

**UNIVERSITE DE FRANCHE COMTE
FACULTE DE BESANCON**

Mémoire recherche pour l'obtention de la maîtrise Sciences et Techniques des
Activités Physiques et Sportives mention Entraînement Sportif.

*Etude de la variabilité de la fréquence cardiaque en fonction des
charges d'entraînement.*

Etudiant : **PIERRAT Alexandre**

Directeur de mémoire : **GRAPPE Frédéric**

Année universitaire 2003/2004

REMERCIEMENTS :

Je tiens particulièrement à remercier le Vélo Club d'Ornans pour sa collaboration. Notamment les 7 coureurs qui ont participé au protocole d'étude, mais surtout Benoît Cordier.

Je remercie également Frédéric Grappe qui m'a permis d'obtenir l'outil nécessaire à ce protocole, en l'occurrence un cardio fréquence mètre, et qui m'as permis d'aller au bout de ce mémoire.

Puis finalement je remercie Laurent Mourot sans qui rien n'aurait été possible.

SOMMAIRE

I.	INTRODUCTION	p3
1.	<i>Généralités</i>	p3
2.	<i>Revue littéraire</i>	p3
	A. Etude de la variabilité de la fréquence cardiaque	p3
	<i>Généralités</i>	
	<i>Méthode de traitement fréquentiel du signal</i>	
	<i>Méthode non linéaire de Poincaré</i>	
	B. Evaluation de la charge d'entraînement	p7
	<i>Méthodes objectives</i>	
	<i>Méthodes mixtes</i>	
3.	<i>Hypothèse de travail</i>	p8
II.	METHODE	p9
1.	<i>Sujets</i>	p9
2.	<i>Protocole d'étude</i>	p9
	A. Protocole	p9
	<i>Mesure de la FC</i>	
	<i>Mesure de l'indice de fatigue</i>	
	<i>Mesure de l'indice de capacité de performance</i>	
	<i>Quantification de la charge d'entraînement</i>	
	B. Contenu global d'entraînement des 6 semaines de tests	p12
4.	<i>Outil</i>	p12
5.	<i>Analyse et méthodes statistiques</i>	p12
III.	RESULTATS	p13
1.	<i>Relation entre l'IF et la charge de travail</i>	p13
2.	<i>Relation entre l'If et SD1</i>	p14
3.	<i>Relation entre l'IF et SD2</i>	p16

4. <i>Relations entre SD1 et SD2 avec la charge de travail</i>	p16
5. <i>Relations entre les valeurs normalisées SD1nu et SD2nu, avec la charge de travail et l'IF</i>	p17
6. <i>Relation entre l'indice de capacité de performance et SD1 puis l'IF</i>	p17
IV. DISCUSSION	p19
V. CONCLUSION, LIMITES ET PERSPECTIVES	p22
VI. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	p23

ANNEXES

Annexe 1 : *exemple de tableau de sensations perçues rempli quotidiennement par les cyclistes.*

Annexe 2 : *questions auxquelles devaient répondre les sujets afin d'évaluer leurs sensations perçues.*

Annexe 3 : *évaluation de l'indice de capacité de performance : tableau rempli par l'entraîneur et échelle de référence.*

RESUME

I. INTRODUCTION

1. Généralités

Le syndrome de surentraînement est une pathologie de plus en plus fréquente chez les sportifs de haut niveau. La première cause en est l'importance des charges d'entraînement imposées aux sportifs. Ce « burn out » est un état de dérèglement profond de l'organisme qui est extrêmement long à récupérer. De l'ordre d'une à plusieurs années. Il existe bien des méthodes de diagnostic mais qui sont vulnérantes pour le sportif. Il s'agit d'examen clinique tels que des prélèvements sanguins,... En général, ce diagnostic est posé une fois que le sujet est déjà souffrant de cet état de surentraînement.

Le but serait bien entendu de pouvoir détecter précocement ce surentraînement, afin de le prévenir, ce qui est intéressant en terme de gestion de l'entraînement et de performances réalisées par l'athlète, mais aussi en terme de lutte contre la tentation du dopage. Il sera par conséquent nécessaire d'utiliser des outils d'évaluation et de mesure utiles à cette détection.

La fatigue chronique liée à l'entraînement sportif touche l'ensemble de l'organisme : les performances sont diminuées, le système immunitaire est affaibli, le système nerveux végétatif voit son activité se modifier (Dixon et al, 1992). L'ensemble de ces atteintes, et plus particulièrement le fait que l'action du système nerveux végétatif soit perturbée, a conduit certains auteurs (Hedelin et al, 2000) à utiliser un indicateur indirect de l'action du SNV pour étudier les effets de l'entraînement et du surentraînement : il s'agit de l'analyse de la variabilité de la fréquence cardiaque (VFc).

2. Revue littéraire

A. Etude de la variabilité de la fréquence cardiaque

Généralités

Le rythme cardiaque n'évolue pas d'une manière constante au cours du temps. Il existe une fluctuation battement par battement autour d'une valeur moyenne que l'on peut appeler la variabilité de la fréquence cardiaque (Task Force of the European Society of Pacing and Electrophysiology, 1996).

Cette variabilité est due au mode de contrôle du rythme cardiaque. Le myocarde est influencé par le système hormonal et par le système nerveux végétatif. Cependant ces deux modes de contrôle ne fixent pas le rythme fondamentale de la fréquence cardiaque (Fc), ils ne font que le modifier. En effet, pour cela il existe des cellules pace maker dans le myocarde. Ainsi le réglage de la Fc s'effectuant principalement sous le contrôle neuronal par le système nerveux végétatif, est la résultante de deux composantes antagonistes. Une composante cardio accélératrice d'une part, puis une composante cardio déccélératrice d'autre part.

La composante accélératrice est défini comme l'activité sympathique. Son activité a pour effet d'augmenter la dépense d'énergie de l'individu en accélérant la Fc. Et a contrario, l'activité parasympathique a une propension à la conservation d'énergie, en baissant la Fc.

Ces deux composantes sont antagonistes et fonctionnent simultanément. Seules les proportions de la stimulation varient, notamment par la levée de l'inhibition parasympathique ou par la stimulation sympathique.

Il existe une multitude de méthode pour mesurer l'activité du système nerveux végétatif. Par exemple par la résistance cutanée, par mesure directe au niveau des nerfs commandants les muscles, par dosage hormonal de catécholamines, puis finalement par la méthode d'analyse de la variabilité des intervalles R-R de la Fc. C'est d'ailleurs plus précisément à cette dernière que l'on va s'attacher, car c'est une méthode non vulnérante, facile à mettre en œuvre et qui est validée au repos comme à l'exercice (Tulppo et al, 1996).

La variabilité de la Fc correspond à la fluctuation du rythme cardiaque battement par battement. On peut ainsi sur un sujet, soit en réalisant un électrocardiogramme, ou soit en mesurant avec l'aide d'un cadio fréquence mètre d'une précision suffisante, observer cette variation en mesurant tout d'abord chaque intervalle R-R. L'analyse de la variabilité de la fréquence cardiaque se fera ensuite par un traitement mathématique des données.

Méthode de traitement fréquentiel du signal

Une première méthode de traitement qui est largement utilisée et dite classique, consiste à récupérer ce signal (suite des intervalles R-R) et lui faire subir une transformée de Fourier pour le transformer en un signal fréquentiel (Yamamoto & Hughson, 1991). On obtient donc trois domaines de fréquence. Tout d'abord les hautes fréquences, se situant de 0.15 Hz à 0.40 Hz. Elles sont le reflet de l'activité parasympathique. Ensuite les basses fréquences, de 0.04 Hz à 0.15 Hz, qui nous montrent les activités parasympathiques et sympathiques. Puis finalement les très basses fréquences qui sont inférieures à 0.04 Hz, et qui sont quand à elles associées à la thermorégulation. On peut donc à partir de ces résultats calculer la balance sympathico-vagale qui est le rapport entre les hautes puis les basses fréquences. L'équilibre de ce système est atteint au repos pour une valeur voisine de 1 (Yamamoto & Hughson, 1991). Cette analyse fréquentielle peut être également représentée par un spectre de fréquences. Il est donc possible de mettre à jour chez des sujets des modifications de cette balance sympathico-vagale.

Dans le cadre de l'entraînement sportif, ces modifications peuvent être ainsi de deux types. Il peut s'agir d'une part d'une adaptation passagère à une très grande charge d'entraînement, puis d'autre part à un dérèglement plus profond qui est synonyme de surentraînement.

