



MASTER STAPS

ENTRAINEMENT ET OPTIMISATION DE LA PERFORMANCE SPORTIVE

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2019-2020

Mémoire

Titre: Utilisation de la programmation et du

suivi de l'entrainement par la méthode

RPE dans le développement de la

puissance maximale aérobie chez des

triathlètes amateurs

Présenté par : Quentin Misser

Sous la Direction de : Murielle Garcin

Soutenu le 26 /05 /2020

Devant le jury

E.O.P.S. Entrainement et Optimisation de la Performance Sportive

EOPS 2020

Remerciement:

Je tiens à remercier Madame **Murielle Garcin**, pour son investissement et son aide dans la réalisation de mon mémoire terminal de master et aussi pour sa patience avec moi.

Je tiens à remercier Lomme Natation Triathlon, pour m'avoir permis de réaliser mon étude. Je souhaite plus particulièrement remercier le Président **Francis Dejaeghere** et la directrice technique **Laurence Dejaeghere**.

Je remercie la Faculté des Sciences du Sport et de l'Éducation Physique de Ronchin, ainsi que les personnes qui la composent et qui ont pu m'aider dans mon cursus universitaire et dans la réalisation de mon mémoire.

Je remercie aussi mon frère **Dorian Misser**, qui m'a aidé dans la réalisation de ce mémoire et **Laure-Anne Guillemaud** pour avoir passé du temps à corriger mes fautes.

Pour terminer, je tiens à remercie ma copine Anaelle Ourdouillie pour m'avoir soutenu et accompagné.

Sommaire:

Rem	erci	ement :	<i>3</i>
Som	mai	re :	4
Glos	sair	e :	5
Intro	oduc	tion :	6
		ue de Littérature	
1.1		Le Triathlon	
	1.1.1.		
	1.1.2.		
1.2	2.	L'entrainement	8
	1.2.1.	La programmation d'entrainement	8
	1.2.2.	Processus d'entrainement :	10
1.3	3.	Quantification de la CE	12
	1.3.1.	Définition	12
	1.3.2.	Charge Externe	12
	1.3.3.	Charge Interne	12
2.	Prok	blématique, Objectifs et Hypothèse	19
2.1	l.	Problématique	19
2.2	2.	Objectifs	19
2.3	3.	Hypothèses	19
3.	Mét	hode :	20
3.1		Milieu Professionnel :	
3.2		Sujets :	
3.3		Matériel :	
3.4		Protocole:	
4.1		Traitement des données	
4.2		Analyse statistique :	
		ultat	
5.1		Résultats attendus :	
5.2	2.	Résultats obtenus :	27
<i>6.</i>	Limi	ite du protocole :	29
7.	Bibli	iographies	30
8.	Δnn	exe	34

Glossaire:

CNDS: Centre National pour le Développement du Sport

RPE: Rating scale of Perceived Exertion (Traduction: Echelle de Perception de l'effort)

ITU: International Triathlon Union (Traduction: Fédération International de Triathlon)

VO2Max: Consommation maximal d'oxygène

CE: Charge d'Entrainement

U.A: Unité Arbitraire

FC: Fréquence Cardiaque

BPM: Battement par minute

ACWR : Acute Chronic Workload Ratio (Traduction : Ratio charge aigüe et charge chronique)

EWMA: Exponentially Weighted Moving Average (Traduction: Moyenne mobile pondérée

exponentiellement)

Introduction:

Selon le Centre National pour le Développement du Sport (CNDS), 47,1 millions de personnes pratiquent un sport en France. (CNDS, 2010). Le sport, qu'il soit réalisé en loisir, en compétition ou en professionnel, exige de plus en plus de précision dans la programmation de l'entrainement, quel que soit le niveau de pratique du sportif ou son âge.

L'entrainement peut avoir différents objectifs selon les athlètes. En effet, il peut servir à perdre du poids, améliorer sa condition chez un pratiquant loisir, améliorer un record chez un compétiteur ou préparer une grande échéance chez un professionnel.

