

LA BIOIMPEDANCEMETRIE CORPORELLE TOTALE COMME OUTIL DE MONITORING DES PERFORMANCES EN NATATION

MARTINELLI YANN

Directeur :

FRANCIS DEGACHE

Expert :

MARIE-VALERIE MORENO

**MEMOIRE DE MASTER EN SCIENCES DU MOUVEMENT ET DU
SPORT, ORIENTATION ACTIVITES PHYSIQUES ADAPTEES ET
SANTE**

SESSION DE JUIN 2012

Remerciements

En premier lieu, je tiens à remercier :

Le professeur Francis Degache, directeur de mon mémoire, pour sa disponibilité et pour son aide précieuse durant toute cette étude.

Madame Marie-Valérie Moreno, directrice scientifique et technique de la société Bioparhom, pour sa contribution et sa collaboration dans ce travail.

Le professeur Grégoire Millet qui m'a conseillé et suivi pendant cette recherche.

J'aimerais, également, adresser mes remerciements à :

Messieurs François Willen et Laurent Trincat, entraîneurs du Lausanne Natation, pour leur coopération ainsi que toute leur équipe de nageurs pour leur disponibilité et leur intérêt pour cette étude.

La société Bioparhom pour le matériel mis à disposition et pour leur excellent partenariat dans le cadre de cette recherche

Florent Crettenand, doctorant à l'Institut des Sciences du Sport de l'Université de Lausanne, pour ses explications et ses conseils lors des manipulations expérimentales.

Résumé

Introduction : Dans le cadre de la planification de l'entraînement d'un athlète, l'affûtage précompétitif consiste à réduire les charges d'entraînement et éliminer le stress des séances précédentes afin d'optimiser les performances futures. Il existe des outils pour analyser les changements physiologiques qui se manifestent dans l'organisme des sportifs pendant cette période et qui sont responsables du gain de performance. L'analyse des indices corporels par bioimpédancemétrie pourrait constituer un outil simple et non invasif pour monitorer les performances et l'entraînement des sportifs d'élites.

Méthodologie : Treize nageurs élités ont été analysés sur trois affûtages (T1, N=7 ; T2, N=6 et T3, N=8) qui précèdent trois objectifs nationaux majeurs. Un bioimpédancemètre multifréquence, le Z-MétrieX, a été utilisé pour mesurer les indices avant et après l'affûtage. Sur le même principe, les performances des sujets ont été comparées entre la compétition qui suit l'affûtage et une compétition précédente sans affûtage. Pour compléter l'analyse, la charge d'entraînement pendant l'affûtage a été quantifiée puis comparée à la charge qui précède. L'évolution des indices corporels pourra donc être mise en relation avec les différences de performance et la variation de la charge d'entraînement.

Résultats : La charge d'entraînement est significativement réduite de 41.9% sur T1 ($p=0.01$), de 31.1% sur T2 ($p=0.045$) et de 45.8% sur T3 ($p=0.007$). Les réductions de T1 et T3 sont significativement différentes de T2 ($p=0.023$ et $p=0.003$). Un gain de performance de 1.8% est observé pour T1 ($p<0.001$), 1.24% pour T2 ($p=0.006$) et de 1.93% pour T3 ($p<0.001$). L'indice corporel X325 augmente significativement de 9.8% à T1 ($p=0.021$) et de 10.2% à T3 ($p=0.03$) et reste stable sur T2. L'indice X250 suit la même cinétique. Le volume total d'eau (V_t) en litre diminue de 1.95% à T1 ($p=0.01$), de 3.17% à T2 ($p=0.034$) et de 3.15% à T3 ($p=0.038$). Le volume d'eau extracellulaire (V_e) en litre diminue de 2.56% à T1 ($p=0.025$), de 3.33% à T2 ($p=0.01$) et diminue de manière tendancielle à T3 ($p=0.062$). L'hydratation de la masse non grasse (MNG%) diminue de 2.28% à T1 ($p=0.01$) de 2.91% à T2 ($p=0.025$) et de 3.23% à T3 ($p=0.01$)

Discussion : Malgré l'absence de corrélation, la réactance des membranes cellulaires à 325 kHz (X325) et à 250 kHz (X250) semble liée à la diminution de charge d'entraînement. Ces indices, qui reflètent la perméabilité des membranes, augmentent lorsque la charge d'entraînement est fortement réduite (T1 et T3) et ne varient pas lorsque la charge est plus faiblement réduite (T2).

Conclusion : Les indices annoncés comme prédicteurs de fatigue n'ont pas montré de variation. Cependant, la perméabilité des membranes pourrait expliquer les mécanismes de régénération de l'organisme durant l'affûtage précompétitif et pourrait constituer un outil de contrôle de la charge d'entraînement pendant cette période, mais il nécessiterait d'être testé dans d'autres disciplines.

Mots clés : ENTRAINEMENT, AFFUTAGE, PERFORMANCE, BIOIMPEDANCEMETRIE

Abstract

Introduction : As part of the Training Planning, the Tapering consists in reducing the Training Loads and in recovering of the Stress of the previous Sessions to optimize futur Performances. Tools exist to analyze the physiological Changes which happens in the Body of the Athlets during this Period and which explain the Gain of Performance. Total Body Bioimpedance could establish a simple, quick and non-invasive Tool for the Monitoring of the Performances and Training of the Athlets.

Methods : Thirteen elit Swimmers were analysed on three Taperings (T1, N=7 ; T2, N=6 and T3, N=8), who precede three major Objectives for the Subjects. A multifrequency Bioimpedancemeter, Z-MétriX®, was used to measure the Indicators before and after the Tapering. On the same principle, the performances were compared between the competition which follows the Tapering and a previous competition without Tapering. To complete the Analysis, Training Load during the Tapering was quantified and compared with the Training Load which precedes Tapering. The Evolution of the Body Indications can be related with the differences of Performance and Variations of Training Loads.

Results : The Training Load is significantly reduced of 41.9% on T1 ($p=0.01$), of 31.1% on T2 ($p=0.045$) and of 45.8% on T3 ($p=0.007$). Reductions of T1 and T3 are significantly more important than the Reduction on T2 ($p=0.023$ et $p=0.003$). A Gain of 1.8 % Performance is observed for T1 ($p<0.001$), 1.24% for T2 ($p=0.006$) and 1.93% for T3 ($p<0.001$). X325 increases significantly by 9.8 % to T1 ($p=0.021$) and by 10.2 % to T3 ($p=0.03$) and rest sable on T2. X250 follows the same kinetics. The total volume of water in liter (V_t) decreases in 1.95% on T1 ($p=0.01$), in 3.17% on T2 ($p=0.034$) and in 3.15% on T3 ($p=0.038$). The volume of extracellular water (V_e) in liter decreases in 2.56% on T1 ($p=0.025$), in 3.33% on T2 ($p=0.01$) and decreases in a tendancielle way on T3 ($p=0.062$). Hydratation of MNG (%) decreases in 2.28% on T1 ($p=0.01$) in 2.91% on T2 ($p=0.025$) and in 3.23% on T3 ($p=0.01$).

Discussion : In spite of the Absence of Correlation, the cellular Membranes Reactance in 325 kHz (X325) and in 250 kHz (X250) seems related to the decrease of the Training Load. These Indicators, which reflect the Permeability of Membranes, increase when Training Loads are strongly reduced (T1 and T3) and don't vary when Training Loads are more weakly reduced (T2).

Conclusion : The indicators announced as predictor of Fatigue didn't show Variation. However, the Permeability of Membranes could explain the Mechanisms of the Body

Regeneration during the Tapering and could be a Tool for the Control of Training Load during this Period, but it would require to be tested in other Disciplines

Key Words : TRAINING, TAPERING, PERFORMANCE, BIOIMPEDANCE.

Notations

Abréviations	Indices	Unités	Erreurs (%)
INDICES METABOLIQUES			
IAM	Indice d'activité métabolique	SU	1.10
MEC	Masse extracellulaire	Kg ; %P	0.77
MCAI	Masse cellulaire active (Leweling)	Kg ; %P ; H2	0.61
MCAk	Masse cellulaire active (Kotler)	Kg ; %P ; H2	0.63
DMCA	Disponibilité de la masse cellulaire active	SU	1.37
CPC	Contenu protéique corporel global	Kg ; %P ; H2	0.59
CPMCA	Contenu protéique des cellules actives	Kg ; %P ; H2	0.63
INDICES TISSULAIRES			
MNG	Masse non grasse	Kg ; %P	0.12
MG	Masse grasse	Kg ; %P	0.63
MM	Masse maigre	Kg ; %P	0.54
CMO	Contenu minéral osseux	Kg ; %MNG	0.47 ; 0.34
Mmusc	Masse musculaire de Wang	Kg ; %P ; H2	0.69
INDICES ELECTRIQUES			
Re	Résistance du compartiment extracellulaire	Ohm	1.11
Ri	Résistance du compartiment intracellulaire	Ohm	1.6
Rinf	Résistance du compartiment total	Ohm	1.1
R5	Résistance à 5 kHz	Ohm	1.11
X5	Réactance à 5 kHz	Ohm	2.23
Xcp5	Résistance équivalente de Kothler à 5 kHz	SU	2.12
R50	Résistance à 50 kHz	Ohm	1.1
X50	Réactance à 50 kHz	Ohm	1.51
Xcp50	Résistance équivalente de Kothler à 50 kHz	SU	1.6
R150	Résistance à 150 kHz	Ohm	1.1
X150	Réactance à 150 kHz	Ohm	1.72
Xcp150	Résistance équivalente de Kothler à 150 kHz	SU	1.83
R200	Résistance à 200 kHz	Ohm	1.09
X200	Réactance à 200 kHz	Ohm	1.99
Xcp200	Résistance équivalente de Kothler à 200 kHz	SU	1.97
R250	Résistance à 250 kHz	Ohm	1.07
X250	Réactance à 250 kHz	Ohm	2.21
Xcp250	Résistance équivalente de Kothler à 250 kHz	SU	2.23
R325	Résistance à 325 kHz	Ohm	1.06
X325	Réactance à 325 kHz	Ohm	2.58
Xcp325	Résistance équivalente de Kothler à 325 kHz	SU	2.58
INDICES HYDRIQUES			
Vt	Volume d'eau total	L	0.73
Ve	Volume d'eau extracellulaire	L ; %Vt	0.74 ; 0.34
Vi	Volume d'eau intracellulaire	L ; %Vt	1.07 ; 0.63
Ve/Vt	Indice de répartition de volumique 1	%	
Ve/Vi	Indice de répartition volumique 2	%	
Vi/Vt	Indice de répartition volumique 3	%	
Re/Rinf	Indice de répartition des fluides	SU	
Hyd MNG	Hydratation de la masse non-grasse	%	0.69
Hyd corp.	Hydratation du corps	%	0.73
INDICES IONIQUES			
TBK	Contenu du corps en potassium de Kothler	mmol	0.63
Nae	Sodium libre	mmol	0.73
Kee	Potassium libre	mmol	0.8

Na extra	Concentration de sodium extracellulaire	mmol/L	0.33
K extra	Concentration de potassium extracellulaire	mmol/L	0.7
K intra	Concentration de potassium intracellulaire	mmol/L	0.46
Créa	Créatininurie	24h, g/j	0.69
N	Azote corporelle	mmol	0.53
INDICES GENERAUX			
P	Poids	Kg	
IMC	Indice de masse corporel	Kg.m-2	
Taille		Cm	
Age		Ans	
NAP	Niveau d'activité physique	SU	
MB	Métabolisme basal	Kcal/j	
BE	Besoins énergétiques	Kcal/j	

Table des matières

1 INTRODUCTION.....	1
1.1 PRÉAMBULE	1
1.2 QUANTIFICATION DE L'ENTRAÎNEMENT	2
1.3 PLANIFICATION DE L'ENTRAÎNEMENT	3
1.4 LE TAPERING	6
1.5 OUTILS DE MONITORING	12
1.6 LE CAS DE LA NATATION	19
1.7 PROBLÉMATIQUE	20
1.8 HYPOTHESES.....	21
2 METHODOLOGIE.....	22
2.1 SUJETS.....	22
2.2 MATERIEL.....	23
2.2.1 Quantification de la charge d'entraînement.....	23
2.2.2 Suivi par bio-impédancemétrie.....	26
2.2.3 Analyse de la performance	28
2.3 PROTOCOLE.....	29
2.4 ANALYSE DES DONNEES	32
2.5 ANALYSE STATISTIQUE.....	33
3 RESULTATS.....	34
3.1 CHARGE D'ENTRAÎNEMENT ET PERFORMANCE	34
3.2 CORRELATION AVEC LES INDICES CORPORELS.....	35
3.2.1 Indice d'activité métabolique (IAM).....	37
3.3 ANALYSE GLOBALE PRE/POSTTAPERING	37
3.3.1 Réactance (perméabilité des membranes)	37
4 DISCUSSION	40
4.1 CHARGE D'ENTRAÎNEMENT ET PERFORMANCE	40
4.2 CORRELATION AVEC LES INDICES CORPORELS.....	41
4.3 ANALYSE GLOBALE PRE/POSTTAPERING	42
4.4 LIMITES.....	44
4.5 PERSPECTIVES FUTURES.....	45
5 CONCLUSION	46
6 BIBLIOGRAPHIE	47

6.1 ARTICLES SCIENTIFIQUES	47
6.2 OUVRAGES	51
6.3 SITES INTERNET	51
7 ANNEXES.....	I

Liste des figures

- Figure 1 : Effets d'une séance d'entraînement sur la performance (A), sur l'aptitude (PF) et la fatigue (NF) (B), puis sur les influences positives (PI) et négatives (NI) (C). L'axe des abscisses représente le temps en jours. T_0 représente le moment où les effets négatifs de l'entraînement disparaissent et où la performance augmente. (Issu de Busso et al, 1994).
..... 4
- Figure 2 : Cycles d'entraînement représentés en unités arbitraires d'entraînement (T.U.) en fonction du temps (semaines). (Issu de Thomas et al, 2008). 5
- Figure 3 : Effets d'un Tapering par palier avec (with OT) et sans surcharge d'entraînement (without OT) avant (pré) et après (post) le Tapering sur l'influence négative de l'entraînement (A), l'influence positive de l'entraînement (B) et sur la performance (C). (Issu de Thomas et al, 2008). 7
- Figure 4 : Réduction de la charge d'entraînement sur 14 jours d'affûtage précompétitif selon 4 types de Tapering : Tapering linéaire, Tapering exponentiel avec déclin faible, Tapering exponentiel avec déclin rapide et Tapering par palier, par rapport à l'entraînement normal de la saison (Issu de Mujika et al, 2003). 9
- Figure 5 : Performance de 15 cyclistes exprimée en minutes jusqu'à l'épuisement en fonction de la réduction de l'intensité de l'entraînement. Entraînement général de la semaine 0 à la semaine 10 puis réduction de l'intensité d'un tiers (One-Third Reduced Intensity) pour un groupe et de deux tiers (Two-Third Reduced Intensity) pour l'autre groupe depuis la semaine 10 jusqu'à la semaine 15. (Issu de Hickson et al, 1985) 10
- Figure 6 : Effet global sur la performance, après analyse de plusieurs études, en fonction du pourcentage de diminution du volume (<20% ; 21-40% ; 41-60% et >60%). (Issu de Bosquet et al, 2007) 11
- Figure 7 : Durée du Tapering optimale pour des cyclistes, des coureurs et des nageurs, après analyse statistique des résultats des études sur le sujet. (Issu de Bosquet et al, 2007). 12
- Figure 8 : Evolution du volume sanguin total (en haut) et du volume de globules rouges (en bas) en fonction du niveau d'intensité pendant le Tapering. (A= repos ; B= faible intensité ; C= intensité élevée). (Issu de Shepley et al, 1992). 14

Figure 9 : Evolution de la moyenne \pm écart type (SD) de la masse grasse des sujets (%), en fonction de deux méthodes d'analyses. A gauche, les résultats du staff médical par pince à plis (FM_{skinfold}) et à droite, les résultats par biométrie des auteurs (FM_{BIA}). (Issu de Rebeyrol et al. 2010a).....	16
Figure 10 : Evolution de la moyenne de l'IAM des sujets pendant la saison, par rapport à une valeur standard (ligne pointillée). (Issu de Rebeyrol et al. 2010a).....	17
Figure 11 : Evolution de l'IAM (A), de la BCM (B) et de la charge d'entraînement (C), sur 10 mesures par bioimpédance pendant la saison. 4 phases sont représentées : PPT1 (entraînement intense et volume important), PPT2 (préparation spécifique), PPT3 (Périodes de compétitions), PPT4 (période de Tapering alternée avec les compétitions majeures). (Issu de Rebeyrol et al, 2010b).....	18
Figure 12 : Quantification globale de l'entraînement (UA) sur 40 semaines pour les 13 sujets de l'étude, avec les trois périodes de Tapering (T1, T2 et T3).....	25
Figure 13 : Appareil Z-métrie® de la société Bioparhom©, utilisé pour cette étude. (Issue de Moreno, 2007).....	26
Figure 14 : Représentation schématisée du passage du courant électrique dans les compartiments du corps, entre 2 électrodes sources, en passant par 2 électrodes réceptrices. (Issu de Moreno, 2007).....	27
Figure 15 : Passage du courant électrique dans les tissus biologiques en fonction de la fréquence. (Issu de Moreno, 2007).....	27
Figure 16 : Design expérimental des 40 semaines d'étude, avec représentation de T1 (semaines 5-6, N=7), T2 (semaines 18-19, N=6) et T3 (semaines 39-40, N=8) et respectivement les 4 semaines précédentes (Pré T1, Pré T2 et Pré T3). Les compétitions sont notées en rouge, les mesures par bioimpédance en bleu et les charges sont représentées en gris. L'analyse permettra de comparer la mesure préTapering et la mesure postTapering pour ces 3 outils.....	31
Figure 17 : Diminution des charges d'entraînement (%) pour T1 (N=7), T2 (N=6) et T3 (N=8). Différence significative pour T1 et T3 (** $p < 0.01$) et T2 (* $p < 0.05$) par rapport au baseline préTapering. Différence significative entre T1 et T2 († $p < 0.05$). Différence significative entre T2 et T3 (†† $p < 0.01$).	34

-
- Figure 18 : Gains de performance (%) pour T1 (N=7), T2 (N=6) et T3 (N=8). Différences significatives pour les championnats nationaux de T1 et T3 (** $p < 0.001$) et T2 (** $p < 0.01$), par rapport aux compétitions préT1, préT2 et préT3.....35
- Figure 19 : Evolution de l'IAM (%) après les trois périodes de Tapering (T1, N=7 ; T2, N=6 et T3, N=8).....37
- Figure 20 : Evolution de la réactance à 325 kHz (X325 (%)) après les trois périodes de Tapering (T1, N=7 ; T2, N=6 et T3, N=8). Différences significatives pour T1 et T3 ($p < 0.05$) entre la mesure préTapering et la mesure postTapering.....38
- Figure 21 : Evolution de la réactance à 250 kHz (X250 (%)) après les trois périodes de Tapering (T1, N=7 ; T2, N=6 et T3, N=8). Différences significatives pour T1 et T3 ($p < 0.05$) entre la mesure préTapering et la mesure postTapering.....38

Liste des tableaux

- Tableau 1 : Données anthropométriques des 13 sujets de l'étude. Moyenne \pm écart type (SD) de l'âge (ans), du poids (kg), de la taille (cm) et des heures d'entraînement hebdomadaires (heure).....23
- Tableau 2 : Tableau préparatoire pour l'analyse statistique. Evolution (%) des performances (temps et points Fina), de la charge d'entraînement et des indices corporels entre les données préTapering et les données postTapering pour chaque sujet et pour chaque T..32
- Tableau 3 : Tableau de corrélation pour les indices annoncés comme prédicteurs de fatigue (IAM et MCAK) et pour les indices qui ont évolué pendant le Tapering. Résultats exprimés en degré de corrélation (r). Un « r » élevé signifie un lien entre les variables (*p<0.05), tandis qu'un « r » faible ne signifie aucun lien entre les variables.....36
- Tableau 4 : Moyenne pré/postTapering (dans leur unité respective) \pm écart type et différence (%) des indices corporels pour T1 (N=7), T2 (N=6) et T3 (N=8). En rouge, les indices qui diminuent significativement et en bleu ceux qui augmentent significativement après le Tapering (*p<0.05 et **p<0.01).....39

1 Introduction

1.1 Préambule

Les traits marquants du sport de compétition remontent au 19^{ème} siècle en Angleterre. Celle-ci, en pleine expansion économique et évolution sociale, voit émerger une nouvelle forme de pratique dans certaines activités sportives. En effet, les entraîneurs et les compétiteurs tendent peu à peu à rechercher la poursuite du record, l'intérêt pour la vitesse, l'obsession du mesurable, le perfectionnement de la technique, le défi incessant, mais surtout la recherche de la performance. Cette quête infinie de la performance n'a cessé de se développer, et ceci dans toutes les couches sociales et dans toutes les pratiques sportives jusqu'au 21^{ème} siècle. Que ce soit aux jeux Olympiques, aux championnats internationaux ou régionaux, cette pratique dite de compétition a permis aux diverses délégations ou fédérations de se livrer une lutte afin d'atteindre, peut-être, l'excellence et la gloire, mais également à prouver leur force et à se mesurer à leurs adversaires.

De nos jours, cette course vers l'excellence et cette quête de performance perdurent. Elles se sont même accentuées avec le développement progressif du professionnalisme dans le milieu sportif, dès le 20^{ème} siècle. Viennent alors s'ajouter les intérêts économiques, car des sommes d'argent astronomiques sont injectées lors des compétitions. Dès lors, la pression sur les sportifs et les enjeux sont de taille.

Au vu de ce constat, les milieux sportifs ont, sans cesse, cherché à développer de nouvelles méthodes afin d'améliorer les performances de l'athlète. Les physiologistes ont tenté d'expliquer les adaptations du corps à l'effort en étudiant les réactions physiologiques dans différents types d'effort et différentes conditions environnementales. La première manière de développer les capacités physiques et les habilités est, sans conteste, l'entraînement et la pratique régulière de l'activité physique. Viru (1995) explique que *«l'action de s'entraîner implique la répétition d'exercices visant à automatiser l'exécution d'habileté et aptitudes motrices et à développer des fonctions métaboliques spécifiques à la performance.»*¹

¹ Viru AA. Adaptation in sports training. CRC Press; 1995. 310p

Puis, dans les années 1950, l'entraînement physique est devenu scientifique et méthodique. Les athlètes sont alors soumis à des programmes d'entraînements spécifiques et planifiés dans le temps. Selon Matveiev (1980), l'organisation de l'entraînement a été élaborée en ex-URSS, époque durant laquelle les athlètes dominaient les compétitions sportives. Cet aspect scientifique de la préparation physique fut d'autant plus important ces dernières années grâce aux innovations technologiques et à l'intérêt de plus en plus marqué pour les sciences du sport et pour la préparation physique en particulier.

