle in response to 7-10 days of cycle exercise. *Journal of Applied Physiology*, 80, 2250-2254.
- Thibault, G. (2010-2011, hiver). Muscu ou pas muscu, telle est la question! *Vélo Mag*, 56-57.
- Urhausen, A., Gabriel, H. & Kindermann, W. (1995). Blood hormones as markers of training stress and overtraining. *Sports Medicine*, 20, 251-276.
- Urhausen, A., Gabriel, H. H. W., Weiler, B. & Kindermann, W. (1998). Ergometric and psychological findings during overtraining: A long-term follow-up study in endurance athletes. *International Journal of Sport Medicine*, 19, 114-120.
- Whipp, B. J., Higgenbotham, M. B. & Cobb, F. C. (1996). Estimating exercise stroke volume from asymptotic oxygen pulse in humans. *Journal of Applied Physiology*, 81, 2674-2679.

## ANNEXE A

**Représentation graphique des cycles d'entraînement annuels pour un sport d'endurance (tiré de Bompa et Haff, 2009)**

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Périodisa-												
(phase)												
	Préparation générale		Préparation spécifique		Pré-compétition		Compétitions	U	C	Tran-		
Volume	+ ++	++	++	++	++	+	+	+	+	+	++	-
	+	+	+									
Intensité	+ ++	++	++	++	++	++	++	++	+++	++	-	
	+	+	+	+	+	+	+	+				

## ANNEXE B

### Estimation de l'inertie ramenée au pédalier (IRP) pour différents ergomètres<sup>3</sup>

<b>Conditions de pédalage</b>	<b>IRP minimum (kg.m<sup>2</sup>)</b>	<b>IRP maximum (kg.m<sup>2</sup>)</b>
Ergomètre Monark	5,2	5,2
<i>Home trainer à rouleaux</i>	2,0	13,9
Ergomètre Velodyne	16,0	113,7
Conditions de terrain	23,5	167,1

- Tableau tiré de Grappe, 2009.

---

<sup>3</sup> : Les braquets utilisés pour calculer l'IRP minimum sont 42 x 28 ; les braquets utilisés pour calculer l'IRP maximum sont 52 x 13.

## ANNEXE C

Programme d'entraînement pour des cyclistes de l'équipe du Québec de vélo de montagne\* lors d'un camp d'entraînement hivernal en Californie, catégories Junior hommes et Senior Femmes, tenu du 3 au 16 janvier 2011 (Hugues, I., 2011)

Jour	Zone de travail	Durée** (h)	Description
Lundi 3 janvier	Z1	2	Volume de base
Mardi 4 janvier	Z1	3	Volume de base
Mercredi 5 janvier	Z1 et Z2	3,5	Volume de base
Jeudi 6 janvier	Muscu vélo (am) Z1 (pm)	1,5 (am) 1,5 (pm)	Musculation (am) Récupération (pm)
Vendredi 7 janvier	Rythme (am) Z1 (pm)	2 (am) 0,75 (pm)	Rythme (am) Décontraction (pm)
Samedi 8 janvier	Z1 et Z2	3,5	Volume de base
Dimanche 9 janvier	Muscu vélo (am) Z1 (pm)	1,5 (am) 1,5 (pm)	Musculation (am) Volume de base (pm)
Lundi 10 janvier	Repos complet	-	Récupération
Mardi 11 janvier	Z1	3	Volume de base
Mercredi 12 janvier	Rythme (am) Z1 (pm)	3 (am) 0,75 (pm)	Rythme (am) Décontraction (pm)
Jeudi 13 janvier	Z1 à Z2	4	Volume de base
Vendredi 14 janvier	Rythme (am) Z1 (pm)	3 (am) 0,75 (pm)	Rythme (am) Décontraction (pm)
Samedi 15 janvier	Z1	4	Volume de base
Dimanche 16 janvier	Retour (voyage)	-	-
<b>TOTAL</b>	-	<b>39,25</b>	<b>Z1: 22,75; Z2: 5,5 Autres***: 11</b>

\* L'équipe du Québec de vélo de montagne qui participe à ce camp est composée des catégories d'âge junior, U23 et senior, hommes et femmes. \*\* : La durée totale du camp d'entraînement pour la catégorie junior (hommes et femmes) est moins élevée (29,25 heures) mais les proportions et la fréquence des entraînements sont similaires. \*\*\* : La mention « Autres » signifie d'autres formes d'entraînement, comme la musculation sur vélo, les montées et la pratique des épreuves de contre-la-montre.