Dans la programmation, nous jouons sur la dose d'entrainement prescrite à l'athlète. Foster en 1996 a mis en place une méthode de calcul de charge par l'utilisation d'une échelle de perception de l'effort. Ce calcul de la charge doit être intégrer dans une programmation individuelle chez l'athlète pour suivre son état de fatigue et de forme afin d'atteindre une charge d'entrainement nécessaire à une amélioration des performances. Le triathlon est l'un des sports où la programmation est la plus complexe de par sa multitude de disciplines sportives pratiquées (natation, cyclisme et course à pied). Il m'est apparu évident qu'il fallait analyser la programmation de triathlètes amateurs en utilisant la méthode RPE (Rating scale of Perceived Exertion). Nous verrons dans un premier temps le triathlon dans son ensemble et ses spécificités. Dans un second temps nous expliquerons le développement d'une programmation et son suivi de l'entrainement avec sa régulation.

Dans un troisième temps, nous expliquerons les méthodes nécessaires lors de la mise en place du suivi de l'entrainement de l'athlète par les méthodes externes et internes du calcul de charge.

1. Revue de Littérature

1.1. Le Triathlon

Le Triathlon, est une discipline sportive composée de trois sports : la natation, le cyclisme et la course à pied, que l'on enchaine les uns après les autres dans le même ordre que celui-ci-dessus à chaque course.

1.1.1. Définition

Le Triathlon est apparu aux Jeux Olympiques pour la première fois à Sidney en 2000. Les distances olympiques sont de :

- 1 500m en natation;
- 20km de cyclisme ;
- 10km de course à pied;

Il est organisé et géré par la Fédération Internationale de Triathlon (en anglais International Triathlon Union - ITU). Un sport en devenir qui a commencé à se faire découvrir depuis les excellents résultats 2019 de l'équipe de France avec la victoire de Vincent Luis sur la série des Championnats du Monde de triathlon ainsi que les multiples podiums sur les championnats des autres athlètes.

Le Triathlon est un sport qui connait une forte progression d'un point de vue médiatique mais également sur le plan scientifique.

Il est aussi possible de combiner les articles se concentrant sur chaque sport individuellement dans leurs aspects physiologiques et techniques. Cependant, ces articles ne prennent pas en compte l'enchainement successif des trois sports, ce qui est la spécificité du triathlon. En effet, on considère le triathlon comme l'enchainement de 3 disciplines et de 2 transitions dans un cadre bien défini (FFTRI, 2018) :

- La première discipline est la natation ; le départ se fait depuis une plage, une terre ou un ponton. Elle se réalise en mer, en lac ou en rivière.
- La première transition est le changement de matériels rapide entre la natation et le cyclisme.
- La seconde discipline est le cyclisme, elle se réalise sur route fermée, en peloton grâce à l'utilisation de l'aspiration¹.
- La seconde transition est un changement de matériels rapide entre le cyclisme et la course à pied.
- La troisième et dernière discipline est la course à pied, réalisée sur la route ou des chemins.

¹ Aspiration est autorisé sur les courses de distance XS à M (Programme Olympique) mais elle est interdite sur des distances Half-Ironman et Ironman.

1.1.2. Spécificités du Triathlon

Lehénaff (1997) a montré que les triathlètes possèdent de très bons résultats sur des tests de VO2max (Consommation maximal d'oxygène), et ces derniers semblent indiquer que cet effet est obtenu grâce à l'utilisation de « l'entrainement croisé ». La Fédération Française de Triathlon définit l'entrainement croisé, comme « le fait de mixer plusieurs activités sportives au sein d'un cycle d'entrainement, dans une démarche de complémentarité, de transfert et/ou de récupération. » (FFTRI, 2018). Il est donc primordial dans l'entrainement en triathlon d'intégrer ces entrainements croisés. (Olcina, et al., 2019). Millet en 2002, a démontré que la répétition de ce type d'entrainements répétés dans le temps aurait encore plus de résultats sur l'amélioration de la VO2Max. Delextrat en 2003 a prouvé que l'entrainement croisé avait aussi des améliorations sur l'économie de course à des vitesses égales. Olcina en 2019 a démontré des résultats identiques sur une diminution de la fatigue musculaire avec l'utilisation d'entrainements croisés.