1.2 Quantification de l'entraînement

Dès lors, les programmes des athlètes sont rigoureux et nécessitent des périodes bien distinctes pour optimiser l'entraînement et permettre à l'athlète de progresser au maximum. Les chercheurs et les coaches sportifs ont voulu quantifier l'entraînement pour en cibler différentes zones spécifiques afin d'organiser au mieux les séances. Nous parlons alors de la notion de charge d'entraînement. Le terme de charge fait référence à *«une activité fonctionnelle accrue de l'organisme induite par des exercices d'entraînement et fonction de leur degré de difficulté»*². Cette définition met l'accent sur les déterminants internes de la charge de travail avec leurs répercussions sur l'organisme. Du point de vue des aspects externes, la charge fait référence aux données quantifiables de l'entraînement. En d'autres termes, il s'agit de la quantité de travail effectuée durant une séance d'entraînement avec une contrainte plus ou moins forte sur l'organisme. Les deux témoins internes et externes sont liés et essentiels pour évaluer la charge d'entraînement.

Il existe 4 composantes qui influencent la charge d'entraînement : (Smith, 2003)

- **L'intensité** représente les différentes zones de travail et les différentes filières énergétiques utilisées pendant l'effort.
- **Le volume** correspond au nombre de kilomètres effectués par jour ou par semaine.
- **La fréquence** est un paramètre du volume et concerne le nombre de séances d'entraînement.
- **La spécificité**. Il s'agit du type d'entraînement effectué, soit général, soit ciblé.

² Matveiev LP, Lacour D, Lacour JR. Aspects fondamentaux de l'entraînement. Paris: Vigot; 1983. 250p

Le calcul de la charge d'entraînement fait d'une part intervenir le volume avec des indicateurs tels que les kilomètres, le temps, les répétitions et d'autre part l'intensité avec comme indicateurs, le %RM, la VO₂max ou encore différents coefficients. Il existe donc plusieurs méthodes de calculs pour quantifier l'entraînement en fonction de l'activité physique.

En endurance, plusieurs études utilisent les *trimps* (training impulse), une unité arbitraire qui fait intervenir la durée de l'effort et la fréquence cardiaque pour quantifier la charge d'entraînement de nageurs (Banister et Calvert, 1980) et chez des coureurs (Banister et Hamilton, 1985).

Mujika (1996a) démontre les effets de l'entraînement sur la performance en natation, en proposant une méthode de quantification qui correspond au produit de la distance par un coefficient d'intensité. Le but était d'obtenir une unité arbitraire (UA), aussi appelée *unit training* (UT).

Toutes ces méthodes de quantification sont très utilisées par les entraîneurs pour planifier et adapter l'entraînement de leurs athlètes. Le plus grand avantage est d'obtenir une valeur arbitraire sans unité qui représente la charge d'entraînement des athlètes en prenant en compte plusieurs paramètres. Les chercheurs dans ce domaine utilisent également ces procédés dans leurs travaux afin de quantifier le plus précisément possible l'entraînement de leurs sujets.

1.3 Planification de l'entraînement

La planification de l'entraînement s'appuie sur un principe de base qui stipule qu'une séance d'entraînement va provoquer une certaine fatigue et du stress sur l'organisme. Il sera nécessaire pour l'athlète d'observer une phase de récupération pour retrouver son niveau d'aptitude initial. Dans certains cas d'entraînement spécifique, une surcompensation est observée et le niveau d'aptitude augmente par rapport au niveau de base. En additionnant plusieurs séances d'entraînement et en respectant les périodes de repos, la surcompensation peut s'accumuler et encore augmenter le niveau d'aptitude. Ce phénomène est défini dans la littérature comme l'effet cumulatif de l'entraînement.

Selon Calvert et al. (1976), l'entraînement produit un effet positif, qui correspond à l'amélioration de l'aptitude physique et un effet négatif, qui correspond à la fatigue. La performance est issue de la différence entre ces deux paramètres. Busso et al. (1994) ont investigué ce modèle et comparé deux méthodes de calcul concernant la fatigue et l'aptitude.

Il en résulte que de tels modèles, avec deux composantes antagonistes, permettent d'obtenir une bonne représentation du changement de performance durant l'entraînement. Comme le montre la **figure 1**, le niveau de performance chute après la séance d'entraînement (A). Suite à une période de récupération, ce niveau remonte progressivement puis dépasse même le niveau initial (A). Cette surcompensation s'effectue lorsque la fonction négative de l'entraînement (fatigue) devient inférieure à la fonction positive (aptitude) (B). C'est à partir de ce moment (t_0) que les bénéfices de l'entraînement sont visibles. Ce phénomène est appelé influence positive de l'entraînement (PI) (C).

Selon Halson et Jeukendrup (2004), cette baisse du niveau de performance et cette fatigue post-entraînement constituent le processus d'entraînement normal. Le terme d'*overreaching* est alors utilisé, il correspond à ce déséquilibre provoqué par la séance d'entraînement. Avec une planification correcte et une gestion de la fatigue, la récupération puis la surcompensation vont avoir lieu. Au contraire, si la fatigue et le stress de la séance ne sont pas pris en compte, le sportif ne sera pas capable de récupérer et de quitter cette période d'*overreaching* pour permettre la surcompensation. La situation va se dégrader et un « syndrome » de surentraînement va s'installer chez l'athlète et sensiblement diminuer sa performance, avec également des conséquences parfois dramatiques sur sa santé. C'est pourquoi, les périodes de repos sont indispensables et doivent faire partie intégrante de l'entraînement.

Le préparateur physique devra planifier son entraînement afin d'augmenter l'aptitude physique, mais en veillant à diminuer les effets négatifs de la fatigue. Pour contrôler ces effets, la quantification de l'entraînement est d'une grande utilité. Inversement, un temps de

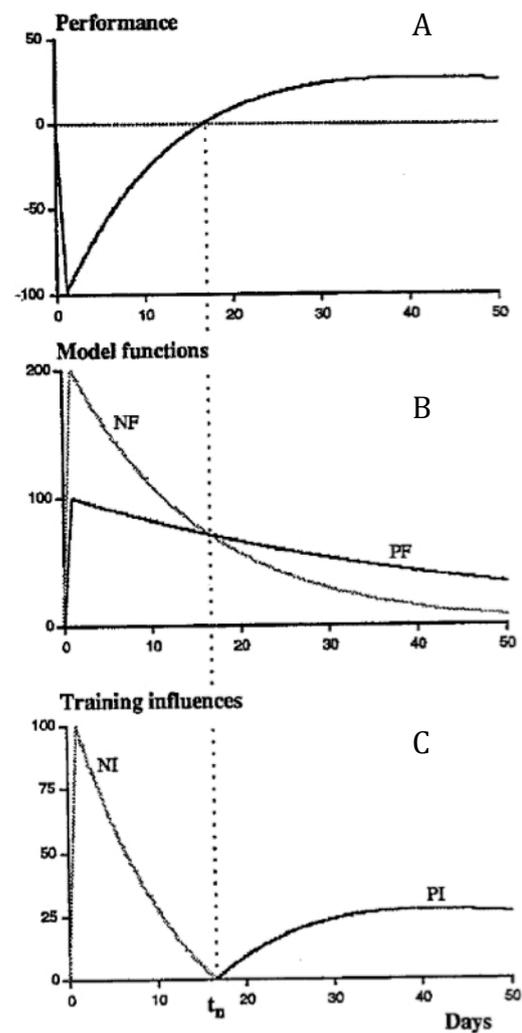


Figure 1 : Effets d'une séance d'entraînement sur la performance (A), sur l'aptitude (PF) et la fatigue (NF) (B), puis sur les influences positives (PI) et négatives (NI) (C). L'axe des abscisses représente le temps en jours. T_0 représente le moment où les effets négatifs de l'entraînement disparaissent et où la performance augmente. (Issu de Busso et al, 1994).

récupération trop long pourra engendrer un phénomène de désentraînement. (Mujika et Padilla, 2000). Les aptitudes emmagasinées durant l'entraînement vont se perdre et la performance ne sera pas optimale. Il est donc primordial de trouver le meilleur compromis. La gestion de la charge est donc très importante pour optimiser la performance. Dès lors, on observe différentes phases durant une saison d'entraînement avec des périodes à charges élevées et des périodes de repos. **La figure 2** présente l'évolution de la charge de 18 nageurs durant 2 saisons d'entraînement. On parle alors de cycles dans la littérature traitant de la planification de l'entraînement.

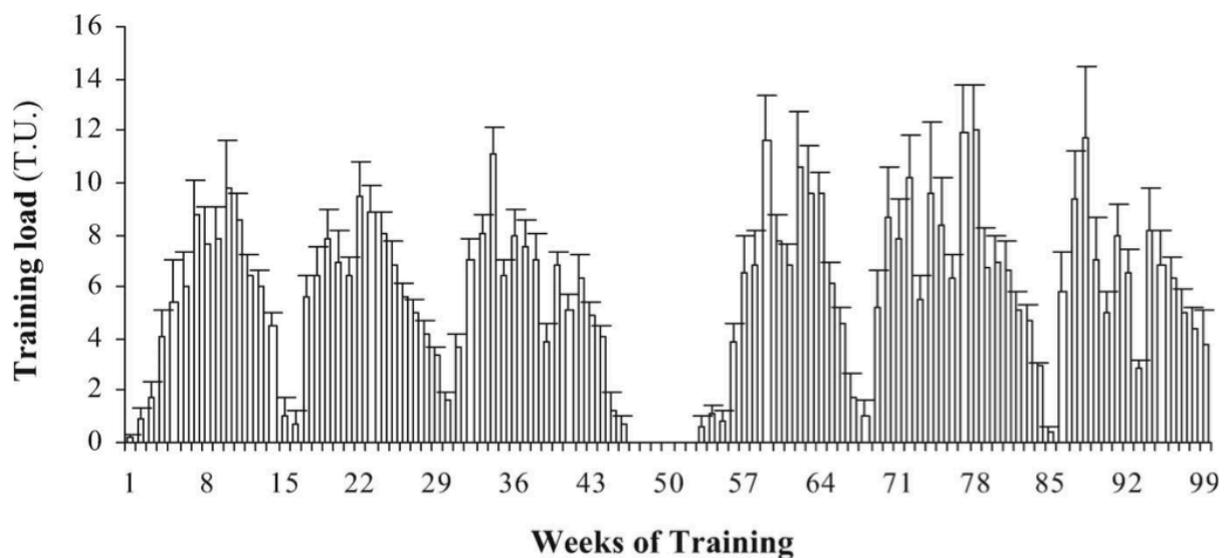


Figure 2 : Cycles d'entraînement représentés en unités arbitraires d'entraînement (T.U.) en fonction du temps (semaines). (Issu de Thomas et al, 2008).

Dans un ouvrage traitant des aspects fondamentaux de l'entraînement, Matviev (1983) classe ces cycles en trois niveaux :

- Les **microcycles** concernent quelques entraînements (généralement à l'échelle de la semaine). La base du microcycle est constituée de la séance d'entraînement et comporte une phase de stimulation qui engendre la fatigue, et une phase de récupération
- Les **mésocycles** sont formés généralement de 3 à 6 microcycles (échelle du mois). Ils permettent d'observer les effets cumulatifs de l'entraînement. La gestion de l'alternance de charges y est très importante pour éviter le surentraînement.
- Les **macrocycles** se situent à l'échelle de la saison ou de la demi-saison et se réfèrent aux objectifs généraux et aux compétitions majeures pendant l'année.

Le régime et l'organisation de l'entraînement relèvent donc une importance capitale en vue des compétitions à venir.

Garcia-Pallarés et al. (2010) ont étudié deux types d'entraînement sur deux groupes de Kayakistes. Le premier groupe était soumis à un entraînement traditionnel et le second groupe a effectué un entraînement avec périodisation. Pour ce deuxième groupe, il a été démontré que la puissance augmentait par rapport au groupe traditionnel lorsque la consommation d'oxygène atteignait un pic maximal (VO_{2peak}). Il en résulte qu'un entraînement par périodisation est plus judicieux pour améliorer la performance et pour augmenter les aptitudes de l'athlète, au maximum. Les cycles d'entraînement constituent donc une composante principale de la performance d'un athlète de haut niveau et la quantification de l'entraînement permet de planifier la saison d'un athlète de manière précise et, si nécessaire, d'adapter le régime en prévision d'un objectif sportif.

Au vu des avantages d'un tel régime d'entraînement et dans le but d'être en meilleure forme possible le jour J, les chercheurs ont tenté de prédire la performance future des athlètes grâce à la quantification. Chatard et al. (1994), dans une étude qui traite des relations entre la charge d'entraînement et la performance, appliquent le modèle de l'aptitude et de la fatigue de Clavert et al. (1976) à deux nageurs dans le but de prédire les performances de ces 2 athlètes. Les résultats de la performance théorique modélisée à partir des charges vont dans le sens de la performance réelle en compétition. Les auteurs en concluent donc que cet outil de modélisation permet d'améliorer l'entraînement et de l'individualiser. Nous avons ici un outil supplémentaire qui permet de contrôler l'entraînement d'un athlète et de prédire son aptitude pour les performances futures.

Dans le cadre de mon travail, je vais m'intéresser plus particulièrement à la période qui précède la compétition, la période d'affûtage (le Tapering). Pendant cette phase critique de récupération, l'athlète va diminuer la fatigue des séances d'entraînement et optimiser les adaptations induites lors de la préparation.

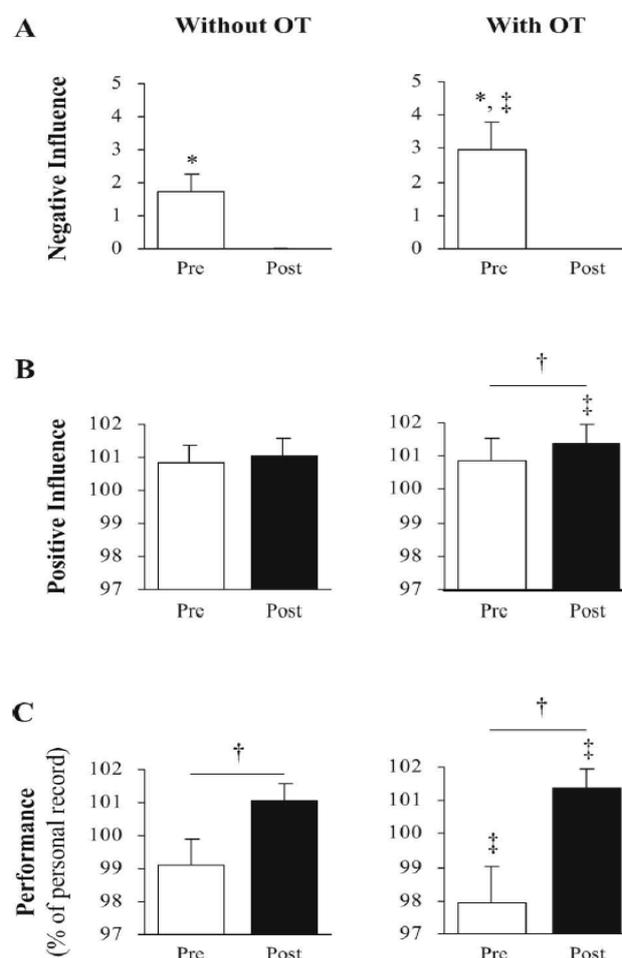
1.4 Le Tapering

La période de réduction de charge, connue aujourd'hui dans le milieu sportif sous le terme de Tapering est définie comme étant «une diminution linéaire, non progressive de la charge

d'entraînement pendant un temps variable, destinée à réduire le stress physiologique et psychologique de l'entraînement et optimiser la performance sportive³». Cependant, la première définition du Tapering a été apportée par Yamamoto et al. (1988) : «Une diminution du niveau de travail que les nageurs de compétition subissent durant leur entraînement pour récupérer et se préparer pour une bonne performance⁴». Dans les deux cas il est question de diminution de la charge d'entraînement, un point essentiel à souligner.

Pour tenter de comprendre le lien entre cette période d'affûtage et les performances, des modifications ont été apportées au modèle de Clavert et al. (1976), car ce dernier ne permet pas de proposer une stratégie précise en termes de réduction de charge. Busso et al. (2003) proposent un modèle nonlinéaire qui tient compte de l'accumulation des charges et de l'entraînement qui précèdent l'affûtage, en se basant sur le fait que la fatigue produite par un entraînement est plus ou moins importante selon la session qui précède.

Figure 3 : Effets d'un Tapering par palier avec (with OT) et sans surcharge d'entraînement (without OT) avant (pré) et après (post) le Tapering sur l'influence négative de l'entraînement (A), l'influence positive de l'entraînement (B) et sur la performance (C). (Issu de Thomas et al, 2008).



Dans une étude de Thomas et al. (2008) qui reprend ce modèle, il est démontré que la performance est meilleure avec une augmentation de la charge avant le Tapering qu'avec une entraînement régulier. La **figure 3** montre les effets d'une surcharge d'entraînement (OT) avant et après un Tapering par palier. On remarque que l'influence négative est plus élevée avant le Tapering lorsqu'il y a surcharge (A). Effectivement, une charge plus importante

³ Mujika I, Padilla S. Scientific bases for precompetition tapering strategies. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2003;35(7):1182.

⁴ Yamamoto Y, Mutoh Y, Miyashita M. Hematological and biochemical indices during the tapering period of competitive swimmers. *Swimming Science V*. 1988;269-75.

provoque plus de fatigue, mais on remarque que quelque soit ce niveau de fatigue (pré), il disparaît après le Tapering (post). Le résultat important à mettre en évidence dans cette figure est que l'influence positive augmente de manière plus importante après le Tapering lorsqu'il y a une surcharge qui précède l'entraînement (B). En résumé, une surcharge provoque une plus grande fatigue, mais lorsque celle-ci est bien gérée par une période de Tapering, l'influence positive est meilleure. Ce phénomène va permettre à l'athlète d'obtenir un gain de performance lorsqu'il y a surcharge (C).

Ainsi, les chercheurs se sont plongés dans cette période d'affûtage précompétitif et l'ont définie avec plus de précisions concernant la manière dont les charges sont réduites ainsi que sa durée pour obtenir des observations plus rigoureuses sur cette période critique.

Actuellement, la littérature sur le sujet décrit 4 grands types de Tapering (**figure 4**). Ce graphique démontre une diminution des charges de travail d'environ un tiers par rapport à la moyenne des charges d'entraînement précédant cette phase d'affûtage. Le Tapering linéaire représente une diminution linéaire et régulière de la charge d'entraînement en fonction du temps. Le tapering exponentiel démontre une forte diminution de charge en début d'affûtage, puis une diminution plus légère pendant la fin de cette période. La diminution peut s'effectuer plus ou moins rapidement (Slow Decay ou Fast Decay). Le Tapering par palier consiste à diminuer brusquement la charge en début d'affûtage puis à la garder constante jusqu'à la fin de la période d'affûtage (Mujika et Padilla, 2003). Toutes ces méthodes ont pour but de diminuer la charge d'entraînement afin de permettre à l'athlète de récupérer et de préparer la compétition qui va suivre.

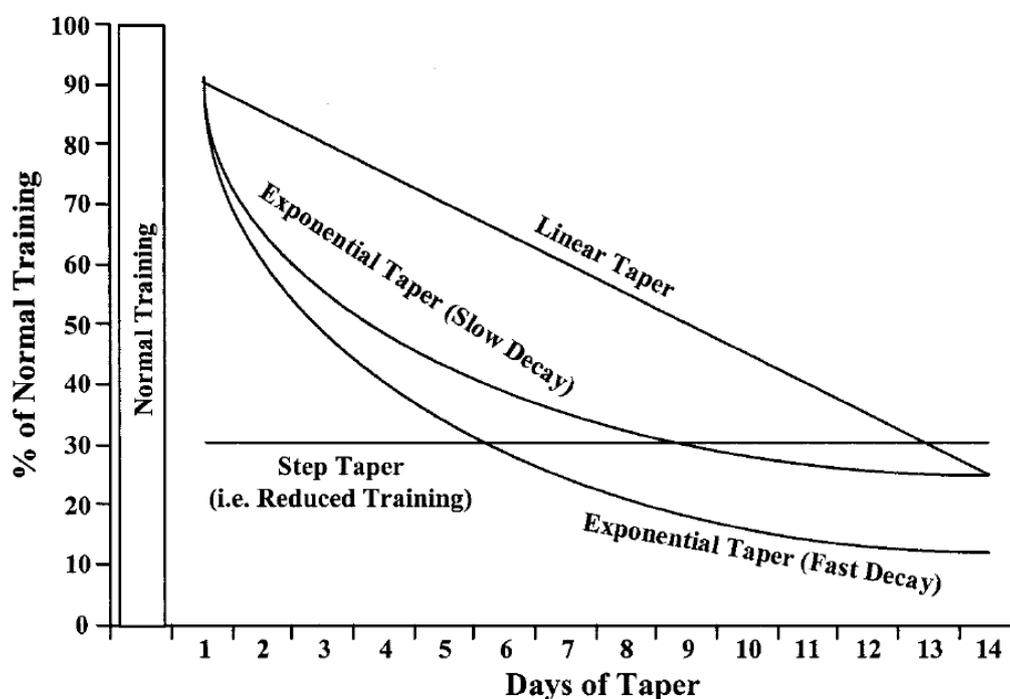


Figure 4 : Réduction de la charge d'entraînement sur 14 jours d'affûtage précompétitif selon 4 types de Tapering : Tapering linéaire, Tapering exponentiel avec déclin faible, Tapering exponentiel avec déclin rapide et Tapering par palier, par rapport à l'entraînement normal de la saison (Issu de Mujika et al, 2003).

Selon une méta-analyse de Bosquet et al. (2007) qui recueille tous les travaux sur le Tapering avec différents critères, un Tapering progressif (qui regroupe le Tapering exponentiel et linéaire) est plus efficace qu'un Tapering par palier en termes de gain de performance pour des cyclistes, des coureurs et des nageurs. Cette méta-analyse vient confirmer les résultats similaires de l'étude de Banister et al. (1999) qui tente de prédire l'effet des différents types de Tapering sur la performance chez des triathlètes.