## ANNEXE D

Programme d'entraînement pour des cyclistes de l'équipe du Québec de vélo de montagne\* lors d'un camp d'entraînement hivernal en Californie, catégorie Senior hommes, tenu du 3 au 16 janvier 2011 (Hugues, I., 2011)

Jour	Zone de travail	Durée** (h)	Description
Lundi 3 janvier	Z1	2,5	Volume de base
Mardi 4 janvier	Z1	3	Volume de base
Mercredi 5 janvier	Z1 et Z2	4	Volume de base
Jeudi 6 janvier	Muscu vélo (am) Z1 (pm)	1,5 (am) 2 (pm)	Musculation (am) Récupération (pm)
Vendredi 7 janvier	Rythme (am) Z1 (pm)	2 (am) 0,75 (pm)	Rythme (am) Décontraction (pm)
Samedi 8 janvier	Z1 et Z2	4	Volume de base
Dimanche 9 janvier	Muscu vélo (am) Z1 (pm)	1,5 (am) 2 (pm)	Musculation (am) Volume de base (pm)
Lundi 10 janvier	Repos complet	-	Récupération
Mardi 11 janvier	Z1	3,25	Volume de base
Mercredi 12 janvier	Rythme (am) Z1 (pm)	3 (am) 0,75 (pm)	Rythme (am) Décontraction (pm)
Jeudi 13 janvier	Z1 à Z2	4,5	Volume de base
Vendredi 14 janvier	Rythme (am) Z1 (pm)	3 (am) 0,75 (pm)	Rythme (am) Décontraction (pm)
Samedi 15 janvier	Z1	4,5	Volume de base
Dimanche 16 janvier	Retour (voyage)	-	-
TOTAL	-	43	Z1: 25,75; Z2: 6,25 Autres***: 11

\* L'équipe du Québec de vélo de montagne qui participe à ce camp est composée des catégories d'âge junior, U23 et senior, hommes et femmes. \*\* : La durée totale du camp d'entraînement pour la catégorie junior (hommes et femmes) est moins élevée (29,25 heures) mais les proportions et la fréquence des entraînements sont similaires. \*\*\* : La mention « Autres » signifie d'autres formes d'entraînement, comme la musculation sur vélo, les montées et la pratique des épreuves de contre-la-montre.

## ANNEXE E

Programme d'entraînement pour des cyclistes de l'équipe du Québec de vélo de montagne\* lors d'un camp pré-saison en Virginie, catégories Junior hommes et femmes et U23, tenu du 30 mars au 9 avril 2011 (Hugues, I. 2011)

Jour	Zone de travail	Durée** (h)	Description
Jeudi 31 mars	Z1	2,5	Volume de base
Vendredi 1 avril	Z1 et Z2	Z1: 2,5 Z2: 0,5	Volume de base
Samedi 2 avril	CLM (am) Z1 (pm)	3 (am) 0,75 (pm)	CLM (intensité) (am) Récupération (pm)
Dimanche 3 avril	Z1 + Z2	Z1: 3 Z2: 0,5	Volume de base
Lundi 4 avril	Z1 (am) Muscu vélo (pm)	0,5 (am) 2,5 (pm)	Activation (am) Musculation (pm)
Mardi 5 avril	Z1	3	Volume de base
Mercredi 6 avril	Z1 + 30 min Z2	Z1: 3 Z2: 0,5	Volume de base
Jeudi 7 avril	Z1 et Z2 (montées)	4	Montées
Vendredi 8 avril	Z1	3	Volume de base
Total:	-	29,25	<b>Z1: 20,25 h. Z2: 3,5 h. Autres***: 5,5 h.</b>

\* L'équipe du Québec de vélo de montagne qui participe à ce camp est composée des catégories d'âge junior, U23 et senior, hommes et femmes. \*\* : La durée totale du camp d'entraînement pour la catégorie junior (hommes et femmes) est moins élevée (29,25 heures) mais les proportions et la fréquence des entraînements sont similaires. \*\*\* : La mention « Autres » signifie d'autres formes d'entraînement, comme la musculation sur vélo, les montées et la pratique des épreuves de contre-la-montre.

## Annexe F

Programme d'entraînement pour des cyclistes de l'équipe du Québec de vélo de montagne\* lors d'un camp pré-saison en Virginie, catégories Senior hommes, femmes et U23, tenu du 30 mars au 9 avril 2011 (Hugues, I. 2011)

Jour	Zone de travail	Durée** (h)	Description
Jeudi 31 mars	Z1	3	Volume de base
Vendredi 1 avril	Z1 et Z2	Z1: 3 Z2: 0,5	Volume de base
Samedi 2 avril	CLM (am) Z1 (pm)	3,5 (am) 1 (pm)	CLM (intensité) (am) Récupération (pm)
Dimanche 3 avril	Z1 + Z2	Z1: 3,25 Z2: 0,75	Volume de base
Lundi 4 avril	Z1 (am) Muscu vélo (pm)	0,5 (am) 3 (pm)	Activation (am) Muscularisation (pm)
Mardi 5 avril	Z1	3,5	Volume de base
Mercredi 6 avril	Z1 + 30 min Z2	Z1: 3,25 Z2: 0,75	Volume de base
Jeudi 7 avril	Z1 et Z2 (montées)	5	Montées
Vendredi 8 avril	Z1	3,5	Volume de base
Total:	-	34,5	<b>Z1: 23,5 h.</b> <b>Z2: 4,5 h.</b> <b>Autres***: 6,5 h.</b>