L'aspiration¹ ou drafting (en anglais) est aussi une pratique du triathlon, elle est l'action de se protéger du vent lorsque l'on se trouve en peloton afin de diminuer les résistances au vent. Cela s'apprend dès le plus jeune âge en école de triathlon. On l'enseigne avec pour objectif de diminuer l'impact du vélo sur la fin de course. Avec le drafting, il y a une diminution de la consommation d'oxygène, de la fréquence cardiaque et donc une amélioration significative de la performance en course à pied de 4,2% (Millet Bentley, 2004).

1.2. L'entrainement

1.2.1. La programmation d'entrainement

En 1960, le plan de périodisation était orienté sur un unique macrocycle d'une saison entière. Une telle approche de planification était définie comme un « plan annuel d'un pic », c'était le cas pour des sports saisonniers tels que l'aviron, le cyclisme, le patinage et le ski. Cependant, l'amélioration des installations sportives, la professionnalisation du sport et le développement des recherches sportives ont rendu nécessaire une plus haute précision dans la prescription du sport à haut niveau. Ainsi, la conception annuelle d'un pic est devenue insuffisante et a été modifiée par un « plan annuel à deux pics. Cependant, par de nouveaux progrès dans les installations sportives, la diversification des compétitions et l'amplification du professionnalisme, la formation a conduit à l'élaboration du « modèle de préparation à trois pics » qui est devenu la dernière modification reconnue de la périodisation traditionnelle (Figure 1). Chaque pic correspond à une compétition importante (Issurin 2010).

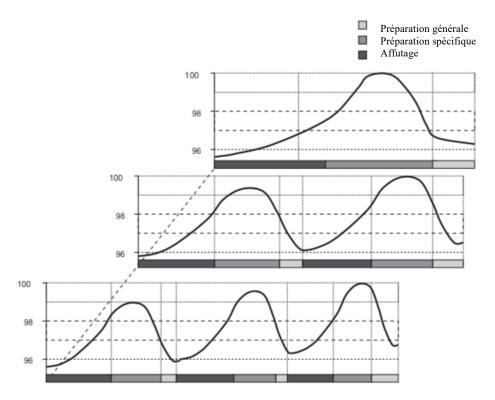


Figure 1 : Amélioration du modèle de périodisation traditionnelle d'un pic à trois pics (Issurin, 2010)

Depuis les années 1980, une nouvelle méthode de périodisation est arrivée, elle est appelée « périodisation en bloc ». Dr Anatoly Bondarchuk est l'un des premiers entraineurs à utiliser cette méthode, il a entrainé de nombreux lanceurs de marteau médaillés d'or, d'argent et bronze entre 1988 et 1992. Cette méthode par bloc est aussi utilisée par Gennadi Touretski pour entrainer Alexander Popov et Michael Klim (tous les deux champions Olympiques et multi-champion du Monde et d'Europe) (Issurin 2010).

Une planification par bloc consiste à structurer l'entrainement en plusieurs parties :

- L'exercice;
- La séance;
- Le microcycle;
- Le mésocycle ;
- Le macrocycle;
- Le plan annuel;
- Le plan de carrière.

Chaque partie est associée à une temporalité différente :

- L'exercice fait partie de la séance ;
- La séance (un jour ou une demi-journée pour du biquotidien²);
- Le microcycle (plusieurs jours);
- Le mésocycle (plusieurs semaines);
- Le macrocycle (plusieurs mois);
- Le plan annuel (la saison sportive ± 1 ans);
- Le plan de carrière (plusieurs années, ± 4 ans, échéance olympique).

Dans un macrocycle, il y a plusieurs mésocycles. (Mujika, 1995, 1998; Issurin, 2008, 2010; Hellard et al., 2019).

- Mésocycles de préparation générale (développement des aptitudes générales de l'entrainement) ;
- Mésocycles de préparation spécifique (développement des aptitudes spécifiques à la compétition);
- Mésocycles d'affutage (récupération, avec diminution de la fatigue : ce mésocycle est plus court,
 2 à 4 semaines en fonction de l'individu).