Nous avons décrit au préalable les composantes de la charge d'entraînement. La diminution de charge peut donc s'effectuer sur ces trois composantes (intensité, volume et fréquence). Il est montré dans la littérature que la diminution de l'intensité ne permet pas d'améliorer la performance. Au contraire, l'intensité est essentielle pour conserver les adaptations induites par l'entraînement (Hickson et al. 1985). Dans cette étude, les auteurs ont suivi deux groupes de cyclistes pendant 15 semaines. Après 10 semaines d'entraînement général pour tous les athlètes, un groupe a diminué l'intensité de l'entraînement de 2 tiers, tandis que l'autre groupe l'a réduite seulement d'un tiers pendant 5 semaines. Les résultats de cette étude sont représentés dans la **figure 5**. Il est possible d'observer que les deux groupes améliorent leur

performance en repoussant le seuil d'épuisement pendant l'entraînement général mais qu'ils diminuent leur performance suite à une baisse d'intensité. De plus, les sujets qui ont abaissé plus fortement leur intensité (Two-Thirds Reduced Intensity) avaient une diminution de leur performance encore plus importante.

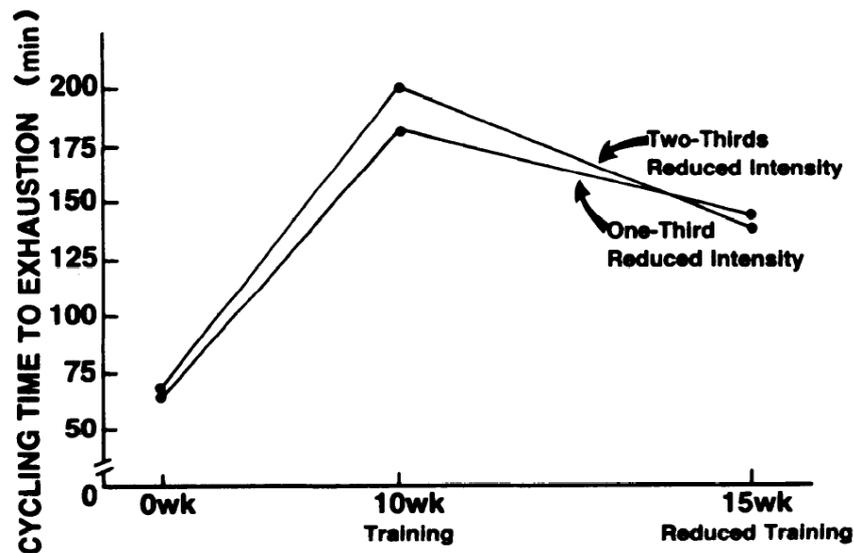


Figure 5: Performance de 15 cyclistes exprimée en minutes jusqu'à l'épuisement en fonction de la réduction de l'intensité de l'entraînement. Entraînement général de la semaine 0 à la semaine 10 puis réduction de l'intensité d'un tiers (One-Third Reduced Intensity) pour un groupe et de deux tiers (Two-Third Reduced Intensity) pour l'autre groupe depuis la semaine 10 jusqu'à la semaine 15. (Issu de Hickson et al, 1985)

La méta-analyse de Bosquet et al. (2007) est une nouvelle fois utile pour généraliser cet aspect de l'intensité. Effectivement, la récolte d'un nombre important d'études sur le sujet a permis d'observer que le gain de performance est nettement supérieur lorsque l'intensité est maintenue, pour la natation, la course ou le cyclisme.

En ce qui concerne la deuxième composante de la charge d'entraînement : le volume, celui-ci représente la composante la plus importante lors de la baisse de charge. Effectivement, plusieurs études sur des coureurs de moyenne distance démontrent ainsi des gains de performance et des capacités physiologiques améliorées et corrélées avec une diminution du volume. (Shepley et al. 1992 et Mujika et al. 2000). C'est-à-dire que plus le volume diminue pendant le Tapering, meilleure sera la performance. La méta-analyse de Bosquet et al. (2007) vient confirmer le fait que la performance est très significativement liée à la diminution du

volume d'entraînement. Les auteurs ajoutent également que «*le gain maximal est obtenu avec une diminution exponentielle du volume de 41-60% sans modifications sur l'intensité et la fréquence*»⁵, comme le montre la **figure 6**.

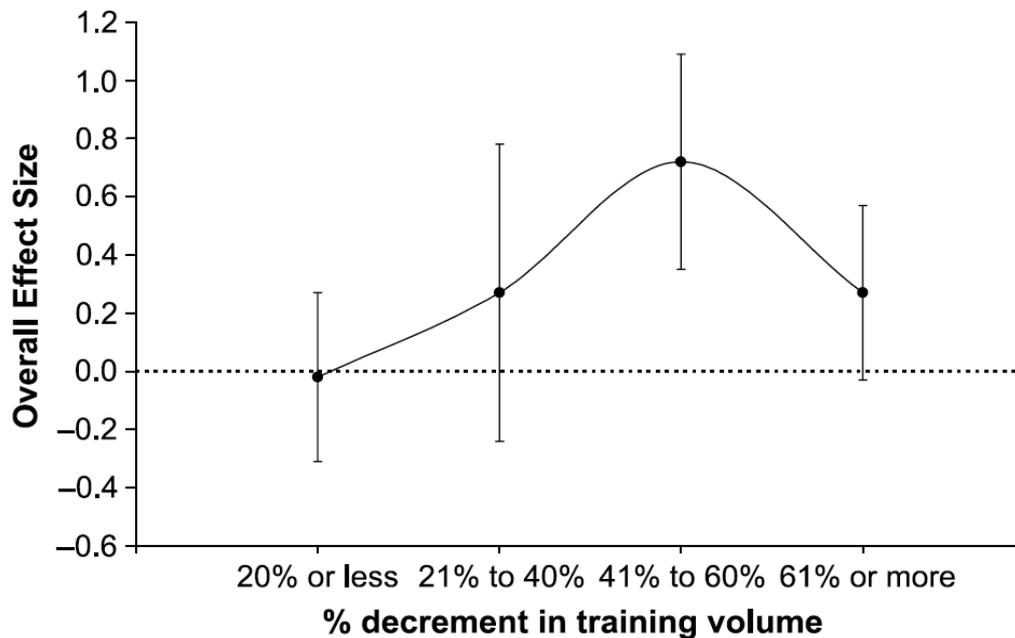


Figure 6 : Effet global sur la performance, après analyse de plusieurs études, en fonction du pourcentage de diminution du volume (<20% ; 21-40% ; 41-60% et >60%). (Issu de Bosquet et al, 2007)

La 3^{ème} variable qui compose la charge d'entraînement est la fréquence. Lors du Tapering, la fréquence des entraînements est réduite dans le but de diminuer le volume, il est donc difficile d'isoler cette variable et d'établir clairement des liens entre performance et fréquence (Mujika et al. 2002).

La durée du Tapering joue également un rôle prépondérant. C'est un élément clé car il est nécessaire de trouver le bon timing entre récupération et désentraînement. Ainsi, différentes études observent des gains de performance entre 4 et 28 jours de Tapering. Bosquet et al. (2007) ont conclu qu'une période de 2 semaines pour des nageurs, des coureurs et des cyclistes, était optimale (**Figure 7**).

⁵ Bosquet L, Montpetit J, Arvisais D, Mujika I. Effects of Tapering on Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2007 août; 39(8):1358–65.

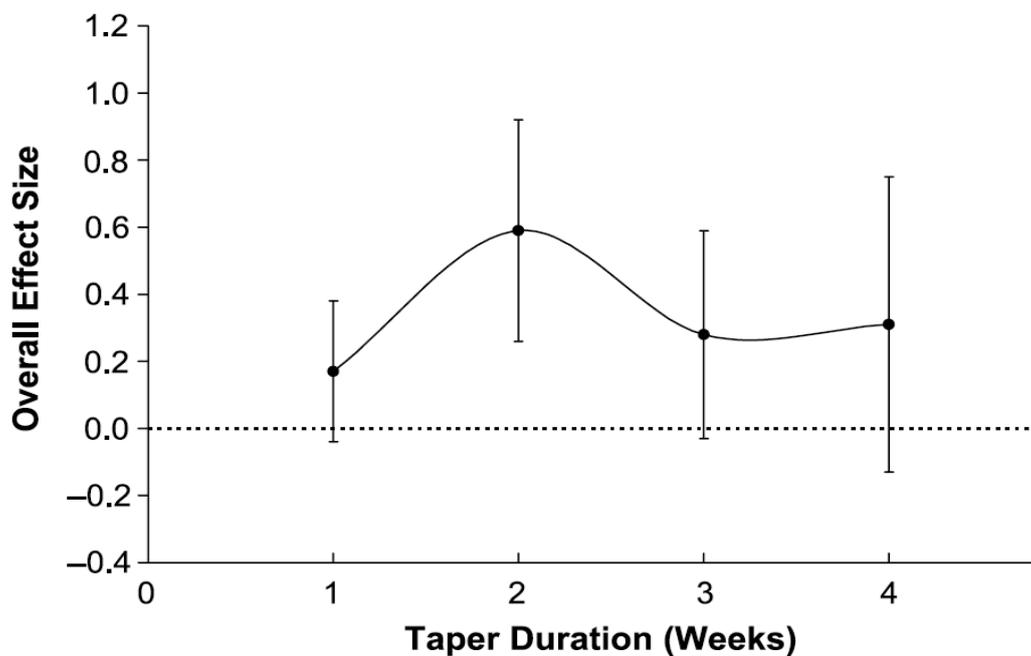


Figure 7 : Durée du Tapering optimale pour des cyclistes, des coureurs et des nageurs, après analyse statistique des résultats des études sur le sujet. (Issu de Bosquet et al, 2007).

Ce lien entre la réduction de charge pendant l’affûtage et la performance constitue donc un élément supplémentaire pour optimiser la préparation des athlètes en vue d’un objectif majeur. Ces considérations techniques sur le Tapering permettent également d’affirmer que l’affûtage précompétitif améliore sensiblement les performances futures.

1.5 Outils de monitoring

Suite à ce constat, il est intéressant de comprendre pourquoi et à l’aide de quels mécanismes les gains de performance se manifestent. La suite de cette introduction va donc s’intéresser aux facteurs physiologiques qui interviennent dans l’organisme pendant la période d’affûtage et aux études effectuées dans ce domaine car c’est en grande partie grâce à ces changements que le gain de performance peut s’expliquer. Dès lors, les chercheurs ont investigué le métabolisme des sportifs avec différents outils pour analyser les effets du Tapering sur l’organisme, avec pour but de trouver des déterminants de la performance.

Un premier déterminant important dans les sports d'endurance se situe au niveau du système cardiorespiratoire. Ainsi, plusieurs études se sont penchées sur les effets du Tapering sur la consommation maximale d'oxygène (VO_2max). Une recherche de Neary et al. (1992) sur des cyclistes testés sur 20km, après un Tapering de 7 jours, a démontré une augmentation de la VO_2max et une amélioration de la performance de 5.4%. D'un autre côté, certaines études démontrent un gain de performance sans amélioration de VO_2max . Cela dit, aucune étude sur le sujet ne démontre une diminution de la VO_2max . Une telle diminution serait donc synonyme d'une mauvaise gestion du Tapering.

La fréquence cardiaque est un autre aspect du système cardiorespiratoire. Une revue de Mujika et al (2004) répertorie les différentes études concernant la fréquence cardiaque. On ne constate aucun changement pour la fréquence cardiaque de repos et la fréquence cardiaque submaximale. En ce qui concerne la fréquence cardiaque maximale, des résultats différents et peu cohérents ont été apportés dans la littérature. La variabilité de la fréquence cardiaque (VFC) constitue aussi un outil potentiel et démontre un intérêt dans le suivi sportif car la VCF varie en lien avec les charges de travail (Pichot et al. 2002).

Les adaptations cardiorespiratoires constituent donc une information importante pour prédire l'état de forme de l'athlète, avec par exemple l'indice de VO_2max ou la variabilité de la fréquence cardiaque. Cependant les résultats peuvent se contredire et ne pas être fiables, c'est le cas de la fréquence cardiaque par exemple.

Shepley et al. (1992) ont étudié les effets de trois Taperings sur des coureurs de moyenne distance. Les auteurs ont calculé le volume sanguin total et le volume des globules rouges sur trois groupes de coureurs en fonction de trois régimes différents de Tapering. Le premier groupe est resté inactif pendant le Tapering, le deuxième groupe a effectué un Tapering à faible intensité et le dernier groupe à haute intensité. La **figure 8** représente ces résultats. En haut, le volume total de sang diminue après le Tapering avec repos (A), il reste inchangé lorsque le Tapering est effectué à faible intensité (B) et il augmente de manière significative lorsque l'intensité est élevée pendant le Tapering (C). Dans le graphique du bas, le volume des globules rouges suit la même évolution que le volume total, avec une augmentation significative lorsque l'intensité est élevée durant le Tapering. (C).

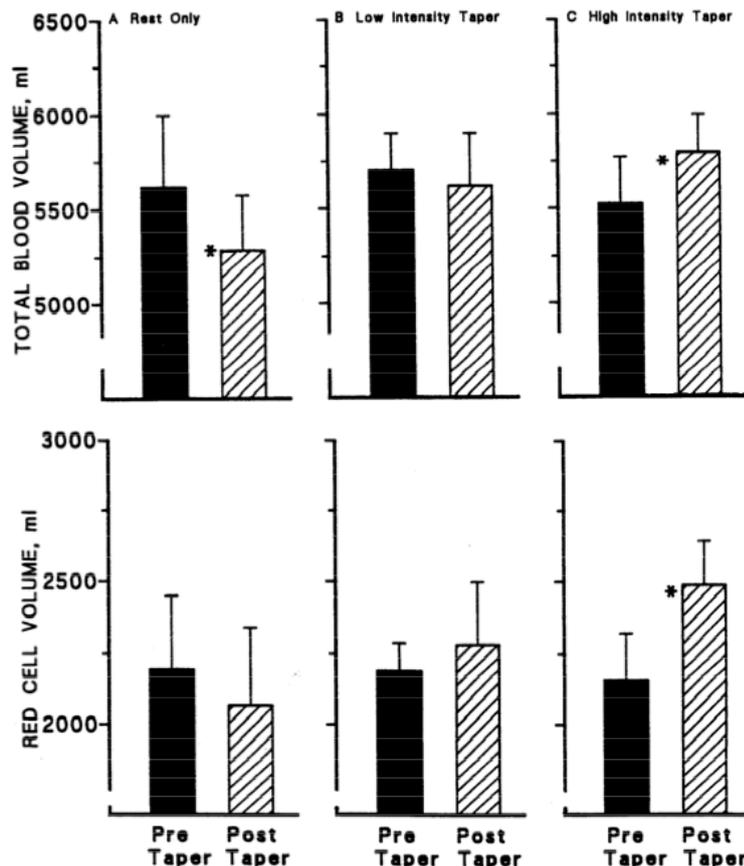


Figure 8 : Evolution du volume sanguin total (en haut) et du volume de globules rouges (en bas) en fonction du niveau d'intensité pendant le Tapering. (A= repos ; B= faible intensité ; C= intensité élevée). (Issu de Shepley et al, 1992).

Les lactates sanguins sont un autre déterminant physiologique important dans la performance. La concentration de lactate dans le sang représente la balance entre la production et l'élimination des lactates (Billat, 1996). Ce paramètre a été testé par Lacour et al. (1990) qui se sont penchés sur l'analyse des lactates sanguins à l'exercice. Après un effort maximal, le niveau de lactate sanguin est à son maximal. Selon cette étude, c'est un indicateur qui reflète l'efficacité de la glycolyse anaérobie, donc la capacité anaérobie que possède le nageur.

Mujika et al. (2000) ont utilisé ce paramètre et ont fourni des résultats intéressants concernant les lactates sanguins en lien avec la période d'affûtage. Cette étude démontre une corrélation entre la concentration des lactates sanguins et l'amélioration de la performance sur des coureurs de moyenne distance pendant le Tapering. La mesure des lactates sanguins après un effort maximal peut donc renseigner sur l'efficacité du Tapering et refléter une future performance.

Comme on vient de le constater avec ces différentes études, le fait de connaître les déterminants physiologiques de la performance est un avantage certain pour les athlètes et

leur encadrement qui préparent un objectif sportif important. Ils pourront ainsi analyser leur forme selon certains facteurs cités ci-dessus et au besoin varier leur programme de préparation. Cependant, ces techniques de monitoring sont la plupart du temps invasives et relativement difficiles à mettre en place. Elles peuvent également être coûteuses et contraignantes pour le sportif qui doit se soumettre aux analyses. Le souhait dans le monde de la préparation physique serait donc d'être en possession d'un éventail de paramètres fiables et rapides qui permettrait de prédire si l'athlète est en état de forme satisfaisante, pour prétendre à une bonne performance le jour J. Une piste pourrait se situer dans un outil qui émerge actuellement : la bioimpédancemétrie corporelle. Il s'agit d'une méthode qui se base sur la résistance électrique des tissus biologiques pour estimer la composition corporelle.

Utilisée jusqu'à présent essentiellement dans un cadre médical, cette méthode permet d'identifier différents troubles physiologiques et des pathologies chroniques en analysant l'évolution des indices corporels. Des appareils pratiques et utilisables sur le terrain ont vu le jour suite à un constat d'un manque d'impédancemètres professionnels, polyvalents, ergonomiques et peu coûteux. Ce type d'appareil a été testé sur des patients atteints d'une anorexie mentale (Moreno et al. 2007). Les résultats obtenus en terme de perte de masse sont semblables à ceux récoltés par une autre méthode (rayons X). De plus, la mesure est plus rapide, plus simple et mieux acceptée par les patients que pour des techniques de rayons. La bioimpédancemétrie a également été utilisée dans le cadre de dialyses pour suivre le volume hydrique des patients dans le but d'améliorer l'efficacité du traitement (Fenech, 2003). Il existe également d'autres applications, telles que la prévention de la fonte musculaire chez les sujets âgés ou le contrôle de l'état nutritionnel des patients.

La bioimpédancemétrie a fait récemment son apparition dans le milieu sportif avec un nouvel appareil pratique qui permet une investigation complète, rapide et non-invasive. Rebeyrol et al. (2010) ont testé un nouvel appareil de bioimpédance, le Z-Metrix® (Bioparhom©), sur neuf skieurs alpins dans le cadre de leur préparation physique. Le but de cette étude était de comparer les données issues du staff médical de ces athlètes et celles de leurs recherches par analyse de la composition corporelle par bioimpédance. Les indices étudiés sont la masse grasse, la masse musculaire, l'hydratation corporelle et un indice d'activité métabolique (IAM).

Les chercheurs ont comparé l'évolution de la masse grasse estimée à l'aide d'une pince à plis par le staff médical et leur méthode d'analyses par bioimpédance. Comme le montre la **figure 9**, la masse grasse calculée par le staff médical à l'aide de la pince à plis (FM_{skinfold}) tend à varier de la même façon que la masse grasse calculée par bioimpédance (FM_{BIA}) à différents moments de la saison.

Monitoring session	FM_{skinfold} (%)				FM_{BIA} (%)			
	Mean	±	Sd	Variations	Mean	±	Sd	Variations
N°1 (June, 2008)	11.1	±	2.2		12.8	±	1.2	
N° 2 (July, 2008)	11.1	±	3.3	=	12.2	±	2.5	↘
N° 3 (August, 2008)	11.1	±	2.6	=	13.3	±	1.3	↗
N° 4 (October, 2008)	11	±	2.2	↘	12.7	±	1.6	↘
N° 5 (November, 2008)	10.8	±	1.4	↘	12.3	±	0.9	↘
N° 6 (June, 2009)	10.7	±	1.9	↘	11.4	±	1.2	↘
N° 7 (August, 2009)	10.5	±	2.1	↘	11.1	±	1.2	↘
N° 8 (September, 2009)	12.2	±	2.2	↗	11.2	±	± 0.8	↗

Figure 9 : Evolution de la moyenne ± écart type (SD) de la masse grasse des sujets (%), en fonction de deux méthodes d'analyses. A gauche, les résultats du staff médical par pince à plis (FM_{skinfold}) et à droite, les résultats par biomimpédance des auteurs (FM_{BIA}). (Issu de Rebeyrol et al. 2010a)

Un deuxième paramètre figure dans cette étude, il s'agit du taux d'hydratation. La méthode par bioimpédance donne approximativement les mêmes taux d'hydratation que la méthode médicale qui tient compte de la densité des urines et la clairance en créatinine. Mais le plus important, pour les auteurs, réside dans le fait que la méthode de bioimpédance permet d'obtenir une idée quantitative de l'hydratation.

Dans cette étude, le Z-Matrix® a également permis de calculer un Indice d'Activité Métabolique (IAM). Il s'agirait d'une valeur qui représente l'état de forme, ou au contraire une fatigue de l'organisme (Barbosa-Silva et al. 2005). Pour tester la fiabilité de cet indice dans le domaine sportif, il a été comparé au ratio Testostérone/Cortisol que le staff médical utilise justement comme outil pour monitorer la fatigue des skieurs. Il semblerait que l'IAM soit un bon indicateur de fatigue, car il varie de la même façon que le ratio Testostérone/Cortisol. La **figure 10** montre l'évolution de l'IAM qui diminue en période de charge importante d'entraînement (mesure n°1 à n°4) et qui augmente ensuite pendant la

période d'affûtage qui nous intéresse tout particulièrement. (Mesure n°4 à n°5, avant la compétition).