Un exercice intense aura donc comme conséquence une baisse de la variabilité de la Fc durant l'exercice, ainsi qu'une durée de 48 heures pour récupérer une balance sympathico-vagale normale, donc proche de 1. A plus long terme, en l'occurrence durant une période de forte charge d'entraînement d'environ quelques mois, les effets normaux de l'entraînement apparaîtront essentiellement au niveau d'une augmentation de l'activité parasympathique, donc d'une baisse de la Fc ou bradycardie, avec augmentation de la VFc.

Par contre les effets négatifs de charges mal supportées par l'athlète auront pour conséquences : soit une hypertonie parasympathique avec une baisse de la Fc de repos, une baisse de la Fc à exercice maximale, puis une baisse de la lactatémie maximale. Ou soit une hypertonie sympathique avec une augmentation de la Fc de repos, et une augmentation de la durée de récupération.

Cette hypertonie sympathique a été mis en évidence par une étude de V. Pichot en 2000, où il s'agissait de suivre des coureurs de fond sur une période de 4 semaines, dont 3 semaines de

charges de travail très élevées, puis 1 semaine avec des charges allégées, pour favoriser la récupération de la fatigue. Les résultats au bout de 3 semaines ont été une baisse de l'activité parasympathique, puis une augmentation de l'activité sympathique. On observe donc une hypertonie sympathique consécutive à ses charges d'entraînement très élevées. Par contre, suite à une semaine de récupération relative, le système nerveux à récupérer ses constantes normales, signe d'une bonne récupération de l'organisme. Pour conclure, nous pouvons dire que cette déréglementation du système nerveux végétatif est un processus normal dans l'adaptation physiologique de l'athlète à de grandes charges d'entraînement. Cependant il est nécessaire de contrôler l'évolution de ces paramètres afin de ne pas virer dans un état de déréglementation chronique du système nerveux végétatif, qui est le surentraînement.

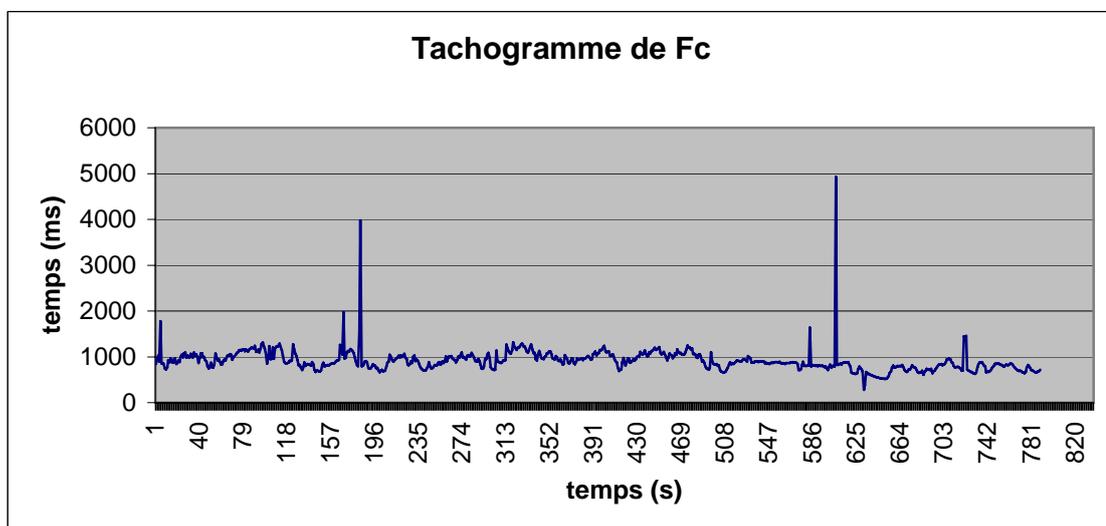
On peut ainsi distinguer deux phases dans le surentraînement. D'une part le surmenage, où il suffit de deux ou trois jours de repos pour récupérer, puis d'autre part le syndrome de surentraînement où le déséquilibre de l'organisme est plus profond. Et où il faut des années pour récupérer.

Méthode non linéaire de Poincaré

Une seconde méthode d'analyse de la variabilité de la Fc est la méthode non linéaire de Poincaré.

Il s'agit d'une représentation graphique, où chaque intervalle R-R est associé à son intervalle précédent. Les valeurs ainsi récoltées sur le cardio fréquence mètre sont représentées sur un graphique se nommant un tachogramme de Fc (figure a).

Figure a : exemple de tachogramme de Fc.



Cette figure nous montre un relevé de Fc réalisé avec un cardio fréquence mètre, d'abord en position couché puis ensuite en position debout. On peut distinguer clairement le changement de position à partir de 600 s, ce qui correspond aux 10^{1ère} minutes d'enregistrement. Les pics que l'on peut observer sur la courbe correspondent à des artéfacts.

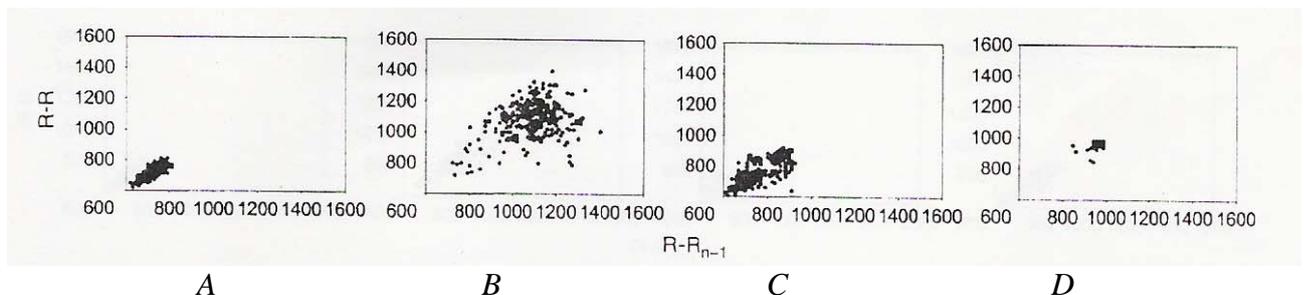
Les données sont ensuite traitées par l'intermédiaire d'un modèle mathématique (caractérisation de la dispersion des points du diagramme selon deux axes orthogonaux) (Tulppo et al, 1996). Il en résulte ainsi deux valeurs principales définissant l'activité du

système nerveux qui règle la fréquence cardiaque, qui sont SD1 puis SD2. En premier lieu SD1 qui est l'indice de variabilité à court terme, et qui est le reflet de l'activité parasympathique dans le nœud sinusal. Puis en second lieu SD2 qui est l'indice de variabilité à long terme, et qui reflète à la fois l'activité sympathique et parasympathique dans le nœud sinusal. On peut également obtenir les indices SD1nu et SD2nu, qui représentent aussi les indices SD1 et SD2 mais en unité normalisée, car elles prennent en compte l'évolution de la fréquence cardiaque de repos (Tulppo et al, 1996, 1998).

Cette méthode permet lors de sa représentation graphique de pouvoir faire des distinctions entre des groupes de populations différentes (Mourot et al, 2004). En effet, on peut distinguer des modèles types, caractérisés par les valeurs de SD1 et SD2, ainsi que par la distribution des valeurs. Par exemple des sujets sédentaires, entraînés, surentraînés, ...

On peut donc observer sur les 4 modèles suivant quelle peut être les types de résultats et de classements que l'on peut obtenir facilement avec l'analyse non linéaire de Poincaré (figure b).

Figure b : modèle de distribution.



Nous pouvons donc simplement par observation, de ces graphiques dire que le sujet B a une répartition de SD1 et SD2 relativement importante. Ce sujet étant donné l'importance de la variabilité de sa fréquence cardiaque à long et à court terme est donc considéré comme bien entraîné, ce qu'il est effectivement. Par contre les deux sujets C et D, ont une moindre répartition des indices SD1 et SD2, ce qui peut être considéré comme deux sujets souffrants de syndrome de surentraînement. Ce qui est d'autant plus remarquable chez le dernier sujet où là il s'agit vraiment d'un athlète sévèrement atteint. La variabilité de sa fréquence cardiaque à long et à court terme est sévèrement diminuée. Le sujet A est considéré comme sédentaire.