Chaque macrocycle est aligné avec le calendrier des compétitions de l'athlète Pour chaque mésocycle, il est composé de 3 semaines de travail et 1 semaine de récupération afin de pouvoir avoir le meilleur processus d'entrainement (Savard, 2002 ; Kuntzer 2014).

1.2.2. Processus d'entrainement :

Savard en 2002 définit le processus d'entrainement comme la réponse à la charge d'entrainement (CE) grâce au processus d'adaptation ou de surcompensation. Lors d'une CE, une fatigue est produite chez l'athlète. Après une phase d'entrainement suit une phase de récupération, ce qui permet au corps de répondre à ce stress. L'athlète retrouvera un niveau de forme supérieur comparé à la période avant entrainement. Ce phénomène s'appelle la surcompensation (Figure 2) (Kuntzer, Gremion, 2014).

² Biquotidien : L'action de s'entrainer deux fois par jour. Cela est fréquent chez les triathlètes

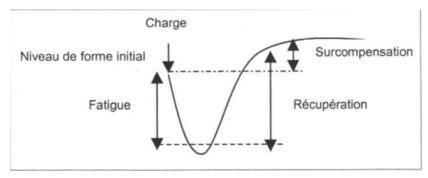


Figure 2 : Phénomène de surcompensation (Savard, 2002)

Si l'on veut optimiser ce processus, nous devons diminuer la récupération entre les entrainements afin d'augmenter la fatigue. Après un temps de récupération, il y aura un niveau de forme supérieure à celui de départ. Le phénomène de surcompensation est plus fort. (Savard, 2002) (Figure 3). Ce phénomène va être recherché chez nos triathlètes afin d'améliorer la puissance maximale aérobie.

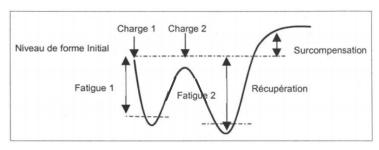


Figure 3: Phénomène d'entrainement (Savard, 2002)

Par contre s'il y a une trop forte récupération après la dernière CE, le niveau obtenu après la surcompensation va finir par diminuer jusqu'à retrouver son niveau initial (Savard, 2002).

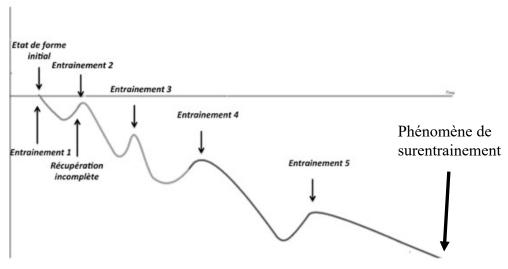


Figure 4 : Phénomène de surentrainement (Savard, 2002)

Le surentrainement est un phénomène connu des triathlètes (FFTRI, 2018). Il est présent chez le sportif lors d'un enchainement de charges d'entrainement sans phase de récupération nécessaire à l'organisme (Figure 4). On tombe alors dans une fatigue chronique, ce qui entraine un manque d'entrain, une baisse de forme, une mauvaise humeur, des troubles du sommeil, une perte d'appétit, une diminution de la libido, une blessure ou des tensions musculaires... (Kuntzer, 2014 ; FFTRI, 2018)

1.3. Quantification de la CE

La planification de l'entrainement repose sur l'optimisation de la performance par la gestion de la programmation et de sa charge d'entrainement. Le volume, l'intensité et la fréquence sont les trois facteurs que l'entraineur est capable de faire varier dans l'entrainement (Pollock, 1973). Une multitude de méthodes de quantification d'entrainement existent (Halson, 2014).

1.3.1. Définition

Gabriel H. et al en 1998 a montré qu'une CE trop faible aurait un effet inefficace et qu'inversement, une charge exagérée aurait un effet délétère non compensé sur le niveau de l'athlète. Petibois et Cazorla en 2001 montrent aussi qu'il existe bien des charges adéquates pour chaque individu permettant d'augmenter le niveau de performance. Ils mettent aussi en évidence que la quantification de la charge d'entrainement était la seule mesure permettant la conduite d'un entrainement individualisé efficace, où des charges correctement dosées fournissent les stimulus adéquats pour améliorer la performance.