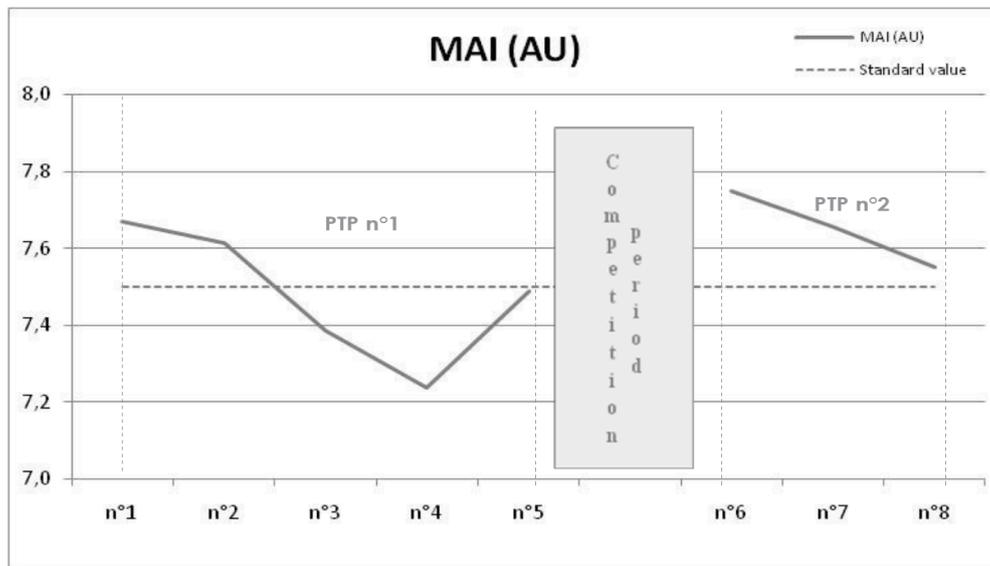


Figure 10 : Evolution de la moyenne de l'IAM des sujets pendant la saison, par rapport à une valeur standard (ligne pointillée). (Issu de Rebeyrol et al. 2010a)

Les auteurs ont donc pu conclure que les données calculées par bioimpédance, essentiellement la masse grasse et l'indice d'activité métabolique, peuvent, notamment, être utilisées dans la routine médicale et sportive pour des skieurs élites .

Une seconde étude de Rebeyrol et al. (2010) cherche à déterminer si les indices obtenus grâce à l'analyse par bioimpédance constituent des outils pour prédire l'aptitude ou la fatigue d'un athlète avant un objectif sportif important. Les chercheurs ont analysé une saison d'un coureur avec des mesures par bioimpédance à dix reprises pendant la saison. Ils ont comparé plusieurs indices corporels issus de l'analyse par bioimpédance et se sont focalisés sur l'IAM et sur la masse cellulaire (BCM), qui paraissaient prometteurs dans le suivi sportif. **La figure 11** représente l'évolution de l'IAM et de la BCM en fonction de la charge d'entraînement à différentes mesures durant la saison du coureur. Cet indice augmente fortement entre les deux premières mesures, lorsque la charge d'entraînement est élevée (mesure n°1 et n°2). Après la période de Tapering qui précède la compétition (mesure n°8), l'IAM a un niveau très bas comparé au reste de la saison. On apprend que suite à ce Tapering, le sujet a dû abandonner la course, qui constituait son objectif premier de la saison. Pour le deuxième objectif de la saison, l'IAM et la BCM sont élevés après l'affûtage (mesure n°10) et on apprend que le

coureur a remporté cette compétition. Dès lors, la baisse de l'IAM pendant le Tapering serait un indicateur pour prévenir les contre-performances et le surentraînement (Reyberol et al. 2010). Ces premiers résultats sur le sujet démontrent que la bioimpédancemétrie pourrait être un outil dans le suivi sportif. De plus, il semblerait que des indices corporels varient en fonction de la période d'entraînement et pourraient refléter un état de forme et une éventuelle performance le jour J. Toutefois, ce phénomène s'applique au cas d'un seul coureur et les analyses de performances ainsi que la quantification de l'entraînement sont limitées.

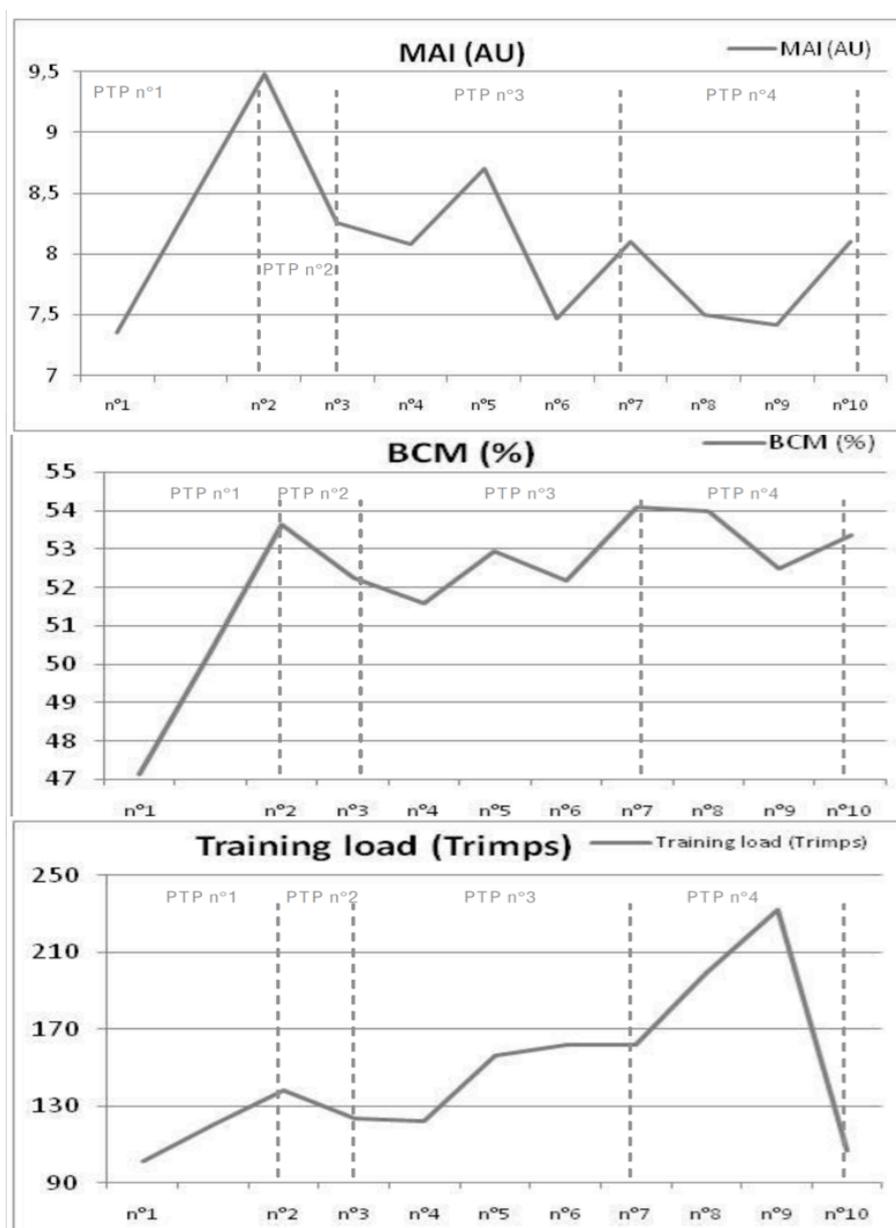


Figure 11 : Evolution de l'IAM (A), de la BCM (B) et de la charge d'entraînement (C), sur 10 mesures par bioimpédance pendant la saison. 4 phases sont représentées : PPT1 (entraînement intense et volume important), PPT2 (préparation spécifique), PPT3 (Périodes de compétitions), PPT4 (période de Tapering alternée avec les compétitions majeures). (Issu de Reyberol et al, 2010b)

1.6 Le cas de la natation

Les entraînements de natation obéissent aux théories de planification vues précédemment. Plusieurs cycles et plusieurs phases sont donc présents dans la préparation des athlètes. L'entraînement des nageurs débute par une phase de construction, pendant laquelle le corps subit des adaptations anatomiques en réponse au stress des séances. Suit une phase quantitative avec un accent sur la filière aérobie. C'est durant cette période que les charges d'entraînement augmentent graduellement. Pour tirer profit de ces adaptations aérobies, il est nécessaire de passer par une phase qualitative, avec une intensité élevée. Pour optimiser les adaptations induites par les séances d'entraînement, une période d'affûtage précompétitif est nécessaire.

Comme constaté précédemment pour les sports d'endurance en général, les changements physiologiques durant le Tapering donnent une tendance pour prédire la performance. Cela dit, il est difficile d'isoler une seule variable et chaque individu peut réagir différemment. C'est également le cas pour la natation. De plus, l'effort peut être différent des sports d'endurance et les théories sur les indices physiologiques ne sont pas systématiquement respectées. Ainsi, la $VO_2\text{max}$, qui est un indicateur de forme fiable pour des sports typiquement aérobies, ne démontre pas de variation chez les nageurs. (Van Handel et al. 1988 ; D'Acquisto et al. 1992). La variabilité de la fréquence cardiaque chez des nageurs de 400m montre une corrélation entre l'augmentation de la variabilité de la fréquence cardiaque après un cycle d'entraînement et les améliorations des temps de course (Garet et al. 2004). A l'instar des coureurs de moyenne distance de l'étude de Mujika et al. (2000) citée précédemment, le suivi d'une période de compétition permet également d'observer une corrélation entre la concentration des lactates sanguins et la performance chez des nageurs (Pelayo et al. 1996). Dans cette étude, les auteurs remarquent que la concentration augmente lorsque la performance est à son maximum et elle diminue en fin de saison lorsque le surentraînement se fait sentir et que les performances baissent. Egalement largement étudiée dans ce sport, la puissance musculaire augmente après une période d'affûtage dans la majorité des études effectuées chez des nageurs.

En ce qui concerne la bioimpédance, il n'existe pas d'études sur le suivi sportif en natation. Les deux études de Reyberol et al. (2010) citées précédemment constituent un point de départ, avec une étude pour déterminer la fiabilité du contrôle par bioimpédancemétrie et une étude de

cas concernant le suivi d'un coureur élite pendant sa saison. D'ailleurs, une telle analyse n'a, dans la mesure de mes connaissances, jamais été utilisée dans le suivi sportif. Il semble donc nécessaire aujourd'hui d'approfondir ce domaine, car nous ne savons pas si la bioimpédancemétrie peut être généralisée dans d'autres activités sportives, plus particulièrement en natation, qui constitue une discipline particulière. De plus, nous ne savons pas avec précision si cette tendance qu'ont certains indices corporels à évoluer est affectée par la diminution de la charge d'entraînement, ni si elle est en relation avec la performance.

1.7 Problématique

Pendant la préparation d'un athlète pour une compétition, la période d'affûtage permet de récupérer du stress des séances et d'optimiser ces aptitudes physiques en vue d'améliorer sa performance future. C'est une étape charnière et très importante pour les sportifs et les coaches durant la préparation. Pendant cette phase de récupération, des changements physiologiques vont se manifester dans l'organisme de l'athlète et peuvent être en lien avec cette période d'affûtage et la performance qui suit. Un nombre important d'études sur le Tapering ont donc été menées et les différentes caractéristiques de celui-ci sont connues. Nous savons également que le Tapering est une composante essentielle pour les performances qui suivent. De nombreuses études ont également investigué le métabolisme des sportifs pour comprendre les changements physiologiques qui se déroulent pendant cette période. Les outils utilisés pour monitorer ces changements physiologiques et les performances qui en découlent peuvent être invasifs et difficiles à mettre en place sur le terrain pour les athlètes. Il serait donc important d'avoir un outil pratique et fiable pour la préparation et le suivi de l'entraînement de sportifs.

Des analyses d'indices corporels par bioimpédancemétrie, qui, actuellement, sont surtout utilisées dans le milieu médical, constitueraient une piste pour le monitoring de la performance et de l'entraînement dans le domaine sportif. A l'heure actuelle, nous ne connaissons pas avec précision les effets de l'entraînement et plus précisément de l'affûtage sur les indices corporels. Il est également impossible aujourd'hui de prédire avec certitude l'état de forme et le potentiel de performance en fonction des indices corporels mesurés par bioimpédancemétrie.

La question de recherche est donc la suivante :

« Pouvons-nous, grâce au monitoring par bioimpédance, établir des liens entre l'évolution des indices corporels et l'évolution de la performance ou des charges d'entraînement chez des nageurs élites ? »

Pour répondre à ce questionnement général, il est nécessaire de passer par un questionnement et un cheminement plus précis :

- Existe-t-il réellement une diminution de charge pendant le Tapering pour cette étude ?
- Y a-t-il des gains de performance avec un Tapering précompétitif par rapport à une compétition sans Tapering ?
- Est-ce que les indices sont influencés par l'affûtage précompétitif ?

1.8 Hypothèses

Aux vues des études récentes de Reyberol et al. (2010) qui amorcent cette problématique, ma première hypothèse est que les variations des indices corporels sont corrélées aux variations de charges d'entraînement et aux performances.

A l'instar des recherches sur le sujet, ma deuxième hypothèse est que les charges d'entraînement pendant les trois phases de Tapering vont diminuer et que les performances vont certainement être améliorées après un affûtage précompétitif dans le cadre de cette recherche.

2 Méthodologie

Il s'agit ici d'une étude longitudinale qui analyse le suivi d'une saison de natation, en se focalisant sur trois périodes d'affûtage précompétitif qui précèdent trois compétitions nationales majeures. L'analyse va se dérouler selon trois axes :

- Suivi de l'entraînement pendant 40 semaines avec quantification de la charge.
- Analyse des variations des indices corporels avant/après les trois périodes d'affûtage.
- Analyse des gains de performance lors de trois championnats nationaux avec Tapering par rapport à des compétitions précédentes.

2.1 Sujets

Des nageurs du Lausanne Natation (LNA) ont été recrutés selon les critères d'inclusion suivants :

- Participer au moins à un objectif majeur, fixé par le club, c'est-à-dire à un des trois championnats nationaux durant la saison.
- Avoir effectué l'affûtage précompétitif de cette compétition nationale.
- S'être soumis aux tests par bioimpédance avant l'affûtage (mesure préTapering) et après l'affûtage (mesure postTapering)

En répondant à ces critères d'inclusion, les nageurs peuvent prétendre avoir participé à au moins un Tapering complet (affûtage, bioimpédance et performance), appelé « **T** ».

L'équipe du Lausanne Natation se composait pour cette saison de 23 nageurs élites. Au total, 21 nageurs ont effectué le test par bioimpédance au moins une fois durant les 40 semaines de cette étude. Parmi eux, 1 nageur a arrêté la compétition et un autre est parti s'entraîner à l'étranger. Sur les 19 nageurs restants, 13 sujets ont répondu aux critères d'inclusion et ont pu participer à l'étude. 2 sujets ont participé aux 3 **T**, 4 sujets ont participé à 2 **T** et 7 sujets ont participé à 1 seul **T**. Ces données sont précisées dans le protocole.

Ce sont donc 13 nageurs, 5 filles et 8 garçons, âgés de 16 à 23 ans qui ont été sélectionnés parmi le cadre élite du Lausanne Natation (LNA) pour participer à cette recherche. Les sujets

s'entraînent en moyenne et dans la mesure du possible 8 fois par semaine et sont soumis au même régime d'entraînement. Le **tableau 1** résume certaines caractéristiques des sujets.

Age [ans]	Poids [kg]	Taille [cm]	BMI [kg/m ²]	Entraînements hebdomadaires [heure]
19.3 ± 2.2	68.9 ± 6	177.5 ± 6.3	21.9 ± 1.3	9.7 ± 2.8

Tableau 1 : Données anthropométriques des 13 sujets de l'étude. Moyenne ± écart type (SD) de l'âge (ans), du poids (kg), de la taille (cm) et des heures d'entraînement hebdomadaires (heure).

2.2 Matériel

2.2.1 Quantification de la charge d'entraînement

L'entraînement est quantifié depuis le 21 février 2011 jusqu'au 27 novembre 2011. Cette période représente 40 semaines d'entraînement avec différents cycles et 5 semaines de pause. Le but de cette quantification est d'observer l'évolution des charges d'entraînement pour les 13 sujets pendant la saison et plus précisément pendant les 3 périodes de Tapering. L'étude n'est pas venue interférer le programme d'entraînement du club.

2.2.1.1 Travail dans l'eau

La première partie de la quantification consiste à analyser les entraînements de natation proprement dits. Dans ce travail, la méthode du kilométrage et des coefficients d'intensité (Mujika et al. 1996a) a été utilisée car elle s'avère pertinente en natation.

Il s'agit de comptabiliser le nombre de kilomètres effectués dans les différentes zones de travail (selon la vitesse de nage) lors de chaque entraînement et de les multiplier par un coefficient pondérateur correspondant. Une distance de nage à vitesse faible ne va pas être équivalente à cette même distance effectuée à vitesse rapide. Ce degré d'intensité a été calculé, par les auteurs, par un test préalable pendant la phase préparatoire de la saison. Cela consistait à tester la concentration de lactates sanguins durant un test progressif de plusieurs sessions de 200m. Les nageurs effectuaient des distances de 200m en se rapprochant progressivement de leur meilleur temps de compétition. Entre chaque 200m, la concentration de lactates sanguins était prise au bout du doigt chez les nageurs.

Ainsi, cinq niveaux d'intensité ont été établis :

- **Intensité 1** : vitesse de nage inférieure au seuil d'accumulation des lactates (~2mmol/L).
- **Intensité 2** : Vitesse égale au seuil (~4mmol/L).
- **Intensité 3** : Vitesse légèrement supérieure au seuil (~6mmol/L).
- **Intensité 4** : Intensité élevée (~10mmol/L)
- **Intensité 5** : Intensité maximum de sprint (estimée à 16mmol/L)

A l'aide de ce test d'intensité, Mujika et al. (1996a) ont décrit une échelle de stress avec cinq coefficients pour chaque niveau d'intensité selon les valeurs des lactates sanguins divisées par deux: coefficient 1 qui correspond à l'**intensité 1** ; coefficient 2 qui correspond à l'**intensité 2** ; coefficient 3 qui correspond à l'**intensité 3** ; coefficient 5 qui correspond à l'**intensité 4** et coefficient 8 qui correspond à l'**intensité 5**.

Par exemple, 1km à intensité 1 (vitesse faible) représente une charge de 1UA (1x1). 1km à intensité 5 représente une charge de 8UA (1x8).

2.2.1.2 Travail à sec (hors de l'eau)

Le travail de musculation hors de l'eau est important à prendre en compte car il fait partie intégrante de l'entraînement et il représente des charges de travail conséquentes. Toujours dans le même ouvrage concernant les effets de l'entraînement sur la performance, Mujika et al. (1996a) proposent une quantification pour le travail à sec. Il est important de se positionner sur la même échelle que pour la quantification dans l'eau, afin de pouvoir quantifier l'entraînement dans sa globalité.

Après des discussions avec les coaches et les athlètes, les auteurs ont déterminé qu'une session de 1 heure était équivalente à 2km de natation. Parmi cette heure d'entraînement, le 50% se déroule à basse intensité correspondant à 1 km de natation à intensité 1 (1 UA). Le 25% de la session concerne des exercices de force sub-maximale correspondant à 0.5 km de nage à intensité 4 (2.5 UA). Les derniers 25% de la session se composent d'exercices de force maximale et correspondent à 0.5 km de nage à intensité 5 (4 UA). Grâce à ces estimations, le coefficient pour le travail à été déterminé à 7.5, ce qui représente un travail intense.

Ainsi la quantification va pouvoir s'effectuer en multipliant le nombre de kilomètres à une intensité par le coefficient correspondant selon la formule suivante : (Mujika et al. 1996a).

$$W = 1 kmI + 2kmII + 3 kmIII + 5 km IV + 8 kmV + 7.5 H$$

W représente la charge totale d'entraînement hebdomadaire en UA. Les chiffres font référence aux coefficients et les chiffres romains aux différentes intensités qui multiplient la distance en kilomètres (km). H correspond au nombre d'heures d'entraînement de musculation, multiplié par le coefficient 7.5 du travail à sec.

Chaque jour d'entraînement a été quantifié de cette façon grâce aux fiches d'entraînement fournies par le club. La moyenne hebdomadaire a ensuite été calculée pour chaque sujet en fonction de leur présence aux différents entraînements afin d'observer les cycles de charge de travail durant la saison. A noter que les compétitions ont également été prises en compte pour obtenir une quantification plus précise possible. **La figure 12** représente le suivi de la charge d'entraînement globale des 13 sujets de l'étude, quantifiée sur 40 semaines d'entraînement, avec les 3 Taperings où une réduction de charge est observée.

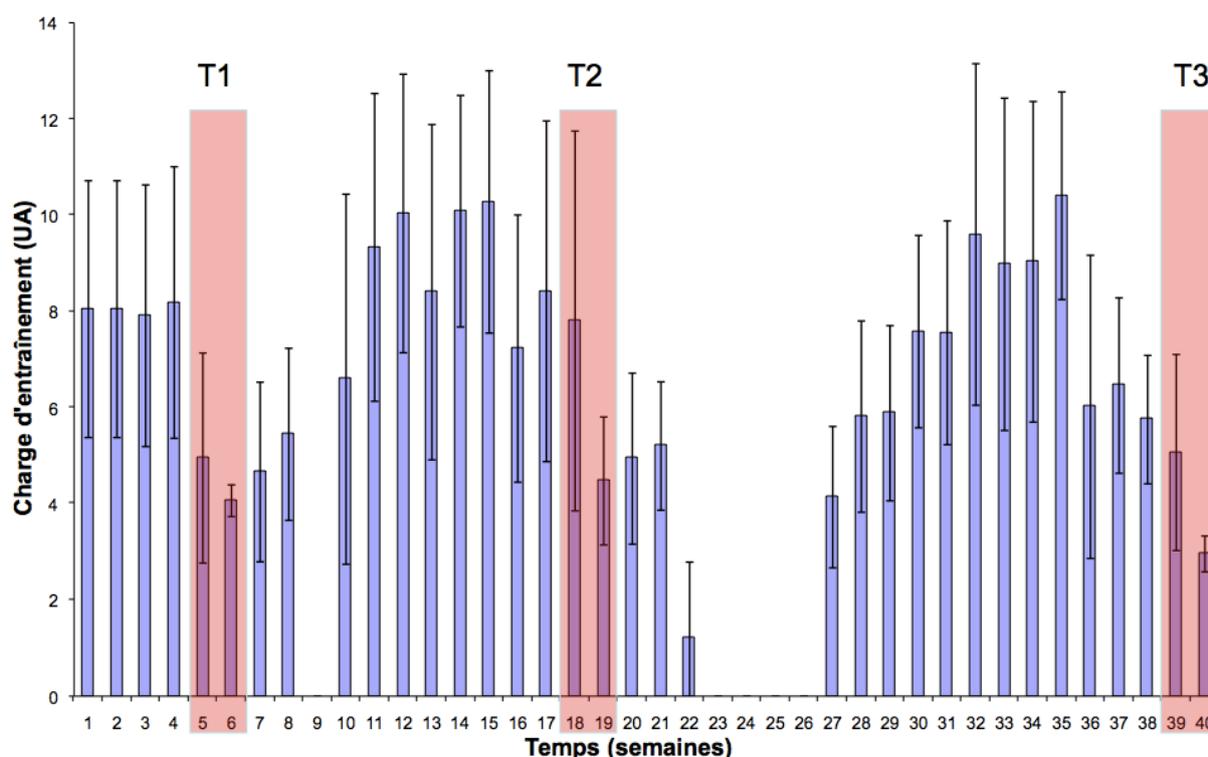


Figure 12 : Quantification globale de l'entraînement (UA) sur 40 semaines pour les 13 sujets de l'étude, avec les trois périodes de Tapering (T1, T2 et T3).