Cette méthode pourrait par conséquent être très intéressante dans la détection précoce du surentraînement chez les sportifs, notamment car c'est une méthode non vulnérante, et simple d'utilisation (Mourot et al, 2004).

Le problème est qu'actuellement on n'a pu caractériser les athlètes que dans les différentes phases, soit bien entraînés, soit souffrants déjà du syndrome de surentraînement. Il est nécessaire, au regard des méthodes d'entraînement moderne, en particulier du point de vue de l'intensité et du volume des charges qui sont de plus en plus importants de pouvoir faire le lien entre la variabilité de la Fc et ces charges d'entraînement, c'est à dire de pouvoir suivre l'évolution de l'état de fatigue des athlètes afin de pouvoir prévenir l'installation d'un état de surentraînement.

B. Evaluation de la charge d'entraînement

Il existe diverses méthodes d'évaluation de la charge que l'on peut classer en deux groupes. D'une part, les méthodes objectives, puis d'autre part les méthodes mixtes.

Méthodes objectives

Les méthodes objectives se caractérisent par l'utilisation de paramètres physiologiques comme la Fc de repos, Fc max, lactatémie,...(Uusitalo et al, 2000) Elles ne prennent donc pas en compte l'état psychologique, émotionnel, environnemental des athlètes. De plus, ces méthodes nécessitent une constante réévaluation de ces paramètres physiologiques. Ce qui rend leurs utilisations très contraignantes.

Méthodes mixtes

Les méthodes mixtes quand à elles prennent en compte une multitude d'autres paramètres essentiels à la performance. Il existe donc l'utilisation de cahiers d'entraînement, la méthode Mercier, puis la méthode Foster. Cependant seule la méthode Foster a été validé scientifiquement (Foster, 1998).

La méthode Foster permet de quantifier des charges d'entraînement d'activités très variées. Il s'agit pour l'athlète de noter la durée totale de sa séance d'entraînement en minute, puis d'évaluer subjectivement la difficulté de la séance par l'intermédiaire du CR-10 de Borg. (échelle de perception subjective de l'exercice dont les valeurs s'étendent de 1 à 10). Finalement, le produit de ces deux valeurs donne un indice de la charge d'entraînement.

$$\text{CHARGE} = \text{DUREE de l'exercice (min)} * \text{DIFFICULTE SUBJECTIVE DE LA SEANCE (de 0 à 10)}$$

Exemple de quantification : un cycliste réalise un entraînement de 3 heures avec une intensité perçue de 4. La charge sera égale à $(3*60)*4$ donc 720 unités arbitraires.

Cette méthode est donc très simple d'utilisation mais nécessite néanmoins une bonne connaissance de soi et de ses propres sensations. C'est à dire que l'athlète doit être capable d'évaluer correctement la difficulté de la charge de travail. De plus elle permet de mettre à jour des seuils de tolérance pour les athlètes, au delà duquel il y a de fortes probabilités pour qu'ils développent soit des maladies bénignes, du type infection des voies respiratoires, ou de mettre en évidence un vrai risque de surentraînement. Pour cela, on peut par l'intermédiaire d'un logiciel de traitement de données, calculer différents indices :

- la monotonie de l'entraînement (monotonie = charge hebdomadaire / écart type de la charge)
- la contrainte de l'entraînement (contrainte = charge * monotonie)
- la fatigue (fatigue = monotonie * contrainte).

Ces indices donnent des indications sur l'aptitude de l'athlète à s'adapter à telles ou telles charges d'entraînement en fonction de ses propres sensations.

Au regard de la complexité et de l'importance croissante des charges d'entraînement, il est donc important pour le sportif et notamment pour l'entraîneur, d'avoir une méthode simple d'utilisation, non vulnérante, objective d'une part pour l'analyse de la variabilité de la Fc puis mixte d'autre part pour l'évaluation des charges d'entraînement et de la fatigue. Lors de l'évaluation de l'état de forme du sportif, il y a une prise en compte globale des paramètres influençant la performance athlétique, en l'occurrence physiologique, psychologique, puis environnemental.

Par conséquent, l'aspect essentiel de cette étude est bien de montrer qu'il existe des modèles types de représentation permettant de prédire si oui ou non il y a un risque de développer une pathologie de type surentraînement.

3. Hypothèse de travail

Au regard de l'importance et de la complexité de plus en plus croissante de l'entraînement moderne, et du contrôle de ces différents facteurs, notamment par le calcul des charges de travail, puis par la maîtrise des temps de récupération, il est important pour un entraîneur d'utiliser des outils simples et rapides d'utilisation, et non vulnérants pour ses athlètes.

Le but de cette étude est de mettre en évidence auprès de cyclistes les relations qu'ils pourraient exister entre la variabilité de la fréquence cardiaque (avec les variables SD1, SD2, SD1nu, SD2 nu), et les charges de travail, l'indice de fatigue, puis l'indice de performance.

II. METHODE

1. Sujets

Cette étude est réalisée sur 7 cyclistes de sexe masculin et de niveau régional. Les caractéristiques de ces athlètes figurent sur le tableau 1.

Tableau 1 : caractéristiques des 7 sujets.

Sujet	Age (années)	Taille (cm)	Poids (kg)	Vécu (années de pratique)
A	17	172	64	8
B	17	173	60	5
C	20	179	75	5
D	21	180	70	5
E	17	170	59	2
F	17	184	61	8
G	17	178	74	8
Moyenne	18	176,5	66,1	5,8
Ecart type	1,7	5,0	6,7	2,2

Ce tableau représente les caractéristiques des 7 sujets, notamment l'âge, la taille, le poids, et leur vécu en terme d'années de pratique du cyclisme.

2. Protocole d'étude

A. Protocole

Mesure de la Fc :

Le but du protocole était de faire le lien entre charges de travail, fatigue perceptive et variabilité de la fréquence cardiaque. Pour cela, les sujets ont, pendant 6 semaines, mesurés leur Fc un matin par semaine au réveil (le même jour de préférence). Le sujet mesurait sa Fc, allongé au calme pendant 10 minutes, puis en position debout, également au calme durant 2 minutes.

Mesure de l'indice de fatigue (IF) :

Tous les matins, environ 1 heure après le réveil, le sujet devait remplir un questionnaire d'indices de sensations en se référant d'une part à une échelle de fatigue (figure c), puis d'autre part à une échelle d'humeur (figure d). Ensuite, la moyenne de ces deux valeurs était calculée pour définir un indice de fatigue.

Figure c : échelle de fatigue.

Echelle de fatigue	
1	- super forme, grande envie d'aller s'entraîner, de faire des compétitions, excellentes sensations à l'effort et à la récupération
2	-
3	- forme, sensations et récupération acceptables
4	-
5	- sensations et récupération variables pour des raisons diverses
6	-
7	-
8	-
9	- mauvaises sensations
10	- épuisé, rien envie de faire dans la journée, très mauvaise récupération générale

Echelle de fatigue utilisée pour quantifier l'état de fatigue journalière perçu par les sujets.

Figure d : échelle d'humeur.

Echelle d'humeur	
1	- de très bonne humeur, très heureux
2	-
3	- bien
4	-
5	- détendu
6	-
7	-
8	- anxieux
9	-
10	- déprimé

Cette échelle est utilisée pour quantifier l'état d'humeur dans lequel se trouve chaque jour les sujets.

Mesure de l'indice de capacité de performance (ICP) :

Le lundi suivant la semaine de stage, puis les lendemain des 3 week-ends de compétitions, l'entraîneur devait remplir un tableau, en se référant à une échelle d'évaluation de l'indice de capacité de performance (figure e). Et ceci pour chaque coureur durant cette période.

Figure e : échelle de capacité de performance.

échelle de capacité de performance	
0	
1	perte de toute performance
2	
3	baisse significative
4	légère baisse
5	capacité inchangée
6	légère augmentation de performance
7	
8	bonne performance
9	très bonne performance
10	capacité de performance exceptionnelle

Cette échelle a été conçu pour évaluer un indice de **capacité** de performance, et non une performance réalisée en terme de classement.

Quantification de la charge de travail :

Le sujet devait remplir une fiche consécutive à chaque séance d'entraînement et de compétition, avec la durée de la séance ou de la course en minutes, puis l'intensité subjective perçue durant l'exercice en se référant au CR10 de Borg (figure f).

Figure f : CR 10 de Borg.