\* L'équipe du Québec de vélo de montagne qui participe à ce camp est composée des catégories d'âge junior, U23 et senior, hommes et femmes. \*\* : La durée totale du camp d'entraînement pour la catégorie junior (hommes et femmes) est moins élevée (29,25 heures) mais les proportions et la fréquence des entraînements sont similaires. \*\*\* : La mention « Autres » signifie d'autres formes d'entraînement, comme la musculation sur vélo, les montées et la pratique des épreuves de contre-la-montre.

## Annexe G

**Caractéristiques physiologiques de cyclistes « entraînés », « bien entraînés », « élites » et « de niveau mondial » (Jeukendrup et al, 2000).**

The Bioenergetics of World Class Cycling

Category	Trained cyclists	Well-trained	Élite	World Class
<b>Training and race status</b>				
Training frequency	2-3 times a week	3-7 times a week	5-8 times a week	5-8 times a week
Training duration	30-60 min	60-240 min	60-360 min	60-360 min
Training background	1 year	3-5 years	5-15 years	5-30 years
Race days per year	0-10	0-20	50-100	90-110
UCI ranking	-	-	first 2000	first 200
<b>Physiological variables</b>				
$W_{\max}$ (W)	250-400	300-450	350-500	400-600
$W_{\max}$ (W/kg)	4.0-5.0	5.0-6.0	6.0-7.0	6.5-8.0
$VO_{2\max}$ (L/min)	4.5-5.0	5.0-5.3	5.2-6.0	5.4-7.0
$VO_{2\max}$ (ml/kg/min)	64-70	70-75	72-80	75-90
Economy (W/L/min)	72-74	74-75	76-77	>78

Table 1: Criteria for the classification of trained, well-trained, élite and World Class road cyclists.

Tableau tiré de Jeukendrup et al, 2000 : *The Bioenergetics of World Class Cycling*.

## ANNEXE H

	Flat specialist (FL) <i>n</i> = 10 Mean ± SD	Time trialists (TT) <i>n</i> = 5 Mean ± SD	Climbers (C) <i>n</i> = 12 Mean ± SD	Mountain bikes (MTB) <i>n</i> = 12 Mean ± SD	Post hoc
$\dot{V}O_{2\max}$ (L min <sup>-1</sup> )	3.297 ± 0.205	3.883 ± 0.195	3.356 ± 0.201	3.298 ± 0.281	TT > FL = C = MTB***
$\dot{V}O_{2\max}$ (ml min <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> )	57.0 ± 3.6	63.1 ± 3.2	64.8 ± 2.6	61.4 ± 4.8	TT = C = MTB > FL*
$\dot{V}O_{2\max}$ (ml min <sup>-1</sup> kg <sup>0.32</sup> )	899.4 ± 44.3	1039.2 ± 47.0	948.7 ± 42.4	921.7 ± 71.7	TT > FT = C = MTB*
$\dot{V}O_{2\max}\text{-BSA}^{-1}$ (l min <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )	2.018 ± 0.128	2.258 ± 0.101	2.138 ± 0.085	2.076 ± 0.132	(TT > FL = MTB) = C*
PPO (W)	322 ± 24	363 ± 21	327 ± 28	314 ± 26	TT > FL = C = MTB*
PPO-BM <sup>-1</sup> (W kg <sup>-1</sup> )	5.6 ± 0.2	5.9 ± 0.3	6.3 ± 0.4	5.9 ± 0.6	(C > FL) = TT = MTB*
PPO-BM <sup>-0.32</sup> (W kg <sup>0.32</sup> )	87.8 ± 4.7	97.2 ± 4.9	92.4 ± 6.9	87.7 ± 4.7	(FL = MTB > TT) = C*
PPO-BSA <sup>-1</sup> (W m <sup>-2</sup> )	197 ± 8.6	211 ± 10	208 ± 14	198 ± 9	~

Tableau intitulé « *Maximal physiological values measured during the incremental test* », tiré de Impellizzeri et coll., 2008.

Ce tableau montre les caractéristiques physiologiques des femmes cyclistes de niveau élite mondiale, en fonction de leur spécialité respective (spécialiste sur terrain plat, du contre-la-montre, de la grimpe ou encore des cyclistes de montagne).