2.2.2 Suivi par bio-impédancemétrie

En parallèle à cette analyse de charge, le but de l'étude est d'analyser l'évolution des indices corporels avec une analyse par bioimpédancemétrie pendant les périodes de Tapering. Ceci est effectué avec un impédancemètre multifréquence, le Z-Metrix® (Société BioparHom©, France), représenté en **figure 13**. C'est un appareil qui fournit de nombreux indices corporels rapidement à partir de modèles et d'équations, qui a vu le jour suite à un constat d'un « *manque d'impédancemètres professionnels, polyvalents, ergonomiques et peu coûteux* » selon la société Bioparhom. Il est utilisé pour le suivi des sportifs au niveau du poids, de la masse grasse ou encore de l'hydratation. Il permet également d'affiner le coaching personnel pour la remise en forme, en contrôlant les différents indices corporels ou encore pour un suivi médical pour prévenir l'anorexie ou la dénutrition chez les patients. Pour cette étude, il me permettra de suivre ma cohorte de nageurs, de manière non invasive et sans perturber l'entraînement de ces derniers avec un appareillage complexe.



Figure 13 : Appareil Z-métrix® de la société Bioparhom©, utilisé pour cette étude. (Issue de Moreno, 2007)

Le principe d'une mesure par bioimpédance est de mesurer les propriétés électriques d'un tissu biologique (Moreno, 2007). Le Z-métrix® est relié à quatre électrodes placées sur le corps et il envoie un courant de faible intensité ($77\mu\text{A}$) multifréquence dans le corps. Comme le montre la **figure 14**, le courant va passer dans les différents compartiments du corps entre deux électrodes sources. Le courant va passer plus facilement dans les compartiments à

conductivité élevée (eau et électrolytes), alors qu'il rencontrera une résistance plus importante dans des compartiments isolants tels que les tissus adipeux. Deux électrodes réceptrices vont également être placées pour calculer cette opposition faite par les tissus et ainsi déduire les différents indices corporels.

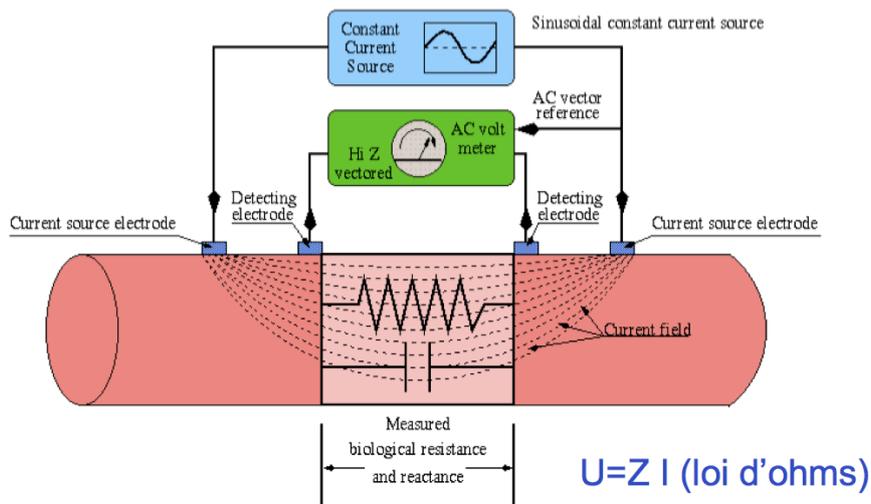


Figure 14 : Représentation schématisée du passage du courant électrique dans les compartiments du corps, entre 2 électrodes sources, en passant par 2 électrodes réceptrices. (Issu de Moreno, 2007)

La membrane des cellules se comporte comme un condensateur ayant des effets capacitifs (Kanai et al. 1983). Ainsi, à basse fréquence (< 5kHz), le courant ne pénètre pas dans la cellule, la membrane est isolante et des charges vont s'accumuler et donner des informations sur les indices extracellulaires. Lorsque la fréquence augmente, le courant passe dans la cellule et va permettre d'obtenir des informations extracellulaires, mais aussi intracellulaires, comme le montre la **figure 15**.

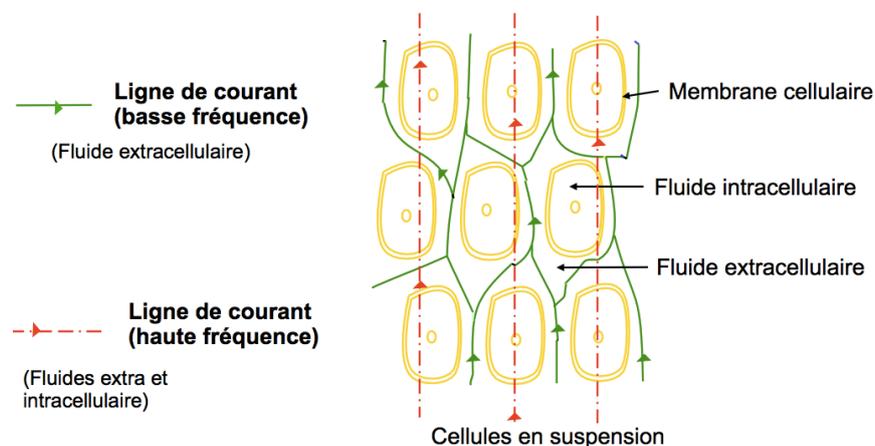


Figure 15 : Passage du courant électrique dans les tissus biologiques en fonction de la fréquence. (Issu de Moreno, 2007)

Par soucis de reproductibilité, les mesures se déroulent toujours dans les mêmes conditions, avant l'entraînement du soir, dans l'enceinte de la piscine et si possible toujours le même jour de la semaine (mardi) à la même heure. Les sujets passent à tour de rôle pour effectuer tout d'abord une pesée avec une balance traditionnelle puis une mesure de leur taille. Ensuite, quatre électrodes sont placées sur le sujet en position debout sur son hémicorps droit. Deux électrodes au niveau de la cheville (une au dessus de la malléole latérale et le long du muscle fibulaire), et deux électrodes au poignet (une au dessus de l'articulation métacarpo phalangienne et l'autre au dessus du styloïde ulnaire). L'espace entre les électrodes est important et a toujours été identique durant toute l'étude. L'appareil Z-metrix® est relié aux électrodes par des câbles et par câble USB à un ordinateur. Le lancement de la mesure s'effectue depuis un logiciel fourni avec l'appareil. La mesure n'est pas invasive et dure une minute par nageur. Cette mesure permet d'obtenir 65 indices corporels, détaillé dans le tableau des notations (**page vi**), issus d'équations. Quinze d'entre eux sont calculés directement de manière indépendante.

Pour chacun des trois Taperings, 1 mesure a été effectuée avant et 1 autre après cette période, dans le but d'observer des variations. Ceci représente donc 6 mesures en lien avec le Tapering. Douze autres mesures ont été effectuées pendant la saison afin d'obtenir un suivi général des indices corporels des nageurs sur le long terme.

2.2.3 Analyse de la performance

Pour mettre en relation ces indices corporels avec la performance, il est nécessaire d'analyser les différents gains de temps lors des courses. Cette analyse s'est effectuée directement pendant les compétitions.

Il s'agit de comparer les temps des nageurs durant les trois championnats nationaux avec les temps effectués lors d'une compétition antérieure sans Tapering. Les temps ont été récoltés à partir de la base de données de la fédération suisse de natation⁶. Une analyse par points a également été réalisée. Les points FINA sont des scores qui correspondent à un certain temps selon le sexe, les styles et les distances, en fonction du record de la saison précédente dans la discipline. Une bonne performance avec un temps faible va correspondre à un nombre élevé de points. Sur le même principe, les points FINA ont été récoltés et comparés entre les compétitions. Chaque performance (temps et points FINA) dans chaque style et pour chaque

⁶ <http://rankings.fsn.ch/index.php?page=meetSelect>

distance sera analysée individuellement et mise en relation avec une performance semblable précédente. La comparaison s'effectue toujours entre deux finales ou entre deux séries afin d'avoir des conditions semblables entre les compétitions. Les performances sont ensuite exprimées en pourcent. La compétition pré-Tapering représente le 100% et est comparée avec la performance du championnat nationale post-Tapering. Si les temps sont meilleurs, le pourcentage va augmenter, tandis que si les temps sont moins bons, il va diminuer par rapport à la base de 100%. Le calcul se résume à un pourcentage classique selon la formule suivante :

$$\Delta = \frac{Post - Pré}{Pré} \cdot 100$$

Δ = gain de performance (%)

Pré = Performance sans Tapering

Post = Performance avec Tapering (championnat national)

2.3 Protocole

A l'aide de ces trois axes d'analyses, il est possible d'investiguer, dans cette étude, les trois périodes de Tapering (T1, T2 et T3) qui précèdent les compétitions nationales. Parmi les 13 sujets de l'étude, 7 sujets ont participé à T1, 6 sujets à T2 et 8 sujets à T3. La **figure 16** présente le protocole détaillé sur les 3 Taperings.

T1 :

7 nageurs ont pu être testés lors de cette première période de Tapering. L'objectif de T1 est le championnat national de Genève du 31.03 au 03.04.2011 (fin de semaine 6). La charge d'entraînement pour chaque nageur a été quantifiée pendant la période d'affûtage de deux semaines avant la compétition, du 21.03 au 03.04.2011 (semaines 5 et 6). Cette charge moyenne sur deux semaines est comparée à la charge moyenne des quatre semaines précédant cette période (semaines 1 à 4), où les nageurs s'entraînent théoriquement à charge plus élevée (du 21.02 au 21.03.2011). La différence est ensuite calculée pour chacun des 7 nageurs présents puis représentée en pourcentage. Toujours pour T1, l'analyse par bioimpédance s'est déroulée selon le protocole expliqué ci-dessus. Une mesure a été prise avant l'affûtage, le 18.03.2011 (semaine 4) et une après l'affûtage, le 28.03.2011 (semaine 6). La différence entre la valeur préAffûtage et la valeur postAffûtage a été calculée pour chacun des 65 indices et

exprimée en pourcentage pour chaque nageur. En ce qui concerne l'analyse des performances pour T1, les résultats de la compétition nationale de Genève du 31.03 au 03.04.2011 (semaine 6) ont été comparés aux résultats d'une compétition précédente sans affûtage en semaine 3 (Montreux, les 12 et 13.03.2011). Selon la méthode décrite plus haut, les temps et les points FINA pour la même discipline ont été comparés entre ces deux compétitions pour chaque nageur, puis également indiqués en pourcentage. Ceci représente un total de **31 performances**.

T2 :

6 sujets ont répondu aux exigences des mesures pour ce deuxième objectif, lors du championnat suisse d'été de Tenero du 01 au 03.07.2011 (fin de semaine 19). La quantification s'est déroulée selon le même protocole que pour T1, c'est-à-dire une comparaison de la moyenne de charge d'entraînement pendant l'affûtage de 2 semaines, du 20.06 au 03.07.2011 (semaines 18 et 19) avec les 4 semaines précédentes, du 23.05 au 20.06.2011 (semaines 14 à 17) sous forme de pourcentage. Les indices corporels ont été relevés à l'aide du Z-metrix® avant l'affûtage, le 16.06.2011 (semaine 17) puis après l'affûtage le 29.06.2011 (semaine 19). Une comparaison individuelle, par sujet, a ensuite été effectuée pour analyser les variations entre ces deux mesures. Les performances du championnat national de Tenero (semaine 19) ont été comparées avec celles du meeting du Grand Lancy qui s'est déroulé les 10, 11 et 12.06.2011 (semaine 16) afin d'observer les gains de performance. Globalement, cela représente **21 résultats** comparables entre ces deux compétitions pour les 6 sujets

T3 :

Cette 3^{ème} et dernière période de Tapering a rassemblé 8 sujets. L'objectif fut le championnat national d'hiver d'Uster du 25 au 27.11.2011 (semaine 40). Comme le planning d'entraînement précompétitif des sujets reste identique, la moyenne des charges d'entraînement a une nouvelle fois pu être comparée entre la période d'affûtage de deux semaines qui s'est déroulée du 14.11 au 27.11.2011 (semaines 39 et 40) et les 4 semaines précédentes, du 17.10 au 14.11.2011 (semaines 35 à 38). Les indices corporels mesurés avant le Tapering, le 14.11.2011 (semaine 38) ont été mis en relation avec ceux mesurés après le Tapering, le 22.11.2011 (semaine 40). Les performances de chaque nageur lors de ce championnat national ont été comparées avec celles du meeting de Nyon (01-02.10.2011). **15 performances** comparables ont ainsi pu être analysées.

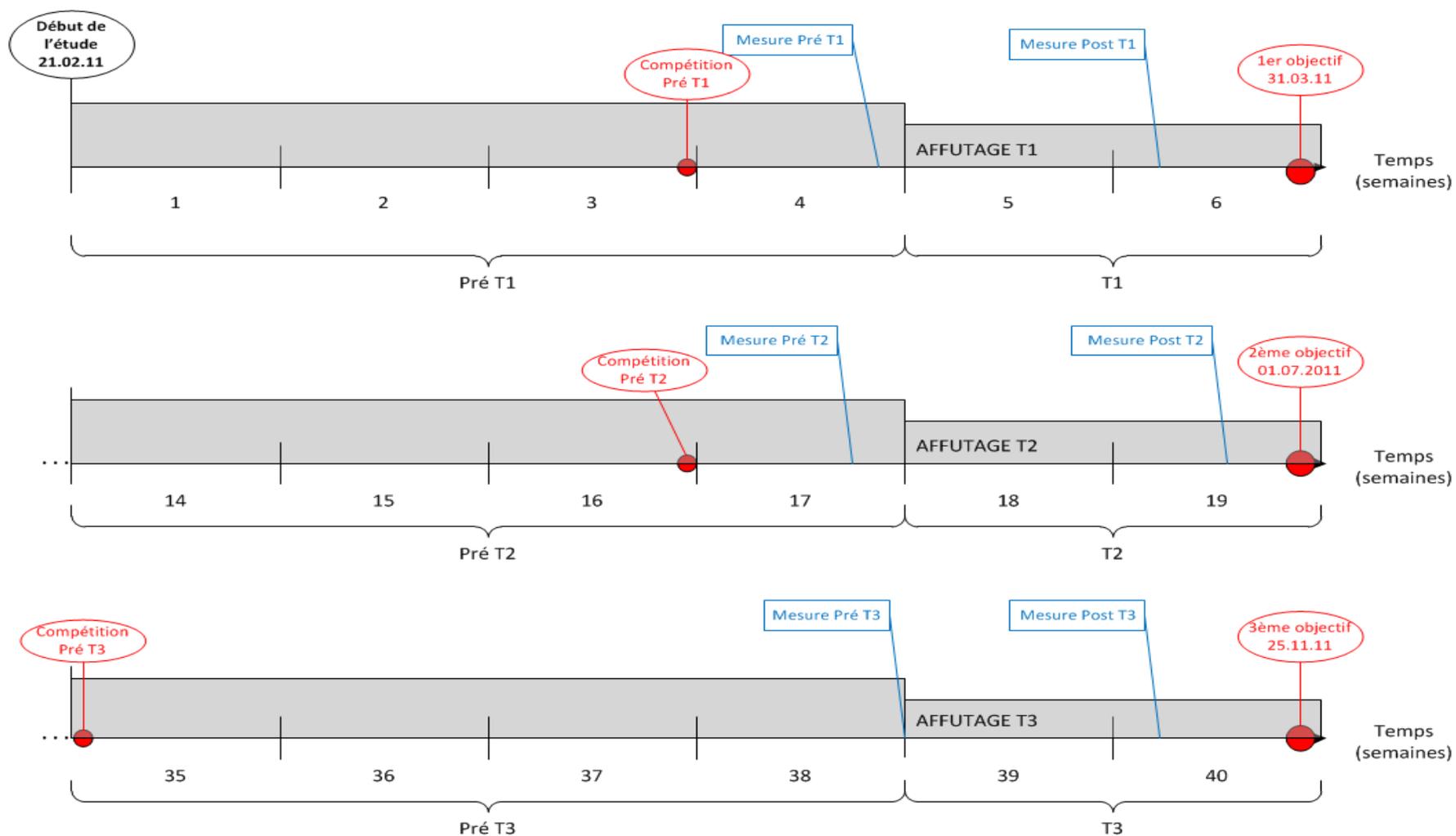


Figure 16 : Design expérimental des 40 semaines d'étude, avec représentation de T1 (semaines 5-6, N=7), T2 (semaines 18-19, N=6) et T3 (semaines 39-40, N=8) et respectivement les 4 semaines précédentes (Pré T1, Pré T2 et Pré T3). Les compétitions sont notées en rouge, les mesures par bioimpédance en bleu et les charges sont représentées en gris. L'analyse permettra de comparer la mesure préTapering et la mesure postTapering pour ces 3 outils.

2.4 Analyse des données

A l'aide de ce protocole et de cette récolte de données, durant les 40 semaines de cette étude, celles-ci vont être analysées pour chaque sujet et pour chaque T. Il s'agit d'exprimer la différence en pourcentage entre une donnée préTapering et une donnée postTapering pour les 3 outils utilisés (charge d'entraînement, performance et bioimpédance). Ainsi, chaque sujet aura l'évolution en pourcent de sa charge d'entraînement, de ses gains de performance et de ses différents indices corporels pour T1, T2 et T3 (**Tableau 2**). A partir de cette base, des analyses de corrélation peuvent être effectuées pour observer les liens entre ces différents facteurs.

	Sujets	Perf. temps (%)	Perf. pts Fina (%)	Charge (%)	IAM (%)	...65 indices
T1 (N=7)	S1	-0.55	1.81	-17.02	-2.46	
	S2	-3.31	10.72	-52.84	7.27	
	S3	-3.07	9.84	-44.00	3.43	
	S4	-3.19	10.27	-52.84	0.37	
	S5	0.12	-0.12	-51.30	-2.49	
	S6	-0.47	1.39	-31.07	-1.56	
	S7	-2.05	6.44	-44.00	13.01	
T2 (N=6)	S8	-1.24	3.65	-35.82	2.52	
	S2'	0.66	-1.98	-42.58	3.98	
	S5'	-2.97	9.58	-40.70	-6.43	
	S9	-1.68	5.20	-35.05	1.10	
	S6'	-2.80	8.93	-16.07	-3.86	
	S10	-0.71	2.18	-16.07	6.33	
T3 (N=8)	S11	-4.54	14.94	-43.95	-1.79	
	S12	-4.31	14.16	-52.80	-4.83	
	S4'	-1.29	1.63	-52.80	-6.21	
	S5''	-1.60	4.97	-51.26	2.90	
	S13	-4.59	15.38	-43.95	8.48	
	S9'	-0.42	1.30	-46.62	5.68	
	S6''	-1.55	4.82	-31.01	-4.03	
	S7'	-0.64	1.95	-43.95	-8.25	

Tableau 2 : Tableau préparatoire pour l'analyse statistique. Evolution (%) des performances (temps et points Fina), de la charge d'entraînement et des indices corporels entre les données préTapering et les données postTapering pour chaque sujet et pour chaque T.

En complément, une analyse globale par Tapering sera également effectuée. L'évolution moyenne entre préT1/postT1 (7 sujets), préT2/postT2 (6 sujets) et préT3/postT3 (8 sujets) sera analysée afin d'observer les effets du Tapering sur la performance, la charge d'entraînement et sur les indices corporels.

2.5 Analyse statistique

Pour répondre à la première hypothèse, un test de corrélation de Spearman a été utilisé en comparant les deltas (%) des charges d'entraînement, de la performance et des indices corporels pour chaque sujet sur chaque Tapering.

La variation de la charge d'entraînement entre les 4 semaines préTapering et les 2 semaines de Tapering a été analysée avec un test Anova à mesures répétées à un facteur. Lorsqu'une différence significative était détectée, une comparaison par paires a été utilisée avec un Test de Tukey (test post-hoc). Les différences de charges en pourcent ont également été analysées entre les trois Taperings entre eux à l'aide d'un Test de Mann-Withney.

Les valeurs moyennes des indices corporels préTapering et postTapering ont été analysées à l'aide d'un T-test apparié.

Les différences de performances préTapering et postTapering ont été analysées à l'aide d'un T-test apparié afin d'observer des gains de performance. Les gains en pourcentage ont ensuite été analysés entre eux pour les trois périodes de Tapering avec un T-Test.

Les analyses statistiques ont été effectuées avec les logiciels ExelStat (version 2012.1.01) pour les corrélations et SigmaPlot (version 11.0) pour les autres tests. Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type (SD) avec un degré de significativité fixé à $p < 0.05$.

3 Résultats

3.1 Charge d'entraînement et performance

Dans cette étude, les trois Taperings démontrent des diminutions significatives de charge d'entraînement entre la moyenne des deux semaines d'affûtage précompétitif et la moyenne des quatre semaines de baseline qui ont précédé. Pour T1, la charge d'entraînement est significativement réduite de 41.9% ($p=0.01$) pendant l'affûtage. Pour T2, la diminution de charge représente 31.1% ($p=0.045$). Une diminution de 45.8% ($p=0.007$) est observée pour T3. La **figure 17** représente cette baisse de charge pendant les trois périodes de Tapering. Il est intéressant de noter que la diminution de 41.9% pour T1 est significativement différente des 31.1% de T2 ($p=0.023$) et que celle de T3 (45.8%) est également significativement différente de T2 ($p=0.003$).