0	Rien du tout
0.3	
0.5	Extrêmement faible
1	Très faible
2	Faible
2.5	
3	Modéré
4	
5	Forte
6	
7	Très forte
8	
9	
10	Extrêmement forte « douleur max »
11	
•	Maximum absolu

Borg CR10 Scale
Gunnar Borg, 1981, 1982, 1998

Cette échelle perceptive de sensations est utilisée pour évaluer subjectivement ses sensations. Ensuite on a utilisé la méthode Foster pour quantifier la charge de travail (Foster, 1998).

B. Contenu global d'entraînement des 6 semaines de tests

Ce protocole s'est déroulé sur plusieurs phases d'entraînements :

- semaine 1 : entraînement en volume
- semaine 2 : stage avec un important travail en volume et en intensité
- semaine 3 : entraînement en volume et en intensité, puis course le week-end
- semaine 4 : entraînement en volume et en intensité, puis course le week-end
- semaine 5 : entraînement en volume et en intensité, puis course le week-end
- semaine 6 : entraînement en volume et en intensité

Ce stage faisait suite à un long travail d'entraînement foncier. C'était donc durant cette semaine qu'ils ont commencé à réaliser des séances de travail à fortes intensités.

Ensuite, les trois week-ends de course qui suivaient ce stage étaient les premières compétitions de la saison.

3. Outil

Les mesures de fréquence cardiaque des athlètes ont été effectuées par l'intermédiaire d'un cardio-fréquence mètre de type Polar (Polar Vantage NV, Polar Electro, Kempele, Finlande).

4. Analyses et méthodes statistiques

La variabilité de la fréquence cardiaque a été analysée avec la méthode non linéaire de Poincaré. La représentation de Poincaré est un diagramme où chaque intervalle R-R est représenté en fonction de l'intervalle précédent.

On calcule ensuite deux valeurs en position couchée, qui sont d'une part SD1, la variabilité à court terme de la Fc représentant l'activité parasympathique à destinée cardiaque, puis d'autre part SD2 qui est la variabilité à long terme de la Fc, représentant à la fois l'activité parasympathique et orthosympathique à destinée cardiaque (Tulppo et al, 1996). On obtiendra également deux autres valeurs : SD1nu et SD2nu, valeurs normalisées qui prennent en compte la Fc de repos des sujets.

Les résultats des 7 sujets ont été traités sous la forme de moyennes et d'écart types.

Pour tester les relations entre les différents indices expérimentés, nous avons calculé le coefficient de corrélation relatif à ces valeurs. Pour cela nous avons réalisé le test non paramétrique de Spearman puisque nous sommes en présence de seulement 7 sujets. Une relation sera considérée comme significative si $p < 0,05$.

La différence des données expérimentées (SD1, SD2, SD1nu, SD2nu, la charge de travail, puis l'indice d'humeur) entre les 6 semaines, a été testée par la méthode d'analyse de la variance dite d'ANOVA.

III. RESULTATS

Suite au protocole d'étude, les principales mesures qui s'en dégagent apparaissent sur le tableau 2.

Tableau 2 : les moyennes et les écarts types des différents paramètres par semaine relevés durant l'étude.

	semaine 1	semaine 2	semaine 3	semaine 4	semaine 5	semaine 6
SD1	78,56 ± 28,69	66,24 ± 21,99	76,20 ± 33,99	78,55 ± 37,43	79,48 ± 18,20	88,48 ± 18,68
SD2	154,65 ± 67,69	122,13 ± 55,65	134,72 ± 61,24	148,36 ± 72,24	139,02 ± 42,14	165,25 ± 58,83
SD1nu	70,43 ± 22,09	60,92 ± 16,02	70,92 ± 28,72	74,58 ± 28,52	70,76 ± 15,65	78,61 ± 15,00
SD2nu	139,84 ± 59,66	114,95 ± 55,47	126,97 ± 55,36	143,50 ± 64,50	123,94 ± 37,86	146,08 ± 55,81
ICP		6,428 ± 0,98	6 ± 1,15	5,571 ± 0,98	4,571 ± 1,13	
Charge d'entraînement	565,42 ± 271,02	963,62 ± 380,50	523,15 ± 174,68	447,56 ± 108,65	431,24 ± 94,64	509,80 ± 192,21
Indices d'humeur	3,55 ± 1,40	3,96 ± 1,06	3,63 ± 1,23	4,00 ± 1,00	3,55 ± 0,77	4,06 ± 1,04
Indices de fatigue	3,87 ± 1,58	4,37 ± 1,54	3,35 ± 1,12	3,77 ± 1,21	3,93 ± 1,06	4,18 ± 1,48
IF	3,71 ± 1,45	4,16 ± 1,14	3,48 ± 1,03	3,88 ± 0,86	3,74 ± 0,80	4,12 ± 1,13

Les valeurs de SD1, SD2, SD1nu, SD2nu sont exprimées en ms.

La charge de travail, les indices d'humeur, de fatigue, l'IF et l'indice de capacité de performance sont exprimés en unités arbitraires.

L'IF représente la moyenne des indices d'humeur et de fatigue.

1. Relation entre l'IF et la charge de travail

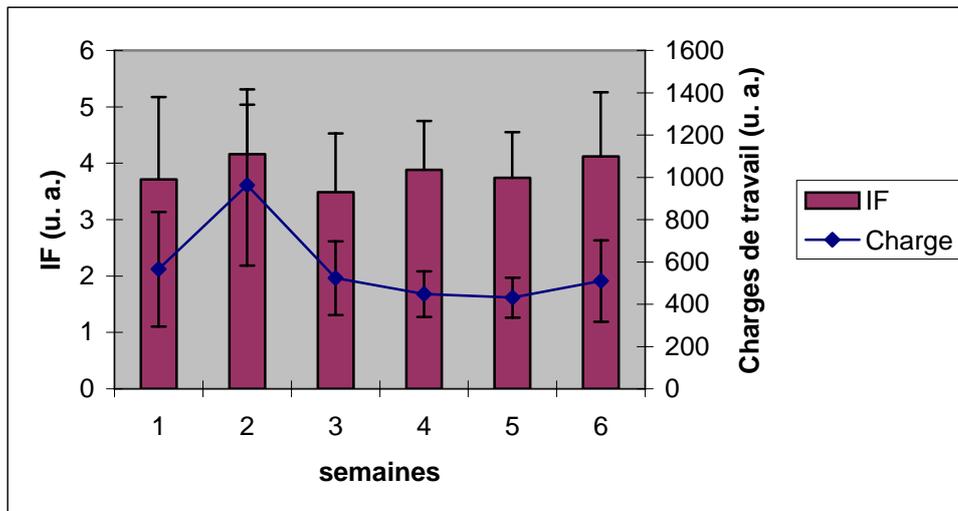
L'analyse du coefficient de corrélation par le test non paramétrique de Spearman nous permet de dire **qu'il n'y a pas de relation significative entre la charge de travail et l'IF**. En effet, cette relation est non significative car $p > 0,05$.

L'analyse de la variance par le test d'ANOVA, montre **qu'il n'y a pas de variation significative de l'IF sur les 6 semaines de mesures**. Le niveau de fatigue est donc identique de la première semaine à la dernière semaine du protocole d'étude.

De même **qu'il n'y a pas de variation significative de la charge de travail durant ces 6 semaines**, et ce malgré le pic de charges d'entraînement au cours de la 2^{ème} semaine.

L'évolution de l'IF et des charges de travail en fonction des 6 semaines de tests a été représenté sur la figure suivante (Figure g).

Figure g : évolutions de l'IF et des charges d'entraînement en fonction des 6 semaines d'études.



Nous pouvons voir sur cette figure, l'augmentation importante de la charge de travail durant la 2^{ème} semaine, qui correspond à la semaine de stage et à un important travail en intensité. Notons également qu'il y a peu de variation de l'IF. En l'occurrence, sa variation est inférieure à 1 point durant ces 6 semaines.