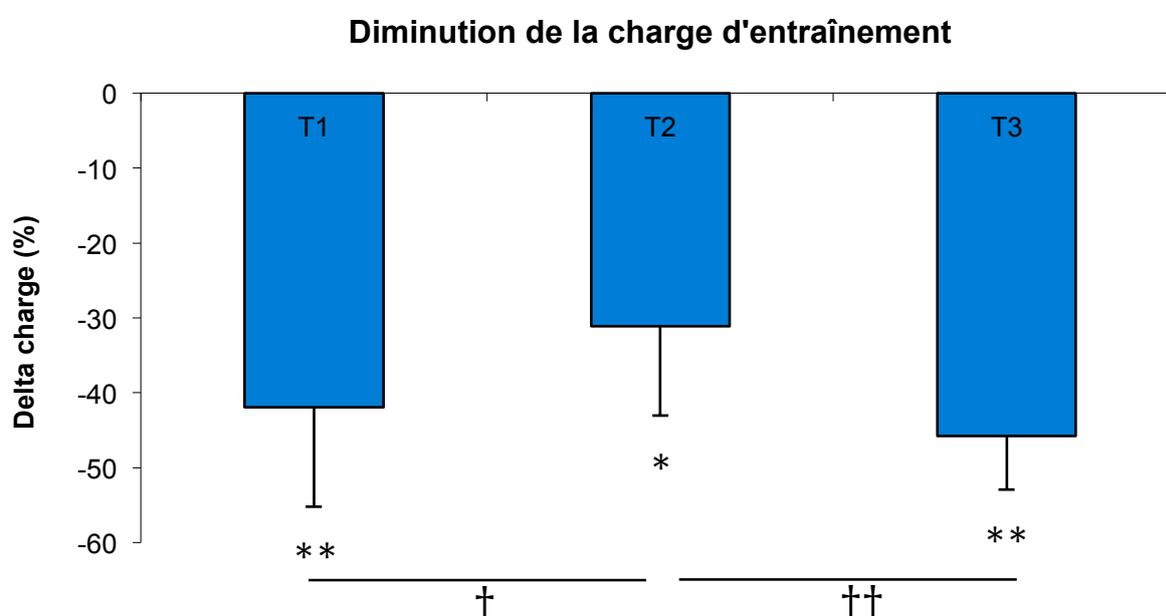


Figure 17 : Diminution des charges d'entraînement (%) pour T1 (N=7), T2 (N=6) et T3 (N=8). Différence significative pour T1 et T3 (** $p < 0.01$) et T2 (* $p < 0.05$) par rapport au baseline préTapering. Différence significative entre T1 et T2 († $p < 0.05$). Différence significative entre T2 et T3 (†† $p < 0.01$).

En parallèle, à la réduction de la charge d'entraînement, des gains de performance sont observés après les trois périodes de Tapering par rapport à la compétition précédente sans Tapering. Comme le montre la **figure 18**, le gain moyen des 7 sujets de T1 représente 1.8%

($p < 0.001$), le gain moyen pour les 6 sujets de T2 représente 1.24% ($p = 0.006$) et le gain moyen pour les 8 sujets de T3 représente 1.93% ($p < 0.001$).

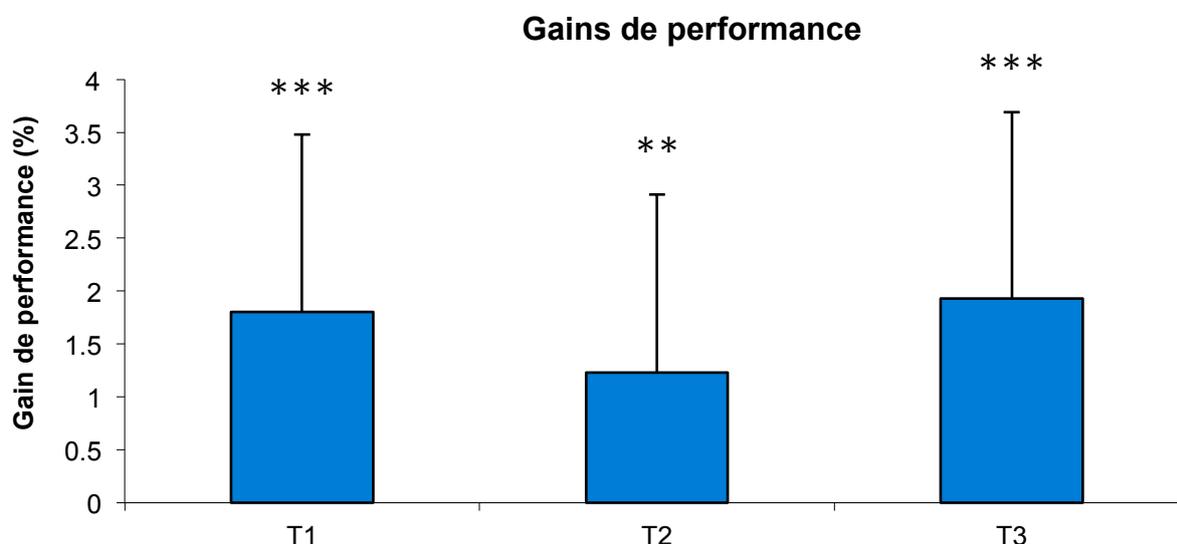


Figure 18 : Gains de performance (%) pour T1 (N=7), T2 (N=6) et T3 (N=8). Différences significatives pour les championnats nationaux de T1 et T3 (** $p < 0.001$) et T2 (** $p < 0.01$), par rapport aux compétitions préT1, préT2 et préT3.

3.2 Corrélation avec les indices corporels

Pour répondre à ma question de recherche, il est nécessaire de mettre en lien l'évolution des indices corporels pendant les trois phases de Tapering avec les résultats concernant les charges d'entraînement et les gains de performance. Le test de Spearman pour analyser les corrélations entre ces trois paramètres ne montre aucune corrélation systématique sur les trois Taperings pour aucun indice corporel. Le **tableau 3** expose les résultats de la matrice de corrélation de Spearman pour les indices corporels qui évoluent pendant le Tapering et ceux qui étaient annoncés comme indicateurs de fatigue. Un degré de corrélation élevé indique un lien entre les variables, tandis qu'un degré de corrélation faible n'indique aucun lien.

T1 (N=7)															
Variables (%)	IAM	MCAK%	CPC%	Re	Ri	Rinf	X250	X325	Ve	Vi	Vt	Hyd MNG	Hyd corps	Nae	Kee
Perf temps	-0.71	-0.57	-0.57	-0.71	0.68	-0.57	-0.52	-0.47	0.61	-0.68	0.39	0.57	0.54	0.39	0.39
Perf pts Fina	0.71	0.57	0.57	0.71	-0.68	0.57	0.52	0.46	-0.61	0.68	-0.39	-0.57	-0.54	-0.39	-0.39
Charge	-0.29	-0.13	-0.13	-0.44	0.62	-0.33	-0.35	-0.30	0.33	-0.62	-0.09	0.45	0.56	-0.09	-0.09
T2 (N=6)															
Variables (%)	IAM	MCAK (%)	CPC (%)	Re	Ri	Rinf	X250	X325	Ve	Vi	Vt	Hyd MNG	Hyd corps	Nae	Kee
Perf temps	0.94*	0.71	0.60	-0.31	-0.60	-0.49	0.60	0.60	0.09	0.49	0.49	0.60	0.60	0.49	0.49
Perf pts Fina	-0.94*	-0.71	-0.60	0.31	0.60	0.49	-0.61	-0.61	-0.09	-0.49	-0.49	-0.60	-0.60	-0.49	-0.49
Charge	0.09	0.32	0.23	0.06	-0.43	0.06	0.51	0.50	-0.26	0.35	-0.06	-0.17	-0.17	-0.06	-0.06
T3 (N=8)															
Variables (%)	IAM	MCAK (%)	CPC (%)	Re	Ri	Rinf	X250	X325	Ve	Vi	Vt	Hyd MNG	Hyd corps	Nae	Kee
Perf temps	-0.38	-0.14	0.00	-0.12	0.24	0.17	-0.44	-0.43	0.19	-0.24	-0.17	-0.67	0.07	-0.17	-0.17
Perf pts Fina	0.36	0.19	0.05	-0.02	-0.26	-0.24	0.47	0.47	-0.10	0.26	0.24	0.76*	0.02	0.24	0.24
Charge	0.18	0.43	0.28	-0.58	-0.32	-0.68	-0.18	-0.17	0.49	0.32	0.68	0.75*	0.72	0.68	0.68

Tableau 3 : Tableau de corrélation pour les indices annoncés comme prédicteurs de fatigue (IAM et MCAK) et pour les indices qui ont évolué pendant le Tapering. Résultats exprimés en coefficient de corrélation (r). Un « r » élevé signifie un lien entre les variables (*p<0.05), tandis qu'un « r » faible ne signifie aucun lien entre les variables.

3.2.1 Indice d'activité métabolique (IAM)

Nous pouvons observer une forte corrélation inverse entre l'IAM et la performance (temps) à T2 ($r=0.943$, $p=0.017$) : lorsque la performance augmente, l'IAM diminue. Pour T1 et T3 il n'existe pas de corrélation entre la performance et l'IAM et la tendance est même inversée, l'IAM augmenterait avec la performance. De plus, cet indice ne montre pas d'évolution significative après les Taperings et évolue globalement différemment d'un Tapering à l'autre (**Figure 19**). La masse cellulaire active (MCAk) suit exactement la même évolution.

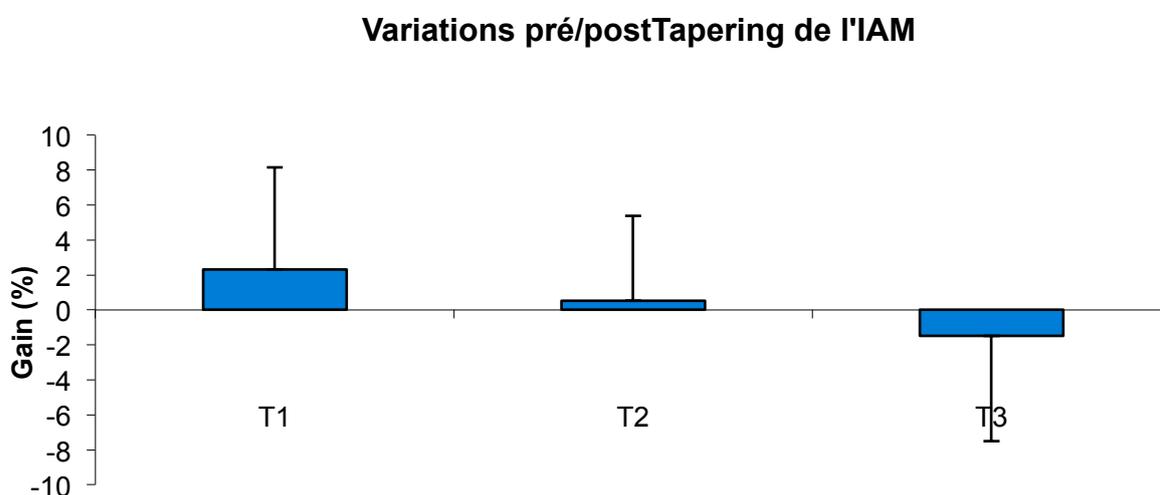


Figure 19 : Evolution de l'IAM (%) après les trois périodes de Tapering (T1, N=7 ; T2, N=6 et T3, N=8).

3.3 Analyse globale pré/postTapering

Bien qu'il n'existe aucune corrélation systématique entre les indices corporels et la performance ou la charge d'entraînement, l'analyse pré/postTapering globale permet d'observer une évolution de certains indices corporels pendant les trois périodes d'affûtage. La comparaison de la moyenne des indices préTapering avec la moyenne postTapering démontre des augmentations ou des diminutions significatives pour les sujets présents aux différents Taperings (**Tableau 4**).

3.3.1 Réactance (perméabilité des membranes)

Il est possible d'observer que la réactance à 325 kHz (X325) augmente significativement de 9.8% à T1 ($p=0.021$) et de 10.2% à T3 ($p=0.03$), mais aucune évolution à T2 (**Figure 20**).

X250 suit la même cinétique en augmentant de 9.5% à T1 ($p=0.02$), de 8.7% à T3 ($p=0.044$) et légèrement à T2 (1.3%) (**Figure 21**).

En se référant à la **figure 17**, nous observons que ces deux indices augmentent lorsque la charge d'entraînement est fortement réduite (T1 et T3) et restent stables lorsque la charge diminue de manière significativement moins importante (T2).

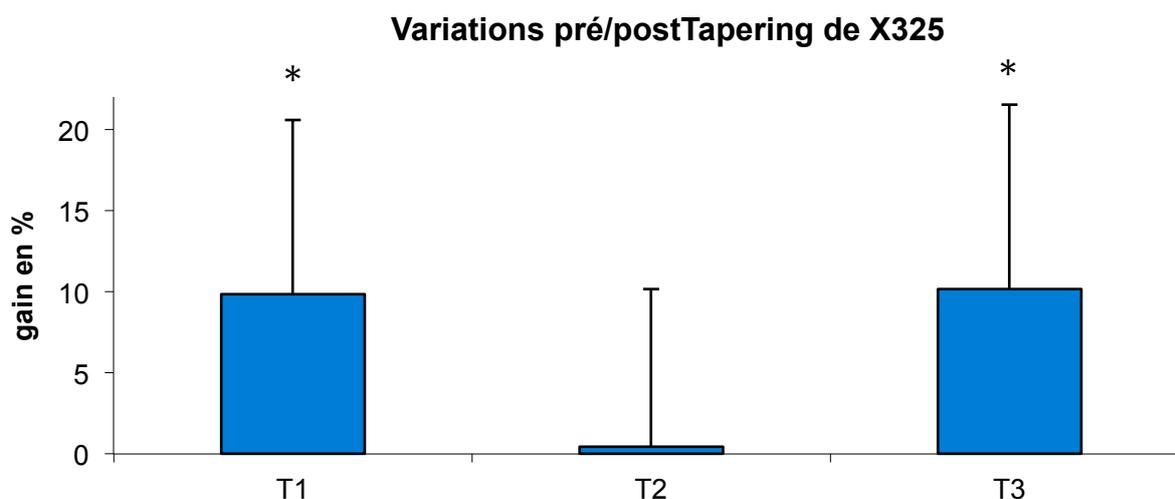


Figure 20 : Evolution de la réactance à 325 kHz (X325 (%)) après les trois périodes de Tapering (T1, N=7 ; T2, N=6 et T3, N=8). Différences significatives pour T1 et T3 ($*p<0.05$) entre la mesure préTapering et la mesure postTapering.

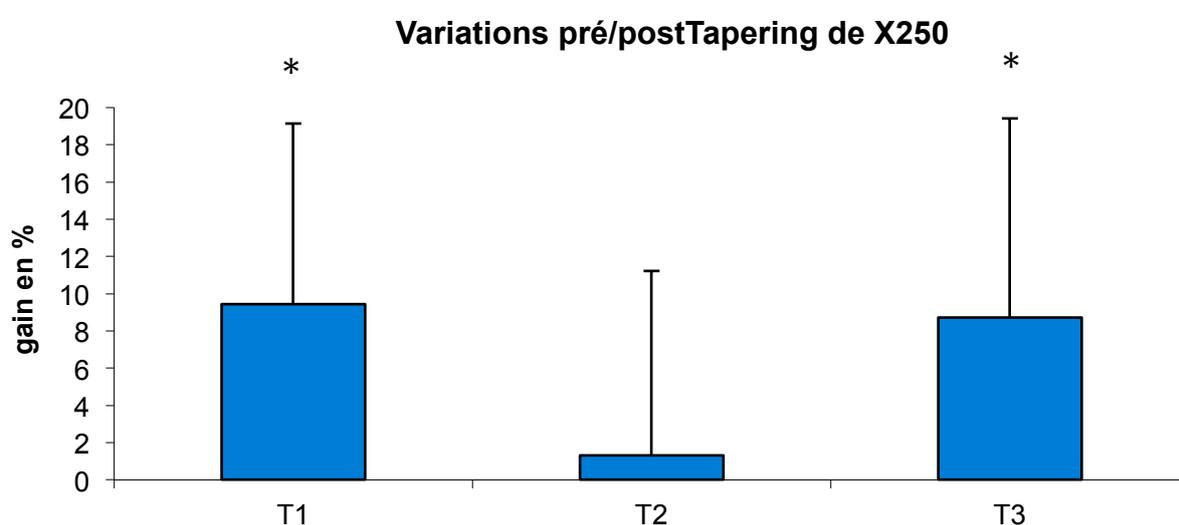


Figure 21 : Evolution de la réactance à 250 kHz (X250 (%)) après les trois périodes de Tapering (T1, N=7 ; T2, N=6 et T3, N=8). Différences significatives pour T1 et T3 ($*p<0.05$) entre la mesure préTapering et la mesure postTapering.

	T1 (N=7)			T2 (N=6)			T3 (N=8)		
	pré	post	Delta%	pré	post	Delta%	pré	post	Delta%
Poids (kg)	71.44 ± 3.95	71.87 ± 3.99	0.6	68.8 ± 8.86	68.37 ± 8.78	-0.34	69.15 ± 6.67	68.95 ± 6.28	-0.29
INDICES METABOLIQUES									
IAM (SU)	7.81 ± 0.59	7.99 ± 0.54	2.32	7.75 ± 0.8	7.79 ± 0.82	0.53	7.73 ± 0.95	7.62 ± 0.69	-1.48
MCAK (%)	56.46 ± 8.72	55.83 ± 8,72	-1.13	52.75 ± 8.52	52.13 ± 8.29	-1.17	52.64 ± 10.3	51.47 ± 9.48	-2.22
CPC (%P)	17.46 ± 2.35	17.26 ± 2.22	-1.15*	16.42 ± 2.24	16.25 ± 2.2	-0.99	16.82 ± 2.6	16.47 ± 2.44	-2.07
INDICES ELECTRIQUES									
Re (ohm)	413.87 ± 29.33	432.89 ± 37.44	4.6*	466.5 ± 58.95	488.8 ± 52.15	4.74*	437.65 ± 54.0	454.6 ± 57.07	3.89*
Ri (ohm)	1207.62 ± 109.46	1215.21 ± 111.76	0.63	1378 ± 128.68	1417 ± 101.47	2.82	1302 ± 195.48	1361 ± 144.15	4.58
Rinf (ohm)	307.99 ± 21.54	318.85 ± 25.95	3.53*	347.9 ± 47.55	362.7 ± 46.16	4.24*	322.9 ± 52.42	340.27 ± 48.64	4.42*
X5 (ohm)	33 ± 1.38	33.31 ± 1.50	0.93	29.58 ± 2.62	32.77 ± 2.46	10.8	26.69 ± 4.64	27.35 ± 2.46	18.68
X50 (ohm)	45.83 ± 2.47	48.87 ± 2.94	6.64	51.92 ± 3.14	54.39 ± 3.38	4.76	47.78 ± 1.93	49.6 ± 2.69	3.79
X250 (ohm)	25.86 ± 3.02	28.3 ± 3.22	9.45*	28.59 ± 3.10	28.97 ± 2.83	1.31	25.88 ± 2.16	28.24 ± 2.90	8.7*
X325 (ohm)	24.7 ± 3.42	27.13 ± 3.62	9.83*	26.7 ± 3.42	26.82 ± 3.12	0.43	24.06 ± 2.50	26.59 ± 3.12	10.16*
INDICES HYDRIQUES									
Ve (L)	19.49 ± 0.94	18.99 ± 1.09	-2.56*	17.95 ± 2.78	17.35 ± 2.49	-3.33**	18.34 ± 2.31	17.88 ± 2.26	-2.57
Vi (L)	29.6 ± 2.2	29.55 ± 1.92	-0.18	27.26 ± 2.56	26.52 ± 2.09	-2.70	28.25 ± 2.64	26.94 ± 2.14	-4.64
Vt (L)	47.91 ± 2.99	46.97 ± 3.02	-1.95**	43.69 ± 3.88	42.3 ± 3.47	-3.17*	44.64 ± 3.52	43.23 ± 3.30	-3.15*
Hyd MNG (%)	82.17 ± 3.67	80.3 ± 4.33	-2.28**	78.18 ± 4.43	75.91 ± 2.95	-2.91*	81.98 ± 3.34	79.34 ± 3.81	-3.23**
Hyd corp.(%)	67.09 ± 3.25	65.45 ± 3.1	-2.46*	63.34 ± 3.97	61.58 ± 2.91	-2.76*	64.13 ± 5.44	62.69 ± 5.07	-2.85*
INDICES IONIQUES									
Nae (mmol)	3338.8 ± 281.3	3260.9 ± 253.9	-1.95**	2978 ± 529.3	2883.6 ± 472.5	-3.17*	3053.8 ± 473.2	2957.7 ± 443.3	-3.17*
Kee (mmol)	4361.6 ± 402.4	4250.1 ± 363.2	-2.14**	3845.5 ± 757.1	3710.4 ± 675.8	-3.51*	3953.9 ± 676.8	3811.38 ± 634.09	-3.48*

Tableau 4 : Moyenne pré/postTapering (dans leur unité respective) ± écart type et différence (%) des indices corporels pour T1 (N=7), T2 (N=6) et T3 (N=8). En rouge, les indices qui diminuent significativement et en bleu ceux qui augmentent significativement après le Tapering (*p<0.05 et **p<0.01)

3.3.2 Indices hydriques

D'une manière générale, les indices hydriques tendent à diminuer après les trois périodes de Tapering. Le volume total d'eau (V_t) en litre diminue de 1.95% à T1 ($p=0.01$), de 3.17% à T2 ($p=0.034$) et de 3.15% à T3 ($p=0.038$). Le volume d'eau extracellulaire (V_e) en litre diminue de 2.56% à T1 ($p=0.025$), de 3.33% à T2 ($p=0.01$) et diminue de manière tendancielle à T3 ($p=0.062$). Le volume d'eau intracellulaire (V_i) en litre, quant à lui, ne diminue pas de manière significative pour le trois Tapering. Cependant une diminution tendancielle de 0.18% à T1 ($p=0.3$), de 2.7% à T2 ($p=0.1$) et de 4.64% à T3 ($p=0.08$) est observée. L'hydratation de la masse non grasse (MNG%) diminue de 2.28% à T1 ($p=0.01$) de 2.91% à T2 ($p=0.025$) et de 3.23% à T3 ($p=0.01$).

4 Discussion

4.1 Charge d'entraînement et performance

En étudiant les trois périodes de Tapering d'une manière globale avec les sujets présents ($N=7$ pour T1, $N=6$ pour T2 et $N=8$ pour T3), il est possible de remarquer que la charge d'entraînement moyenne est significativement différente pendant ces trois périodes par rapport au baseline préTapering de quatre semaines. Ceci signifie que les nageurs ont pratiqué un affûtage précompétitif efficace en diminuant la charge d'entraînement de 41.9% à T1, 31.1% à T2 et 45.8% T3. Après discussions avec le coach et en observant en détail les programmes d'entraînement, il est possible d'affirmer que la diminution de cette charge d'entraînement s'est effectuée essentiellement sur le volume et que l'intensité de l'entraînement a été conservée. Sur ce point, les nageurs ont donc été soumis à des Taperings optimaux puisqu'ils respectent les conclusions de Hickson et al. (1985) qui stipulent que l'intensité doit restée au même niveau, voir augmenter pour optimiser les performances.