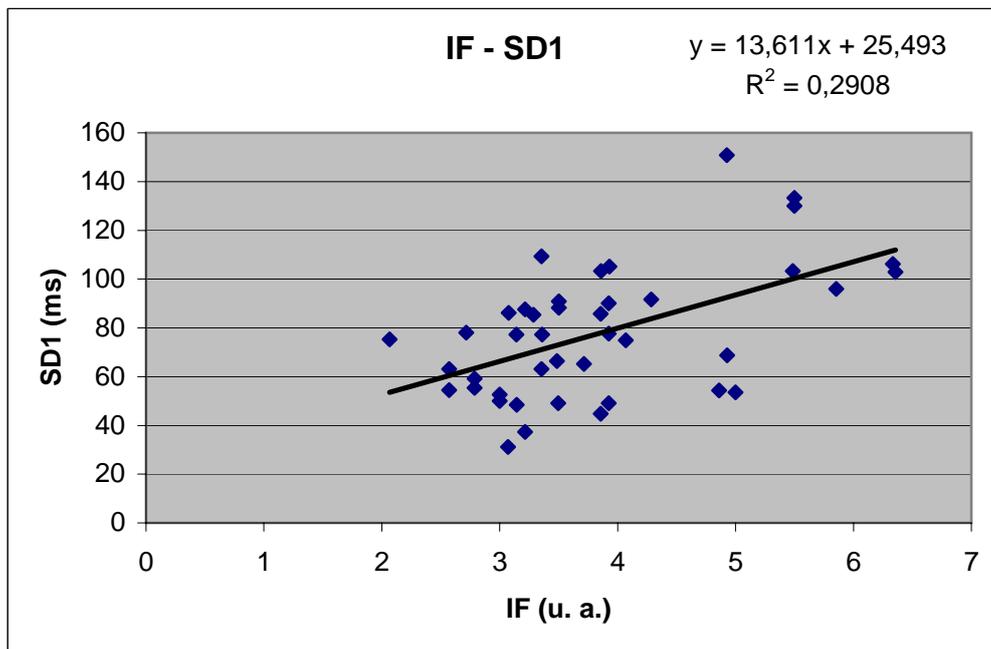
2. Relation entre l'IF et SD1

L'analyse du coefficient de corrélation par le test non paramétrique de Spearman, nous permet de dire **qu'il y a une relation significative entre l'IF et SD1**. Cette relation est existante pour $p=0,0010$.

L'analyse de la variance par le test d'ANOVA sur les valeurs de SD1, nous montre **qu'il n'y a pas de variation significative de SD1** au cours de ces 6 semaines.

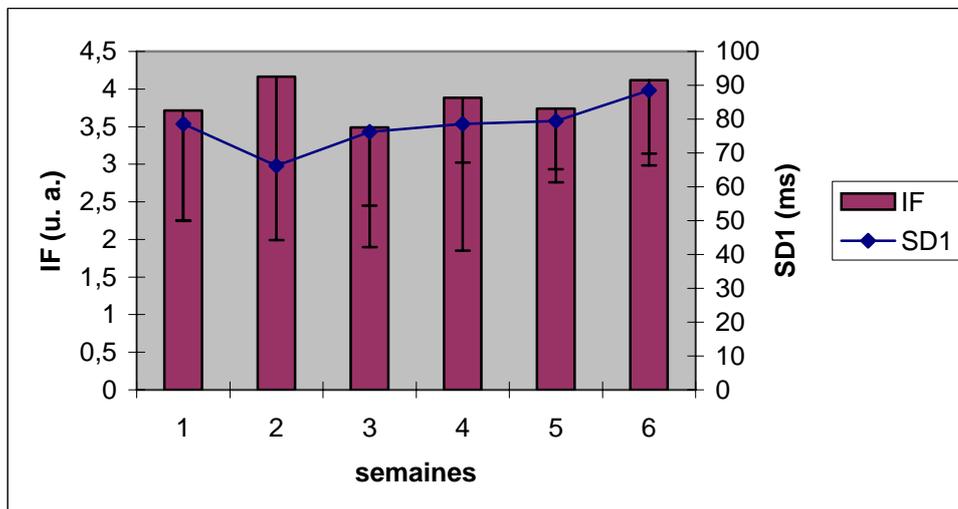
Nous avons représenté graphiquement la relation linéaire entre l'IF et SD1 (figure h), puis nous avons montré également l'évolution de l'IF et de SD1 au cours des 6 semaines du protocole expérimental (figure i).

Figure h : relation linéaire entre l'IF et SD1



Cette figure nous montre que plus l'IF augmente, plus SD1 donc la variabilité de la FC à court terme augmente.

Figure i : variations de l'IF et de SD1 en fonction des 6 semaines d'étude.



Nous pouvons donc voir sur cette figure une augmentation de l'IF avec simultanément une baisse de SD1 lors de la 2^{ème} semaine. Par contre lors des 4 semaines suivantes, nous pouvons observer une baisse de l'IF en 3^{ème} semaine suivie d'une augmentation durant les 3 dernières semaines. Et ce avec dans un même temps une augmentation de SD1.

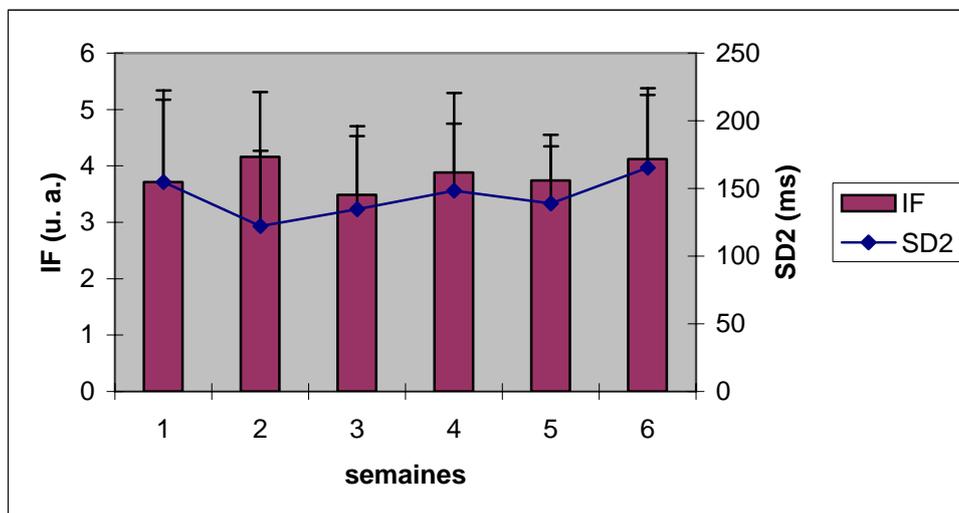
3. Relation entre l'IF et SD2

L'analyse du coefficient de corrélation entre SD2 et l'IF par le test non paramétrique de Spearman, n'a montré **aucune relation significative entre ces deux variables**. En l'occurrence $p > 0,05$, car $p = 0,059$.

L'analyse de la variance par le test d'ANOVA n'a montré **aucune variation significative de SD2** au cours de ces 6 semaines de tests.

Nous avons montré la variation de l'IF et de SD2 en fonction des 6 semaines de mesures (figure j).

Figure j : variations de l'IF et de SD2 durant les 6 semaines de mesures.



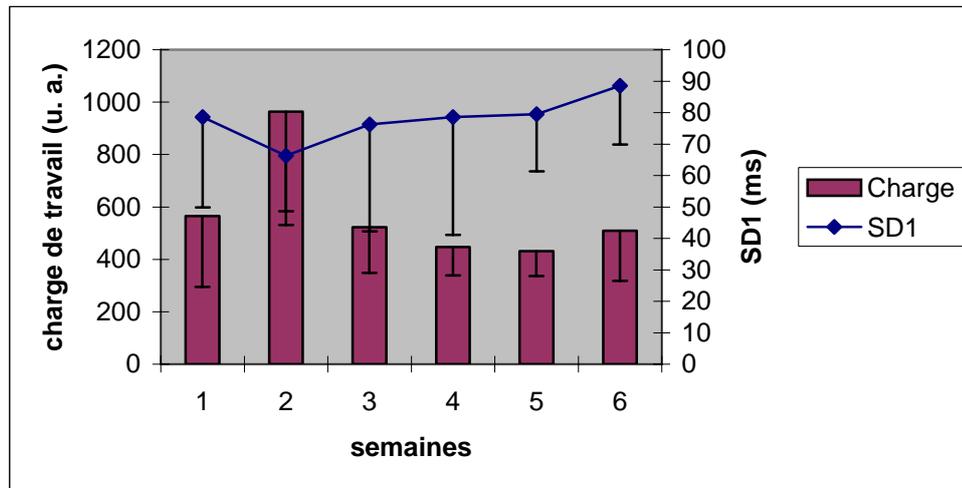
Nous pouvons voir sur cette figure la baisse de SD2 en 2^{ème} semaine, tandis que l'IF augmente. Ensuite au cours des 4 semaines suivants le stage, la tendance générale est à la fois à l'augmentation de l'IF et de SD2.

4. Relations entre SD1 et SD2 avec la charge de travail

Aucunes relations significatives entre SD1 et la charge de travail, puis SD2 et la charge de travail ont été révélées par le test de corrélation non paramétrique de Spearman. En effet, les valeurs de p sont respectivement $p = 0,32$ et $p = 0,5$.

Il est intéressant de regarder l'évolution de SD1 et de la charge de travail en fonction des 6 semaines de protocole (figure k).

Figure k : évolution de SD1 et de la charge de travail au cours du temps



Nous pouvons voir sur cette figure, la forte augmentation de la charge de travail durant la 2^{ème} semaine, et ce avec dans un même temps un baisse de SD1. Au cours des 4 semaines suivantes, la tendance générale est à l'augmentation de SD1 puis à la baisse de la charge de travail.

5. Relation entre les valeurs normalisées SD1nu et SD2nu, avec la charge de travail et l'IF

Les valeurs normalisées SD1nu et SD2nu sont calculées sur la base de SD1 et SD2, de plus elles prennent en ligne de compte l'évolution de la fréquence cardiaque de repos au cours des 6 semaines d'étude.

Les relations signifiées précédemment sont également vrais pour les valeurs normalisées. En outre, à partir du test non paramétrique de Spearman, on ne retrouve **aucunes relations significatives** entre **SD1nu et la charge de travail**, entre **SD2 nu et la charge de travail**, puis entre **SD2 nu et l'IF**. On a également **une relation significative** entre **SD1nu et l'IF**.

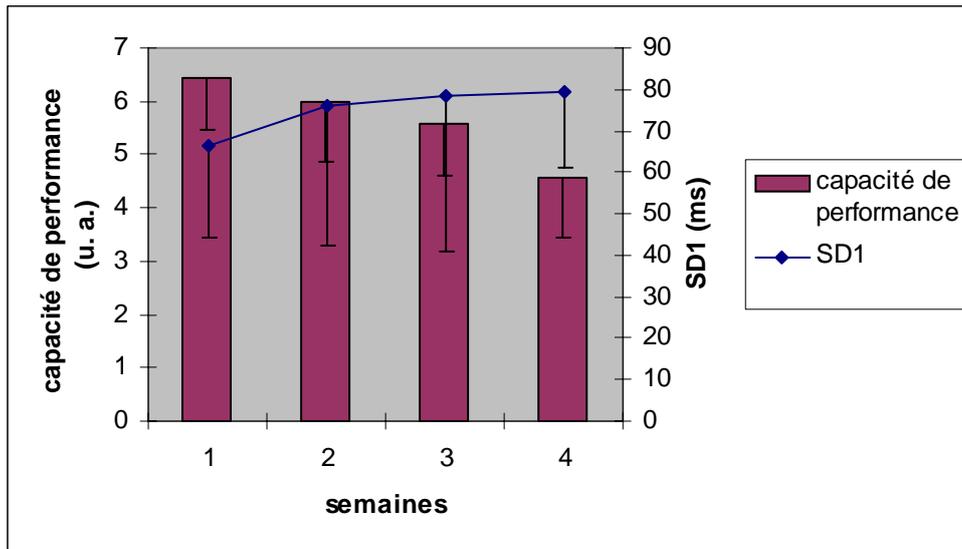
6. Relation entre l'indice de capacité de performance et SD1 puis l'IF

L'analyse du coefficient de corrélation entre **l'ICP et SD1** avec le test non paramétrique de Spearman, n'a montré **aucune relation significative** entre ces deux variables durant les 4 semaines de test.

L'analyse du coefficient de corrélation entre **l'ICP et l'IF** a également montré qu'il n'existait **pas de relation significative** entre ces deux indices au cours des 4 semaines.

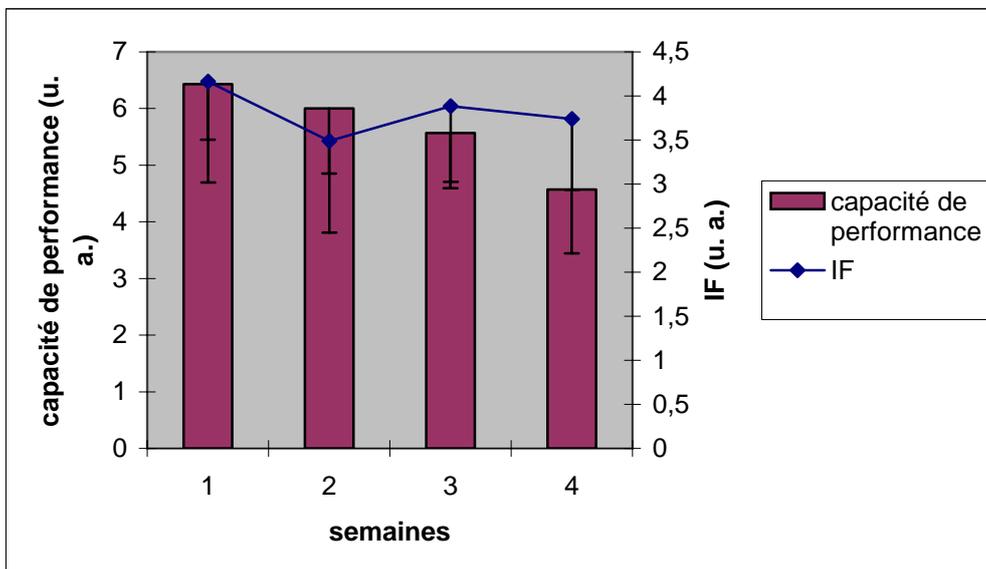
Il est néanmoins intéressant de regarder l'évolution de l'ICP et de SD1 (figure l) puis de l'ICP et de l'IF (figure m) au cours des 4 semaines de mesures.

Figure l : évolution de l'ICP et de SD1 au cours du temps.



Nous pouvons donc voir sur cette figure la baisse progressive de la capacité de performance tout au long de ces 4 semaines. Et ce avec dans un même temps une augmentation progressive de SD1.

Figure m : évolution de l'ICP et de l'IF au cours du temps.



Nous pouvons voir sur cette figure une tendance générale à la baisse de la capacité de performance au cours de ces 4 semaines. Par contre l'indice de fatigue évolue en dent de scie avec une baisse en 2^{ème} et 4^{ème} semaines, puis une augmentation en 1^{ère} et 3^{ème} semaines.

IV. DISCUSSION

L'objectif de cette étude était de mettre en avant les relations qu'ils pourraient exister entre les différentes variables mesurées. Puis de montrer tout l'intérêt de l'évaluation de ces variables, d'une part dans le processus d'entraînement, puis d'autre part dans son utilisation pour l'entraîneur dans la détection précoce du surentraînement.

En effet, le but poursuivi par l'entraîneur est l'augmentation des performances de ses athlètes en contrôlant le maximum de variables possibles. Pour se faire il dispose déjà d'outils mais qui ne sont soit pas facilement applicables sur le terrain, ou soit très vulnérants pour ses sportifs. Il dispose notamment de questionnaires pour évaluer l'état de forme, qui sont plus ou moins faciles à mettre en place, puis à interpréter. Il peut également avoir recours à des tests d'effort qui sont très vulnérants pour le sportif et qui peuvent ne pas avoir une bonne place au cours de la saison.

Suite à différentes études (Mourot et al 2004, Pichot V et al, 2000, 2002), les effets de l'entraînement et des charges de travail sur la VFc a été largement montré. Aujourd'hui, l'objectif est de montrer de manière scientifique la facilité et l'intérêt de son application par l'entraîneur sur le terrain.

Au cours de cette étude, il a été mis en évidence une relation significative entre SD1 (reflet de la VFc à cours terme et de l'activité parasympathique dans le nœud sinusal, Tulppo et al. 1996, 1998), et l'indice de fatigue (mesuré à partir d'une échelle de perception de la fatigue et de l'humeur). Ainsi, durant les 2 1^{ère} semaines du protocole, on a pu observer une réaction positive de l'organisme aux fortes charges de travail qui lui étaient imposées.

On observe donc une baisse de la VFc, donc de SD1 avec une forte augmentation de la charge durant la 2^{ème} semaine (lors du stage). Ceci nous montre l'augmentation de l'activité sympathique et son effet sur le système nerveux végétatif.