La réduction optimale pour les nageurs se situe entre 41% et 60% de réduction du volume (Bosquet et al. 2007). Ainsi, T1 et T3 seraient optimaux et T2 aurait le moins bon affûtage car les charges d'entraînement ne sont pas assez réduites. Ce phénomène se vérifie car les nageurs de mon étude ont obtenu les meilleurs gains de performance à T1 (1.8%) et à T3 (1.93%). Un gain plus faible (1.24%) à été observé à T2, qui représente la diminution de

charge la plus faible. Il est intéressant d'observer que plus la charge d'entraînement a été diminuée, plus le gain de performance est important. Ainsi, les deux meilleurs Taperings (T1 et T3) correspondent aux meilleurs gains de performance. Ces derniers semblent cependant relativement faibles car un Tapering optimal peut aboutir à un gain de performance entre 0.5% et 6% (Mujika et Padilla, 2003). Ce faible gain peut s'expliquer par le fait d'avoir utilisé toutes les performances afin d'analyser un maximum de données et certaines ne sont peut-être pas représentatives et diminuent le pourcentage. Une analyse des performances sur la spécialité du nageur aurait pu être utilisée pour optimiser les résultats, mais il n'y avait pas assez de sujets pour se permettre une telle analyse dans ce travail. Toutefois, un pourcentage faible peut représenter un gain important sur le terrain (Mujika et al. 2002).

4.2 Corrélation avec les indices corporels

Pour rappel, l'analyse de Spearman n'a pas démontré de corrélations systématiques sur les trois Taperings analysés. Les résultats montrent que les indices corporels issus de l'analyse par bioimpédancemétrie ne sont pas liés étroitement à l'affûtage précompétitif, ni à la performance. Ainsi, une augmentation conséquente d'un indice ne va pas occasionner un gain de performance important et inversement. De la même façon, une diminution importante de la charge d'entraînement ne va pas démontrer une forte évolution d'un indice.

L'IAM est fortement inversement corrélé avec la performance à T2 ($r=0.943$, $p=0.017$), c'est-à-dire que plus l'IAM diminue, plus la performance est améliorée. Cependant T1 et T3 ne démontrent pas de corrélation ($r=-0.71$ et $r=-0.38$) et les tendances sont même inversées. Dans ce cas, plus l'IAM augmente, plus la performance s'améliore. De plus, le fort degré de corrélation est observé à T2, qui est le Tapering où la charge d'entraînement est la moins réduite (31.1%) et où le gain de performance est le plus faible (1.23%). Cette corrélation est donc certainement due au hasard et il n'est pas possible de généraliser ce résultat pour tous les Taperings. D'autres indices, en lien avec l'IAM (MCAk, MCAI, MEC) démontrent également des variations aléatoires, sans lien avec la performance, ni la charge d'entraînement.

Selon l'étude de Rebeyrol et al. (2010), l'IAM analysé chez 9 skieurs élites se comporterait comme le ratio Testostérone/Cortisol au cours de la saison. Ce ratio est effectivement décrit dans la littérature comme un indicateur de stress induit par l'entraînement (Adlercreutz et al. 1986), mais selon plusieurs études sur des nageurs, des gains de performance peuvent être observés sans changements concomitants de ce ratio (Flynn et al. 1994 ; Mujika et al. 1996b).

Il semblerait donc que d'autres facteurs influencent la performance et que cet indice n'est pas en lien direct avec celle-ci, ni avec la charge de l'entraînement, ce qui expliquerait cette absence de résultats pour l'IAM. Les variations des charges d'entraînement et des performances sont peut-être trop faibles entre les sujets et les indices corporels n'y sont sans doute pas sensibles. L'analyse par bioimpédance ne permettrait donc pas de monitorer avec précision les performances ni l'entraînement de nageurs élités avec les indices métaboliques tels que l'IAM ou la MCAk.

4.3 Analyse globale pré/postTapering

Suite à cette absence de corrélation, l'analyse globale, qui tient compte de l'évolution moyenne des indices corporels des sujets par Tapering, a apporté des renseignements supplémentaires. Elle a permis de mettre en évidence les tendances qu'ont certains indices corporels à évoluer pendant le Tapering. Cette analyse est certes moins fine, mais elle permet d'observer des évolutions significatives pour certains indices et donc de vérifier partiellement l'hypothèse de départ (**Tableau 4**).

Ainsi, la réactance à 250 kHz (X250) et la réactance à 325 kHz (X325) augmentent significativement après T1 et T3. Ces variations positives sont à mettre en lien avec la charge d'entraînement et la performance. Effectivement, comme expliqué ci-dessus, T1 et T3 représentent les meilleurs Taperings avec une diminution de charge respectivement de 41.9% et 45.8%. T2, qui représente une diminution significativement plus faible que T1 et T3, ne démontre aucune évolution pour X250 et X325. Il faut noter que la réactance à 5 ou 50 kHz (X5 et X50) ne démontre pas de changements significatifs et ne suit pas la cinétique de la charge d'entraînement. Ceci peut s'expliquer par le fait que des fréquences faibles ne permettent pas, à priori, de traverser les cellules en profondeur. Dans une étude sur l'anisotropie musculaire locale, Chin et al. (2008) concluent qu'une fréquence supérieure à 125kHz est nécessaire pour obtenir des analyses optimales et qu'une telle fréquence permettrait une meilleure application clinique. Dans le cas de cette étude, à 250 ou 325 kHz, il est donc probable que le courant traverse tous les tissus, y compris les tissus musculaires.

La réactance représente la perméabilité des membranes. Une réactance haute est synonyme d'une perméabilité élevée et inversement. Cette augmentation de la perméabilité après une

réduction importante de la charge d'entraînement signifie que les membranes des tissus sont sensibles à l'affûtage précompétitif.

Les pistes dans ce domaine sont exploratoires, mais la tendance voudrait que la perméabilité des membranes augmente pendant un effort d'endurance pour des sportifs élites (Moreno et al.2008). Ceci constituerait un mécanisme pour évacuer les déchets produits par l'organisme pendant l'effort. Une certaine fatigue pourrait alors s'installer lorsque la perméabilité baisse. Les résultats mentionnés plus haut vont dans ce sens car l'augmentation de la perméabilité des membranes après des Taperings optimaux (T1 et T3), avec une réduction importante de la charge d'entraînement, démontreraient une diminution du niveau de fatigue des athlètes et une régénération de l'organisme pendant cette période d'affûtage. Au contraire, un Tapering moins accentué en termes de réduction de charge (T2) n'occasionne pas de changements dans la perméabilité des membranes. La charge d'entraînement pendant le Tapering serait encore trop élevée pour que la fatigue de l'athlète disparaisse totalement et ceci expliquerait le faible gain de performance à T2.

Cette étude sur des nageurs élites apporte des informations complémentaires sur le sujet. Nous savons à présent que la perméabilité des membranes n'évolue pas seulement à l'effort, mais pourrait également jouer un rôle important dans la récupération et la régénération de l'organisme pendant le Tapering, sur le moyen terme. De plus, ces mécanismes membranaires, étudiés essentiellement dans des sports d'endurance, semblent aussi fonctionner dans le cadre de la natation avec des efforts plus intenses.

En parallèle, l'hydratation des sujets dans cette étude diminue après le Tapering. Ce résultat pourrait être logique chez des coureurs, car une perméabilité élevée va occasionner une meilleure circulation des fluides dans l'organisme et ainsi permettre à l'athlète de résorber les œdèmes qui sont intervenus à l'effort. Cependant, en natation, l'absence de contact ne provoque pas d'œdèmes et les volumes d'eau ne devraient donc pas diminuer. Au contraire, l'hydratation du corps devrait plutôt augmenter pendant le Tapering, car il est connu, aujourd'hui, qu'un effort provoque une déshydratation et une perte d'électrolytes dans l'organisme. Il est nécessaire de remplacer ces déficits pour éviter une déshydratation (Sawka et al.2007). Le Tapering constitue donc une période propice pour la réhydratation des athlètes avant une compétition. Cette baisse du taux d'hydratation n'est actuellement pas explicable et

peut être influencée par d'autres facteurs externes. De plus la circulation des fluides entre les milieux intracellulaires et extracellulaires n'est pas claire dans cette étude.

4.4 Limites

La première limite de cette étude est l'échantillon de sujets. Le nombre de sujets par Tapering est faible par rapport au nombre de nageurs au départ (7 sujets pour T1, 6 sujets pour T2 et 8 sujets pour T3). Le groupe de 23 nageurs du club s'est rapidement réduit suite aux différents critères d'inclusion et aux présences des nageurs. Il est effectivement très difficile de garder un nombre élevé de sujets sur une analyse d'une saison complète de 40 semaines. Les arrêts et les absences en sont la cause principale. Il aurait fallu une présence régulière des 13 sujets de l'étude aux trois Taperings, pour espérer obtenir des corrélations et d'avantage de résultats significatifs.

L'appareil utilisé pour l'analyse peut constituer une seconde limite. Bien que les mesures par bioimpédance aient été réalisées de manières reproductibles en effectuant toujours les mêmes manipulations, dans les mêmes conditions expérimentales, beaucoup de paramètres peuvent venir l'influencer. Tout d'abord, la mesure peut être quelque peu biaisée selon l'activité du nageur en général et plus particulièrement pendant la journée de la mesure. Effectivement, une ingestion abondante de liquide avant la mesure pourra influencer les résultats, essentiellement avec des boissons énergétiques ou à base de caféine. La prise de médicament peut également jouer un rôle et venir modifier les résultats. D'autres facteurs externes, comme le sommeil ou le stress, sont également importants à prendre en compte. En ajoutant à cela la marge d'erreur de l'appareil, certains résultats pourraient ne pas être représentatifs.

La quantification de l'entraînement peut représenter une troisième limite. Effectivement, il est difficile de quantifier individuellement chaque séance d'entraînement de manière très précise. La charge calculée n'est probablement pas ressentie de la même façon pour tous les nageurs et il est possible qu'elle ne représente pas exactement le travail réel du nageur. De plus, une partie de la quantification de la charge globale est estimée puis transposée à partir du travail à sec (musculature) et peut engendrer certaines imprécisions.

Généralement, il existe une multitude de facteurs qui viennent influencer la performance et qui créent une limite dans le suivi sportif. Ainsi, un nageur qui effectue une préparation

optimale avec un Tapering de qualité ne va pas forcément améliorer son résultat le jour J à cause de paramètres externes. Il est donc très difficile, du point de vue méthodologique, d'isoler une seule variable (Vollaard et al. 2006).

4.5 Perspectives futures

L'augmentation de la perméabilité des membranes cellulaires après une période de Tapering pourrait constituer un outil dans le contrôle de l'entraînement et plus particulièrement de l'affûtage précompétitif. Ce paramètre pourrait être utilisé afin d'accentuer ou de corriger la réduction de charge d'entraînement afin d'effectuer un Tapering optimal. Il serait donc important de le tester plus en détail pour comprendre le but exact de cette augmentation de perméabilité pendant le Tapering. Il serait aussi intéressant d'analyser cet indice sur différents types de Tapering avec des régimes différents, en agissant sur les variables de la charge d'entraînement (volume, fréquence). Il serait également judicieux de tester ce paramètre dans d'autres disciplines pour généraliser ce résultat car la natation est un sport particulier, avec un environnement hors du commun. De plus, les nageurs sont en position horizontale et ceci ne correspond pas aux autres sports d'endurance.

Comme mentionné plus haut, les indices annoncés comme prédicteurs de forme ou de fatigue tels que l'IAM ou la MCA ne sont pas en lien avec la performance ou la charge d'entraînement dans cette étude. La période de Tapering (2 semaines) est peut-être trop courte pour observer des variations. Le changement de régime d'entraînement entre le Tapering et le reste de la saison n'est peut-être pas assez important pour que ces indices soient sensibles à ces variations. Il serait donc intéressant d'observer le suivi de ces indices corporels pendant de plus grands cycles d'entraînement, avec une quantification et une analyse de performance précise sur un nombre important de sujets. Pour améliorer la compréhension de l'évolution de certains paramètres, il serait également judicieux de coupler les analyses avec des questionnaires de fatigue et de suivre de manière plus précise les sujets, en tenant compte de leur mode de vie et de leur environnement.

5 Conclusion

Le but de ce travail était d'établir des liens entre l'évolution des indices corporels, issus d'une analyse par bioimpédance, et l'évolution de la performance ou des charges d'entraînement chez des nageurs élités. Cette étude a investigué trois périodes de Tapering durant une saison de natation. L'entraînement a été quantifié sur quarante semaines, les temps de course ont été analysés lors de championnats nationaux et des mesures par bioimpédance ont été effectuées lors des différents affûtages.

Un tel protocole n'a pas permis d'obtenir les résultats escomptés pour des indices qui semblaient être des indicateurs de forme ou de fatigue (IAM et MCA). Effectivement, la performance en compétition est influencée par une multitude de facteurs (psychologiques, environnementaux) et il est donc difficile d'isoler un seul paramètre physiologique. Cependant, il est possible d'observer que la perméabilité des membranes est sensible à l'affûtage, malgré l'absence de corrélation. Lorsque les charges d'entraînement sont plus fortement réduites pendant cette période, la réactance des membranes cellulaires augmente significativement alors que lorsque les charges sont plus faiblement réduites, la réactance reste stable. Cette augmentation de la perméabilité membranaire pendant l'affûtage contribuerait à l'élimination du stress accumulé pendant les phases d'entraînement à charges élevées. Un tel indice pourrait renseigner sur l'efficacité du Tapering en termes de récupération. Il pourrait donc être utilisé par les entraîneurs pour contrôler la réduction de charge pendant l'affûtage afin de préparer au mieux l'athlète pour une compétition. Il est nécessaire, à présent, de tester ce paramètre sur d'autres disciplines et dans d'autres conditions pour en comprendre les effets exacts.

6 Bibliographie

6.1 Articles scientifiques

Adlercreutz H, Härkönen M, Kuoppasalmi K, et al. Effect of training on plasma anabolic and catabolic steroid hormones and their response during physical exercise. *International journal of sports medicine*. 1986;7:27.

Banister EW, Calvert TW. Planning for future performance: implications for long term training. *Can J Appl Sport Sci*. 1980;5(3):170–176.

Banister EW, Carter JB, Zarkadas PC. Training theory and taper: validation in triathlon athletes. *European Journal of Applied Physiology*. 1999;79(2):182–191.

Barbosa-Silva MCG, Barros AJD. Bioelectrical impedance analysis in clinical practice: a new perspective on its use beyond body composition equations. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2005;8(3):311–317.

Billat V. Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training. *Sports Med*. 1996;22(3):157–75.

Bosquet L, Montpetit J, Arvisais D, Mujika I. Effects of Tapering on Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2007;39(8):1358–1365.

Busso T, Candau R, Lacour J-R. Fatigue and fitness modelled from the effects of training on performance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 1994;69(1):50–54.

Calvert TW, Banister EW, Savage MV, Bach T. A Systems Model of the Effects of Training on Physical Performance. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. 1976;SMC-6(2):94–102.

Chatard J-C, Atlaoui D, Pichot V, et al. Suivi de l'entraînement de nageurs de haut niveau par questionnaire de fatigue, dosages hormonaux et variabilité de la fréquence cardiaque. *Science & Sports*. 2003;18(6):302–304.

Chatard J-C, Busso T, Barale F, Lacoste L. Quantification et modélisation de l'entraînement en natation. *STAPS. Sciences et techniques des activités physiques et sportives*. 1994;(33):7–17.

Chin AB, Garmirian LP, Nie R, Rutkove SB. Optimizing measurement of the electrical anisotropy of muscle. *Muscle & Nerve*. 2008;37(5):560–565.

D'Acquisto LJ, Bone M, Takahashi S, et al. Changes in aerobic power and swimming economy as a result of reduced training volume. *Swim Sci*. 1992:201–205.

Fenech M : Suivi des volumes plasmatique, interstitiel et intracellulaire pendant l'hémodialyse par bioimpédance multifréquence et mesure d'hématocrite Thèse de doctorat génie biomédicale, Université de Technologie de Compiègne, 2003

Flynn M, Pizza F, Boone J, et al. Indices of Training Stress During Competitive Running and Swimming Seasons. *International Journal of Sports Medicine*. 1994;15(01):21–26.

García-Pallarés J, García-Fernández M, Sánchez-Medina L, Izquierdo M. Performance changes in world-class kayakers following two different training periodization models. *European journal of applied physiology*. 2010;110(1):99–107.

Garet M, Tournaire N, Roche F, et al. Individual Interdependence between nocturnal ANS activity and performance in swimmers. *Med Sci Sports Exerc*. 2004;36(12):2112–2118.

Hickson RC, Foster C, Pollock ML, Galassi TM, Rich S. Reduced training intensities and loss of aerobic power, endurance, and cardiac growth. *J Appl Physiol*. 1985;58(2):492–499.

Kanai H, Sakamoto K, Haeno M. Electrical measurement of fluid distribution in human legs: estimation of extra- and intra-cellular fluid volume. *J Microw Power*. 1983;18(3):233–243.

Lacour JR, Bouvat E, Barthélémy JC. Post-competition blood lactate concentrations as indicators of anaerobic energy expenditure during 400-m and 800-m races. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1990;61(3-4):172–176.

Moreno M-V : Etude de la composition corporelle par bioimpédance sur des adultes et des enfants sains et pathologiques, Thèse de doctorat génie biomédicale, Université de Technologie de Compiègne, 2007.

Moreno M-V, Moreno G, Hubert F. Monitoring of Bioimpedance Data during Exercise in Cyclists (P247). *The Engineering of Sport* 7. 2008:517–524.

Moreno M-V, Djeddi D-D, Jaffrin MY. Assessment of body composition in adolescent subjects with anorexia nervosa by bioimpedance. *Medical Engineering & Physics*. 2008;30(6):783–791.

Mujika I, Busso T, Lacoste L, et al. Modeled responses to training and taper in competitive swimmers. *Med Sci Sports Exerc*. 1996a;28(2):251–258.

Mujika I, Goya A, Ruiz E, et al. Physiological and performance responses to a 6-day taper in middle-distance runners: influence of training frequency. *Int J Sports Med*. 2002;23(5):367–373.

Mujika I, Chatard JC, Padilla S, Yannick Guezennec C, Geysant A. Hormonal responses to training and its tapering off in competitive swimmers: relationships with performance. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 1996b;74(4):361–366.

Mujika I, Padilla S, Pyne D, Busso T. Physiological changes associated with the pre-event taper in athletes. *Sports Med*. 2004;34(13):891–927.

Mujika I., Padilla S. Detraining: Loss of Training-Induced Physiological and Performance Adaptations. Part I: Short Term Insufficient Training Stimulus. *Sports Medicine*. 2000;30(2):79–87.

Mujika I, Padilla S. Scientific bases for precompetition tapering strategies. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2003;35(7):1182.

Nearly JP, Martin TP, Reid DC, Burnham R, Quinney HA. The effects of a reduced exercise duration taper programme on performance and muscle enzymes of endurance cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1992;65(1):30–36.

Pelayo P, Mujika I, Sidney M, Chatard JC. Blood lactate recovery measurements, training, and performance during a 23-week period of competitive swimming. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1996;74(1-2):107–113.

Pichot V, Busso T, Roche F, et al. Autonomic adaptations to intensive and overload training periods: a laboratory study. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2002;34(10):1660–1666.

Rebeyrol J, Moreno M-V, Ribbe E, et al. Bioimpedance data monitoring in physical preparation: A real interest for performance of elite skiers for Winter Olympic Games 2010. *Procedia Engineering*. 2010a;2(2):2881–2887.

Rebeyrol J, Moreno M-V, Ribbe E, Vannicatte A. Case study: using monitoring of body composition data obtained by bioimpedance, in training of an elite male runner. *Procedia Engineering*. 2010b;2(2):3059–3064.

Sawka MN, Burke LM, Eichner ER, et al. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39(2):377–390.

Shepley B, MacDougall JD, Cipriano N, et al. Physiological effects of tapering in highly trained athletes. *Journal of Applied Physiology*. 1992;72(2):706–711.

Shona L. Halson, Asker E. Jeukendrup. Does Overtraining Exist?: An Analysis of Overreaching and Overtraining Research. *Sports Medicine*. 2004;34(14):967–981.

Smith DJ. A framework for understanding the training process leading to elite performance. *Sports Med*. 2003;33(15):1103–1126.

Thomas L, Mujika I, Busso T. A model study of optimal training reduction during pre-event taper in elite swimmers. *Journal of Sports Sciences*. 2008;26(6):643–652.

Van Handel PJ, Katz A, Troup J, Daniels J, Bradley P. Oxygen consumption and blood lactic acid response to training and taper. *Swimming Science V*. 1988:269–275.

Vollaard NB., Cooper CE, Shearman JP. Exercise-induced oxidative stress in overload training and tapering. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2006;38(7):1335.

Yamamoto Y, Mutoh Y, Miyashita M. Hematological and biochemical indices during the tapering period of competitive swimmers. *Swimming Science V*. 1988:269–275.

6.2 Ouvrages

Matveiev LP, Lacour D, Lacour JR. *Aspects fondamentaux de l'entraînement*. Paris: Vigot; 1983.

Viru AA. *Adaptation in sports training*. CRC Press; 1995.