Il a été montré dans une étude réalisée par V. Pichot et al en 2000 sur des coureurs de fond, que lors d'une période de fortes charges de travail de 3 semaines, ils ont observé une baisse de l'activité parasympathique atteignant 41%, puis une augmentation de l'activité sympathique atteignant 31% des valeurs que les athlètes connaissaient avant cette période. Ce qui s'est traduit par une forte baisse de la variabilité de la fréquence cardiaque à court terme.

Ensuite, lors des 4 semaines suivantes où il y a une forte baisse des charges de travail, on peut observer une tendance à l'augmentation de SD1. En effet, cette augmentation de SD1 suite à de fortes charges de travail montre l'adaptation positive à court terme du SNA. Cette augmentation durant une période de faibles charges est due à une baisse de l'activité sympathique, puis à une augmentation de l'activité parasympathique.

Il a également été rapporté dans l'étude de V. Pichot et al en 2000 que durant la période de récupération relative d'une semaine qui faisait suite à ces trois semaines de fortes charges,

qu'il y avait une augmentation de l'activité parasympathique de 46%, et une baisse de l'activité sympathique de 24%. Ce qui se traduit par une forte augmentation de la VFc à court terme, et d'une très bonne adaptation du SNA aux charges de travail.

Ce phénomène a également été mis en évidence dans une autre étude réalisée par V. Pichot et al. en 2002. Il a qualifié cette adaptation à court terme de la VFc comme un phénomène de rebond dû à de fortes charges de travail et d'une récupération consécutive suffisante (Hautala et al., 2001).

Par contre cette augmentation de SD1 durant les 4 dernières semaines aurait dû s'accompagner d'une baisse de la fatigue et d'une augmentation des capacités de performance des cyclistes. Ce que l'on n'observe pas du tout dans cette étude.

Il existe différentes hypothèses qui puissent expliquer cet effet. Il pourrait tout d'abord s'agir d'une meilleure adaptation cardiaque. En l'occurrence une adaptation à court terme de l'activité parasympathique avec SD1 (V. Pichot et al., 2000, 2002, Hautala et al., 2001).

Cela pourrait être encore plus probable lorsque l'on regarde le niveau de fatigue des athlètes. En effet, il n'y a qu'une faible variation de cet indice, de l'ordre de 2 points autour d'une valeur moyenne de 5. Ce qui n'est pas une fatigue extrême au regard de ce qu'une forte charge d'entraînement devrait induire. De plus avec l'analyse de la variation de l'IF au cours des 6 semaines, on s'aperçoit qu'il n'y a pas de variation significative de l'IF durant cette période. La fatigue peut donc être considérée comme identique lors de ces 6 semaines.

Une seconde hypothèse qui pourrait être émise, concerne le niveau des charges de travail subit par les athlètes. En effet, des charges trop faibles ne pourraient pas induire un niveau de fatigue assez élevé pour créer une réelle adaptation cardiaque, et plus particulièrement du système nerveux autonome. Mais la baisse de SD1 est directement liée à des charges importantes (V. Pichot et al., 2002). Ce qui pourrait expliquer l'augmentation de SD1 lors des 4 semaines suivants le stage serait donc l'augmentation de la fatigue, et non l'importance des charges de travail, puisqu'il n'existe pas de relation significative entre l'IF puis les charges de travail.

Mais quel serait le rôle joué par la fatigue dans cette adaptation physiologique ?

De plus, nous pouvons remarquer qu'il n'existe pas de relation significative entre l'IF et la capacité de performance des athlètes. Donc la capacité de performance des cyclistes durant cette étude n'aurait pas été dépendante de leur état de fatigue.

Cette étude n'a pas mis en évidence de relation significative entre SD1 et les charges de travail. Par contre il s'avère que ces deux variables soient étroitement liées. Conformément à nos attentes, il y a bien lors de l'évolution de ces deux variables en fonction des 6 semaines de tests (figure k), une baisse de SD1 lorsque les charges de travail augmentent et vis versa.

De même que précédemment, aucunes relations significatives entre SD2 et respectivement les charges de travail puis l'IF n'ont été vérifiées. On sait que SD2 est le reflet à la fois de l'activité

parasympathique et sympathique (Tulppo et al. 1996, 1998). Cette variable est à ce jour très mal connue, et sa fonction est encore floue. Les résultats obtenus dans cette étude vont donc dans le même sens qu'un certain nombre d'études déjà réalisées sur ce sujet.

Enfin, une autre hypothèse peut être émise pour expliquer des relations inexistantes entre ces différentes variables. Elle concerne en effet, l'évaluation des charges de travail avec la méthode Foster, qui nécessite l'utilisation du CR10 de Borg, puis l'évaluation de l'IF qui quand à elle utilise un questionnaire d'indice d'humeur et de fatigue. Ces deux variables sont dépendantes de la connaissance des sujets de leurs propres sensations. Or les sujets de cette étude n'ont qu'une expérience sportive moyenne, donc ne pourraient pas avoir une excellente connaissance de leurs sensations.

V. CONCLUSION, LIMITES ET PERSPECTIVES

Le but essentiel pour tout entraîneur est de gérer au maximum tout le processus d'entraînement, notamment par l'utilisation d'outils simples et non vulnérants pour le sportif. Dans ce cadre, la gestion de la fatigue, la quantification des charges de travail, ainsi que la modélisation de l'adaptation cardio vasculaire à l'effort seraient un atout essentiel pour l'encadrement technique.

Ainsi dans cette étude, nous avons montré la relation qu'il existe entre la VFc, au travers de la variable SD1, reflet de l'adaptation à court terme du système nerveux végétatif, puis de l'indice de fatigue. Or cette relation ne s'avère pas répondre à ce que les différentes études ont montré jusqu'à présent. Il serait donc intéressant de poursuivre des investigations allant dans le sens d'une adaptation cardiaque à moyen terme en faisant un suivi sur une durée plus importante.

De plus il a été montré qu'il n'existe pas de relations statistiques entre SD1 et la charge de travail. Néanmoins, il est intéressant de noter que malgré cela ces deux variables sont étroitement liées, en l'occurrence, on a pu l'observer par l'évolution de ces deux paramètres au cours des six semaines de protocole. Il y a bien une réaction de SD1 aux stimuli charges de travail.

Cependant cette étude connaît certaines limites :

- Les sujets choisis ont un relatif manque d'expérience, ce qui se traduit par une mauvaise perception des sensations donc biaise de ce fait les résultats.
- Il aurait été très intéressant d'allonger la durée du protocole, afin de voir l'évolution de SD1, et surtout si après quelques semaines, il y aurait eu une réelle adaptation positive de cette variable. Le mieux étant bien entendu de faire un suivi de ces paramètres sur l'ensemble de la saison.
- Il aurait peut être été bénéfique d'exploiter la partie de mesure des intervalles R-R réalisée en position debout. Ainsi la différence entre SD1 et SD2 en position allongée et debout aurait pu permettre soit d'affiner les résultats, soit d'avoir d'autres conclusions.
- Afin d'améliorer la précision de l'analyse du système nerveux autonome, il serait plus commode d'effectuer les relevés de Fc la nuit. En effet, cela évite des perturbations dues à l'environnement des sujets (Task Force of the European Society of Pacing and Electrophysiology, 1996).

Finalement, nous pouvons dire que l'analyse des relation entre SD1 et la quantification des charges d'entraînement, puis l'évaluation des indices de fatigue, peut être un outil complémentaire, simple et efficace pour tout entraîneur. Ce notamment dans la gestion du processus d'entraînement et dans la détection précoce du surentraînement.

VI. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

C. Foster. Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome, 1998 *Med Sci Sport Exerc* Vol. 30, No 7, pp. 1164-1168

Dixon EM., Kamath MV, McCartney N., Fallen EL. Neural regulation of heart rate variability in endurance athletes and sedentary controls. *Cardiovasc Res* (1992); 26: 713-719

Hautala A., Tulppo M.P., Makikallio T.H., Laukkanen R., Nissila S., Huikuri H.V. Changes in cardiac autonomic regulation after prolonged maximal exercise. *Clinical physiology* 2 (2001). H238-H245

Hedelin R., Wiklund U., Bjerle P., Henriksson-Larsen K. Cardiac autonomic imbalance in an overtrained athlete. *Med Sci Sports Exerc* (2000); 32: 1531-1533

Mourot L, Bouhaddi M, Perrey S, Cappelle S, Henriët MT, Wolf JP, Rouillon JD, Regnard J. Decrease in heart rate variability with overtraining : assessment by the Poincaré plot analysis. *Clin Physio Funct Imaging* (2004); 24, pp 1-9

Pichot V, Roche F, Gaspoz JM et al. Relation between heart rate variability and training load in middle-distance runner. *Med Sci Sports Exerc* (2000); 32: 1729-1736

Pichot V, Busso T, Roche F, et al. Autonomic adaptations to intensive and overload training periods: a laboratory study. *Med Sci Sports Exerc* (2002); 34: 1660-1666

Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation* (1996); 93: 1043-1065

Tulppo M. P., Makikallio T. H., Takala T. E., Seppanen T., Huikuri H. V. Quantitative beat-to-beat analysis of heart rate dynamics during exercise, 1996 *Am J Physiol* 271 (1nt) H244-H252

Tulppo M.P., Makikallio T.H., Seppanen T., Laukkanen RT, Huikuri HV. Vagal modulation of heart during exercise: effects of age and physical fitness. *Am J Physiol* (1998); 274: H424-H429

Uusitalo AL, Uusitalo AJ, Rusko HK. Heart rate and blood pressure variability during heavy training and overtraining in the female athlete. *Int J Sports Med* (2000); 21: 45-53

Yamamoto Y, Hughson RL., Coarse-graining spectral analysis: new method for studying heart rate variability. *J Appl Physiol* (1991); 71: 1143-1150

Yamamoto Y, Hughson RL., Peterson JC. Autonomic control of heart rate during exercise studied by heart rate variability spectral analysis. *J Appl Physiol* (1991); 71: 1136-1142

ANNEXE 1

Voici un exemple de tableau rempli par un sujet lors de cette étude :

Date	Duree de la seance (min)	Intensite (CR10 de Borg)	Séance	Perception humeur (cf echelle)	Perception fatigue (cf echelle)	Charge (intensité* durée)
16.01					1	
17.01	2100	3	EDB	2	2	
18.01				3	3	
19.01				4	4	
20.01	1430	3	EDB	4	5	
21.01	3430	3	EDB	5	6	
22.01	5400	3	EDB	6	7	
23.01	5400	3	EDB	7	8	
24.01	3430	3	EDB	8	9	
25.01	2400	3	EDB	9	10	
26.01	5425	3	EDA	10	11	
27.01	5430	3	EDB	11	12	
28.01				12	13	
29.01				13	14	
30.01				14	15	
31.01				15	16	
1.02				16	17	
2.02				17	18	
3.02	3400	3	EDB	18	19	
4.02				19	20	
5.02				20	21	
6.02				21	22	
7.02	3400	3	course	22	23	
8.02				23	24	
9.02	1400	3	EDB	24	25	
10.02				25	26	
11.02	1400	3	EDB	26	27	
12.02				27	28	
13.02				28	29	
14.02	3100	5	course	29	30	
15.02				30	31	
16.02				31	32	
17.02				32	33	

Il était question pour chaque sujet de remplir quotidiennement ce tableau. Pour se faire, ils ont dû se référer à des échelles de perceptions subjectives.

ANNEXE 2

INTENSITE PERCUE

A la fin de chaque séance d'entraînement, veuillez remplir cette échelle de sensation de fatigue. Il est important que vous le fassiez dans les heures qui suivent la séance d'entraînement. Les chiffres et les items correspondent à **votre état de fatigue induit par l'entraînement**.

0	Rien du tout
0.3	
3.5	Extrêmement faible
4	Très faible
5	Faible
2.5	
6	Modéré
4	
5	Forte
6	
7	Très forte
8	
9	
10	Extrêmement forte « douleur maximale »
11	
•	Maximum absolu

1982, 1998

Borg CR10 Scale
Gunnar Borg, 1981,

CALCULE DE L'INDICE DE FATIGUE

Dans quelle forme vous sentez vous ?

Remplissez le matin après avoir pris votre petit déjeuner les deux indices de fatigue. D'une part la perception de sensations et d'autre part la perception de la fatigue, en vous référant aux chiffres et items des deux tableaux ci dessous.

Echelle de sensation

Je me sens :

- 1 super forme, grande envie d'aller s'entraîner, de faire des compétitions, excellentes sensations à l'effort et à la récupération
- 2
- 3 forme, sensations et récupération acceptables
- 4
- 5 sensations et récupération variables pour des raisons diverses
- 6
- 7
- 8
- 9 mauvaises sensations
- 10 épuisé, rien envie de faire dans la journée, très mauvaise récupération générale

Echelle d'humeur

Je me sens :

- 1 de très bonne humeur, très heureux
- 2
- 3 bien
- 4
- 5 détendu
- 6
- 7
- 8 anxieux
- 9
- 10 déprimé

ANNEXE 3

Consécutivement à la semaine de stage et aux week-ends de compétitions, veuillez remplir le tableau ci dessous en vous référant à l'échelle d'indice de performance et en répondant à la question : Comment avez vous perçu la **capacité** de performance de vos athlètes durant cette course ?

	Sujet A	Sujet B	Sujet C	Sujet D	Sujet E	Sujet F	Sujet G	Moyenne	Ecart type
semaine 2	6	8	6	5	7	6	7	6,42	0,98
semaine 3	6	7	5	5	6	5	8	6	1,15
semaine 4	5	5	6	4	6	6	7	5,57	0,98
semaine 5	5	4	7	4	4	4	4	4,57	1,13

Ce tableau représente les valeurs de l'indice de capacité de performance relevées lors des semaines 2,3,4,et 5. La moyenne et l'écart type ont été calculé.

Voici présenté ci dessous **l'échelle d'indice de capacité de performance**. Cette échelle est étalonnée de 0 à 10, allant de l'absence totale de toute capacité, jusqu'à une capacité de performance exceptionnelle :

échelle de capacité de performance	
0	
1	perte de toute perf
2	
3	baisse significative
4	légère baisse
5	capacité inchangée
6	légère augmentation de perf
7	
8	bonne perf
9	très bonne perf
10	capacité de perf exceptionnelle

RESUME

L'augmentation croissante des performances sportives va de pair avec une augmentation et une rationalisation des charges d'entraînement. Il est donc nécessaire pour tout entraîneur d'utiliser des outils simples et non vulnérants pour ses athlètes, et ce afin de gérer au mieux l'ensemble du processus d'entraînement.

L'objectif rechercher lors de séances d'entraînement, est l'adaptation de l'organisme à ces charges, et plus précisément des fonctions cardio-vasculaires. Ainsi, cette adaptation se caractérise au niveau de la variabilité de la fréquence cardiaque, par une baisse de l'activité sympathique, puis une augmentation de l'activité parasympathique.

Ces effets peuvent être appréciés par la méthode d'analyse des intervalles R-R de Poincaré. On caractérise par conséquent la VFc par deux variables qui sont SD1, variabilité de la FC à court terme, reflet de l'activité parasympathique dans le nœud sinusal, puis SD2, variabilité de la Fc à long terme, reflet de l'activité sympathique et parasympathique dans le nœud sinusal.

Le but de cette étude est de montrer chez un groupe de 7 cyclistes, les relations qu'ils pourraient exister entre les variables SD1 et SD2 avec un indice de fatigue, avec un indice de capacité de performance, puis avec les charges de travail.

Pour tester les relations entre les différentes variables étudiées, on a utilisé le test non paramétrique de Spearman. On a considéré qu'une relation est significative si $p < 0,05$. Puis pour analyser les différences statistiques entre les 6 semaines on a utilisé le test d'étude de variance d'ANOVA.

Une relation significative entre SD1 et l'IF a été vérifiée pour $p = 0,0010$. Il en est de même pour SD1nu et l'IF.

Par contre aucune autres relations significatives entre les indices de la VFc (SD1, SD2, SD1nu, SD2 nu) et l'IF, la charge de travail et l'indice de capacité de performance ont été vérifiés.

Nous avons également pu remarquer qu'il n'y a pas de variation significative de ces indices au cours de ces 6 semaines de tests.

La quantification des charges d'entraînement, l'appréciation de la fatigue, puis l'analyse de ces deux variables avec SD1 peut être un outils simple d'utilisation et non vulnérant pour le sportif. Mais cela doit rester pour l'instant un outil complémentaire pour l'entraîneur, car il manque d'appuis scientifiques avec des résultats qui seraient plus probants sur le terrain.