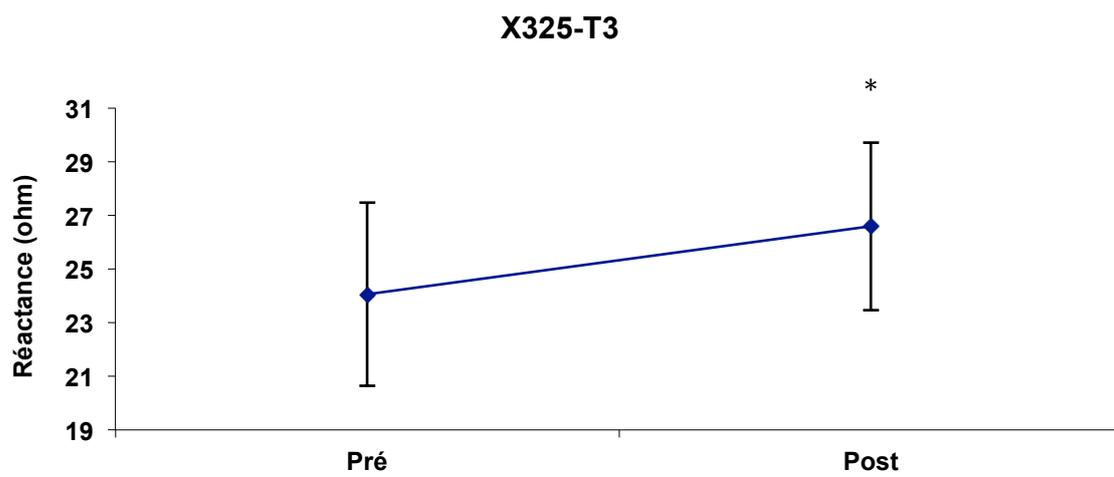
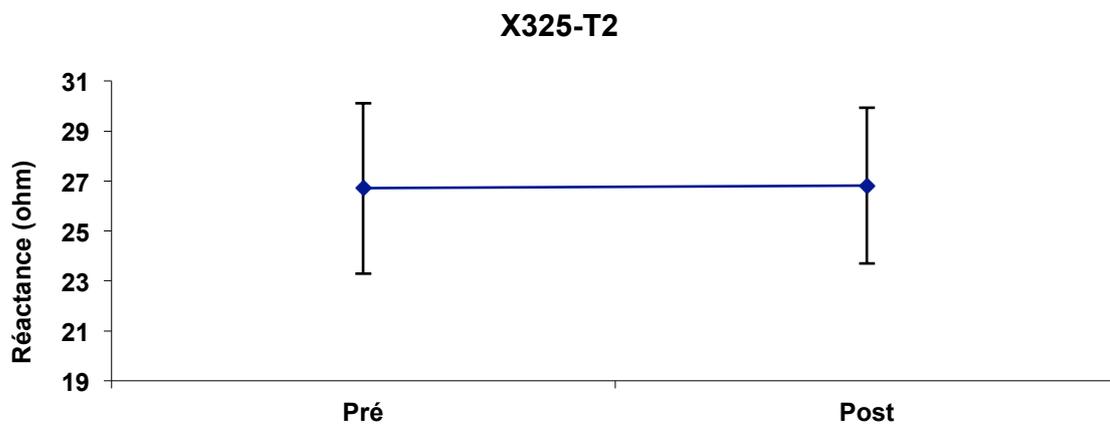
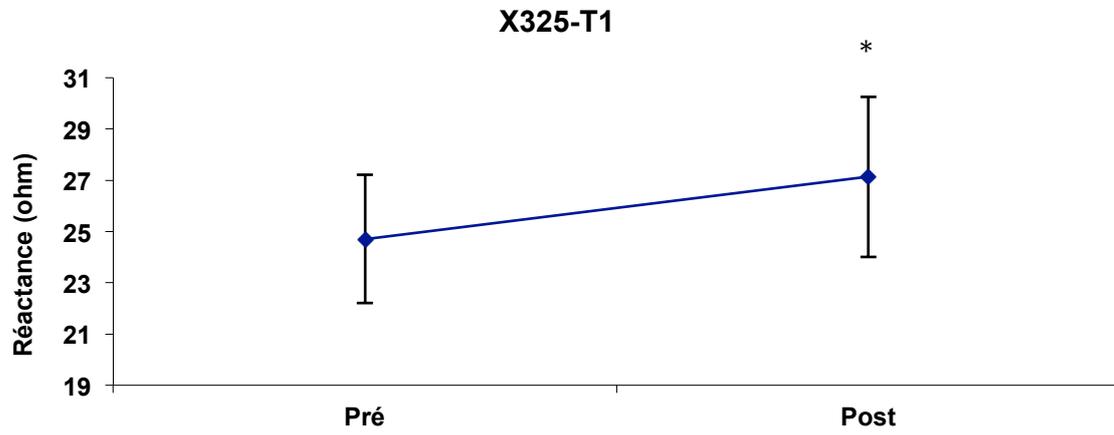
6.3 Sites internet

<http://rankings.fsn.ch/index.php?page=meetSelect>

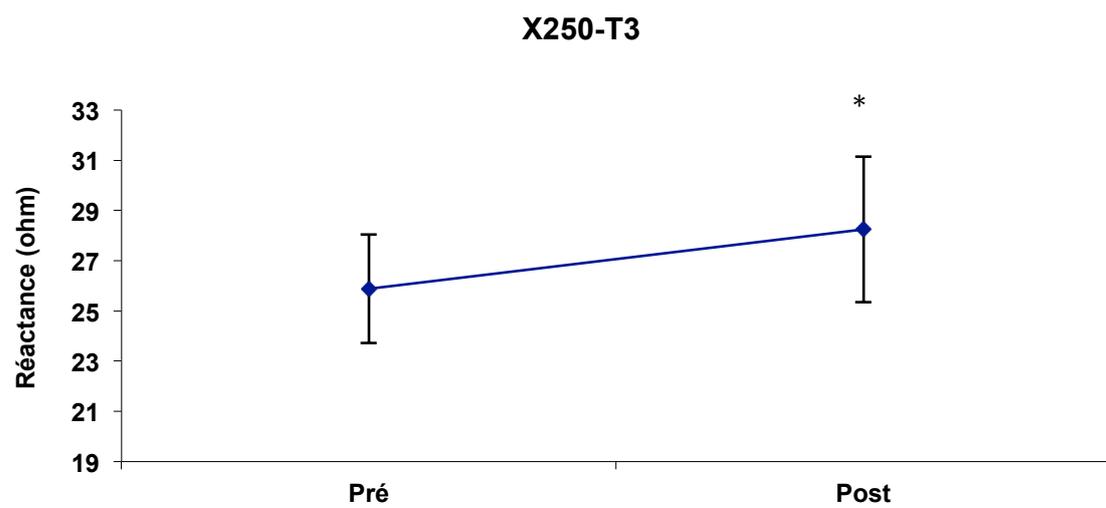
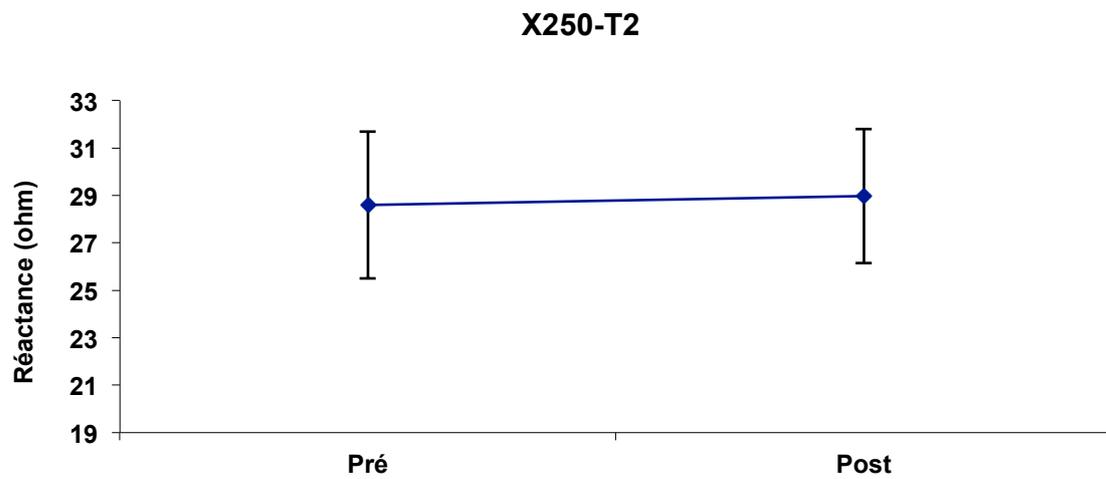
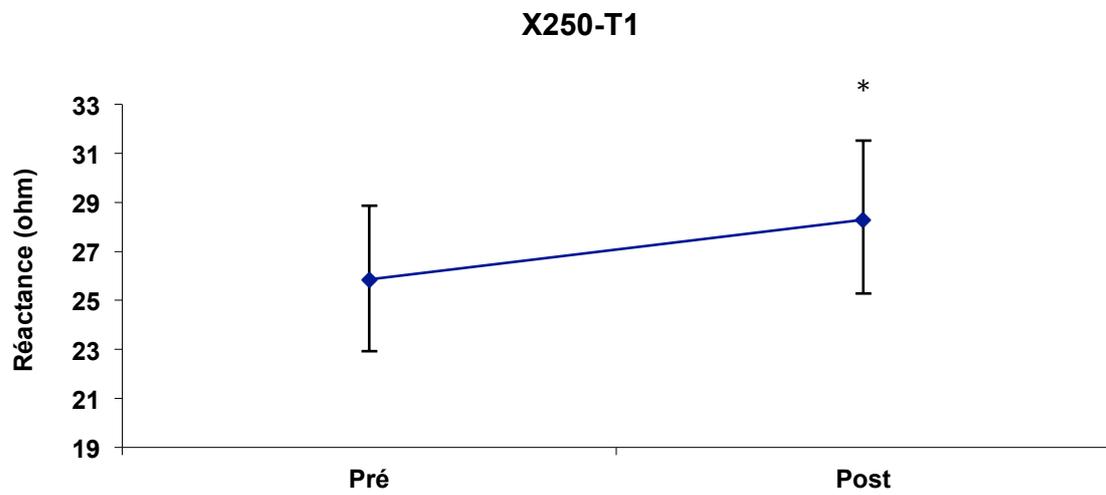
(Fédération suisse de natation, base de donnée des résultats)

7 Annexes

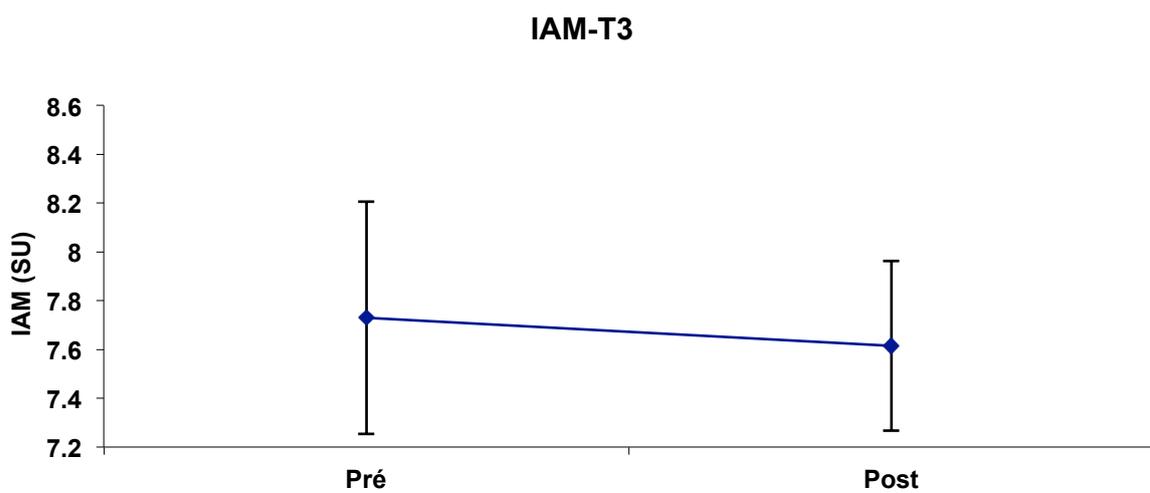
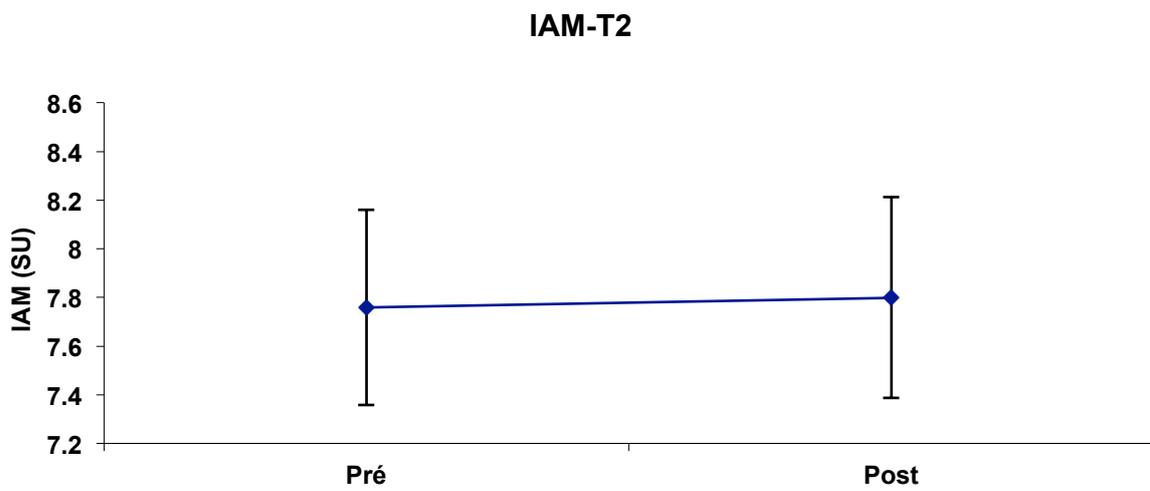
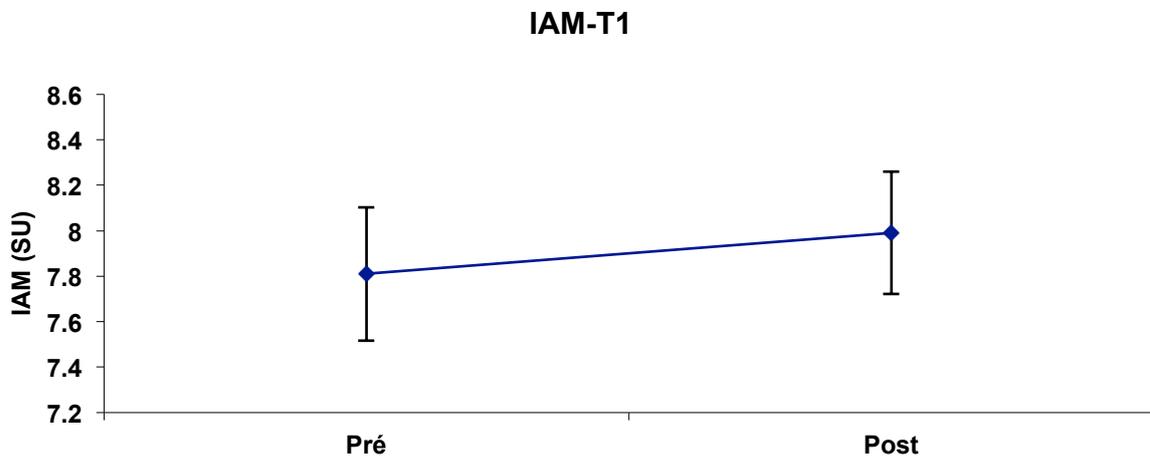
I. Evolution pré/postTapering de X325 (ohm)



II. Evolution pré/postTapering de X250 (ohm)



III. Evolution pré/postTapering de l'IAM (SU)



IV. Exemple de fiche d'entraînement utilisée pour la quantification

Lausanne jeudi 17 mars 2011 matin														Z1	Z2	Z3	Z4	V	
Total				temps	Dph	Dos	Brs	Fre	4N	Pull	Kick	edu	NC						
800					100	100	100	500			200		600	800					
2000	4n	300	100cr - 100 Dph,dos,br,cr (50kick - 50nc)		150	150	150	150				500	100	600					
	4x		100 edu - 25 pag - 25 nc		150	150	150	150				400	200	600					
		4x50	15 v chrono avec départ		200								200	140				60	
			15 v chrono virage			200							200	140				60	
			15 v après virage ! poussée du mur				200						200	140				60	
100			15 v 5 dernier mètres chono ! Touche au mur					200					200	140				60	
			souple					100					100	100					
2900					0	600	600	600	1100	0	0	200	900	1800	2660	0	0	0	240
					2900					2900				2900					

Lausanne jeudi 17 mars 2011 soir														Z1	Z2	Z3	Z4	V	
Total				temps	Dph	Dos	Brs	Fre	4N	Pull	Kick	edu	NC						
800		800	100cr 1004N											800					
50		50	pace dep 1															50	
800		2x400	pull plaqu el 1xcr resp 1-3-5											800					
			1xdos rotation épaule																
100		2x50	pace dep 1															100	
800		4x200	1x palme 25se/25 BB											800					
			1x palme ondul dos																
			1x 15 ondul SE																
			1x batt coté																
150		3x50	pace dep 1															150	
400		400	souplesse											400					
3100					0	0	0	0	0	0	0	0	0	2800	0	0	0	300	0
					0					0				3100					
Km/j	Total			Total	600	600	600	1100	0	0	200	900	1800	5460	0	0	0	300	240
6000																			
														Charge	5460		1500	1920	
															8880				
															8.8 UA				

V. Rapport de la mesure par bioimpédance



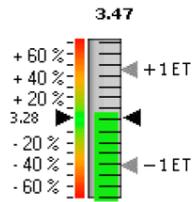
Rapport Express Corps droit

Praticien : Bioparhom

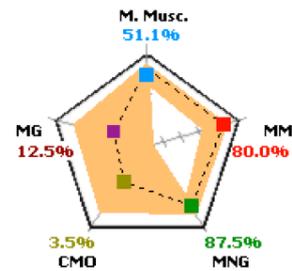
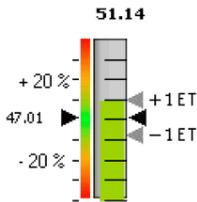
Bioparhom Savoie Technolac
12, allée des lacs de garde BP 238
73374 Le bourget du lac
Tél : +33 (0) 9.51.95.08.18

Client : [REDACTED]

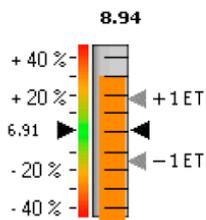
CMO % (% MNG)



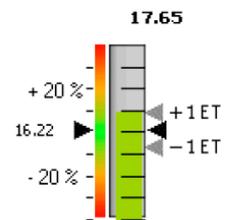
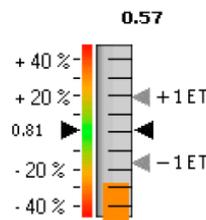
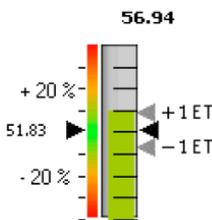
Mmus % (%P)



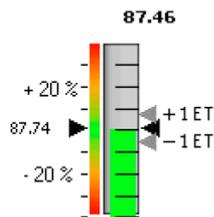
Indice activité métabolique



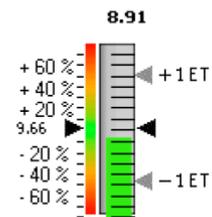
Masse Cellulaire Active de Kotler (% Disponibilité de la masse cellulaire - Contenu Protéique Total (%P))



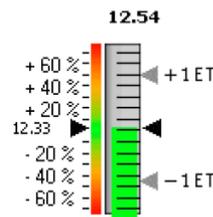
MNG % (%P)



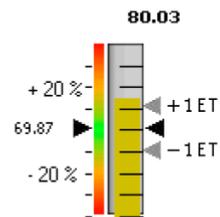
Masse grasse MG (kg)



MG % (%P)



MM % (%P)



VI. Base de donnée pour la récolte des performances

1994								
100m Dos	Séries	9.	1:07.36	458	50m	1:05.59	94.8%	12 mar 2011
50m Brasse	Séries	3.	30.82	647	50m	31.06	101.6%	13 mar 2010
50m Brasse	Finale	7.	30.97	638	50m			
50m Brasse	Finale directe	3.	30.99	637	50m			
100m Brasse	Finale	11.	1:09.65	594	50m	1:07.60	94.2%	16 jul 2010
100m Brasse	Séries	2.	1:09.82	590	50m			
50m Papillon	Séries	16.	28.58	483	50m	27.84	94.9%	12 mar 2011
100m Papillon	Séries	9.	1:04.46	461	50m	1:05.52	103.3%	11 jui 2011
100m Libre Laps	4 x 100m Libre, Finale directe	Relais	57.27	-	50m	57.37	100.3%	18 jul 2010
200m Libre Laps	4 x 200m Libre, Finale directe	Relais	2:08.14	-	50m	2:05.96	96.6%	2 jul 2010
100m Brasse Laps	4 x 100m 4 Nages, Finale directe	Relais	1:06.98	-	50m	1:07.33	101.0%	19 jui 2010
1994								
100m Libre	4 x 100m Libre, Finale directe	Relais	55.01	620	50m	54.66	98.7%	21 mai 2011
100m Libre	Séries	6.	56.27	579	50m			
200m Libre	Séries	5.	2:03.07	569	50m	2:02.10	98.4%	10 jui 2011
200m Libre	4 x 200m Libre, Finale directe	Relais	2:03.38	565	50m			
50m Dos	Finale directe	7.	29.75	527	50m	29.75	100.0%	21 mai 2011
50m Dos	Séries	6.	29.95	517	50m			
100m Dos	4 x 100m 4 Nages, Finale directe	Relais	1:03.70	542	50m	1:03.61	99.7%	22 mai 2011
100m Dos	Séries	2.	1:04.25	528	50m			
100m Dos	Finale	15.	1:04.32	526	50m			
200m Dos	Finale	5.	2:16.45	551	50m	2:19.30	104.2%	21 mai 2011
200m Dos	Séries	1.	2:19.33	518	50m			
50m Papillon	Séries	9.	27.95	516	50m	27.13	94.2%	31 mar 2011
- 1994								
100m Libre	Séries	3.	55.69	597	50m	54.03	94.1%	2 avr 2011
200m Libre	Séries	6.	2:03.41	564	50m	1:59.37	93.6%	1 avr 2011
50m Dos	Séries	10.	30.31	498	50m	29.71	96.1%	11 jui 2011
100m Dos	Séries	8.	1:06.95	466	50m	1:03.22	89.2%	28 mar 2010
200m Dos	Séries	6.	2:25.09	458	50m	2:14.79	86.3%	13 mar 2010
100m Libre Laps	4 x 100m Libre, Finale directe	Relais	52.82	-	50m	53.42	102.3%	12 jui 2011
100m Libre Laps	4 x 100m 4 Nages, Finale directe	Relais	53.25	-	50m			
200m Libre Laps	4 x 200m Libre, Finale directe	Relais	1:58.17	-	50m	2:01.72	106.1%	10 jui 2011