1.3.2. Charge Externe

A partir de ce constat, quelques auteurs se sont donc intéressés à la notion de « quantification de la charge d'entrainement ». Pollock en 1973 a défini la charge de travail externe comme les caractéristiques de l'exercice réalisé par l'athlète. Trois variables sont nécessaires pour quantifier cette charge externe :

- Le volume : la durée de l'exercice

- L'intensité : la vitesse ou la puissance

- La fréquence d'entrainement

Platonov en 1988 rajoute la forme de l'exercice comme variable nécessaire pour quantifier cette charge externe.

- Forme de l'exercice : entrainement continu et intermittent

1.3.3. Charge Interne

Les méthodes de quantification de la charge interne d'entrainement sont séparées en deux types :

- Objective
- Subjective

La méthode objective calcule des indices physiologiques et la méthode subjective prend en compte le ressenti de l'athlète (Borg, 1973).

1.3.3.1. Méthode Objective:

La méthode objective permet de quantifier la charge interne par le biais d'une multitude d'indices, tels que la fréquence cardiaque, la lactatémie etc...

Banister et al en 1975 sont les premiers à mettre en place une méthode qu'il nomme « TRIMP » (Training Impulse), dont l'unité de mesure est dite arbitraire (U.A.). Son but est de quantifier cette charge grâce à l'utilisation de la durée et la FC (Fréquence Cardiaque) moyenne durant l'entrainement. Il multiplie la fréquence moyenne par la durée. Cette méthode a été utilisée pour construire un modèle de prévision des performances dans des activités aérobies basées sur un équilibre entre la forme et la fatigue. Cette méthode a été critiquée car elle ne prenait pas en compte la fréquence cardiaque du repos. C'est pour cela qu'en 1985, il a amélioré le calcul de CE en prenant en compte la fréquence cardiaque de repos, et un coefficient « k » a été introduit en complément pour représenter l'augmentation exponentielle de la lactatémie au cours de l'exercice (le coefficient d'évolution de la lactatémie est de 1,92 pour les hommes et de 1,67 pour les femmes) (Banister, Hamilton, 1985)

La fréquence cardiaque est donc un très bon indicateur pour mesurer l'intensité d'un exercice aérobie. Ainsi cette méthode peut paraître très réaliste car elle tient compte directement de l'évolution des paramètres physiologiques de l'individu au cours d'un exercice.

Une autre méthode utilisant la fréquence cardiaque, est apparue en 1993. Cette méthode a été mise en place par Edwards. Il a fondé sa méthode sur le TRIMP de « Banister », il utilise 5 zones d'intensité au niveau de la fréquence cardiaque, il calcule le temps passé dans chaque zone de l'entrainement et le multiplie par un coefficient de 1 à 5 afin de calculer la CE. (Edwards, 1993)

Borresen et al. ont relevé en 2009 des variations importantes de valeurs de CE entre individus, calculées avec les méthodes Edwards, TRIMP et RPE. Leur analyse suggère que les athlètes qui présentent des temps passés dans les zones de haute intensité, voient leur CE surestimées par les méthodes basées sur la FC par rapport à la méthode RPE. A l'inverse, les athlètes qui ont passé plus de temps d'entraînement dans les zones de basse intensité verraient leur CE sous-estimée par rapport à la méthode RPE. Cela se comprend, dans la mesure ou les FC inférieures à 50% de la FC maximale ne sont pas prises en compte par la méthode Edwards. Par contre Borresen met en évidence qu'il est possible d'éviter cette surestimation et sous-estimation en utilisant la méthode RPE.

1.3.3.2. Méthode Subjective :

Borg en 1973 a été le précurseur de cette méthode. Borg dit que « la perception de l'effort correspond à la sollicitation d'un ensemble de système et de processus sensoriels s'intégrant en une perception générale de l'effort; les sensations de tension, de douleur musculaire, articulaire, l'essoufflement, les battements du cœur, et la sudation. »

Afin d'évaluer cette perception de l'effort, Borg en 1970 a créé une échelle allant de 6 à 20.

Cette échelle a été traduite par Shepard et al en 1992. Une perception d'effort s'évalue en posant la question au sportif « Comment percevez-vous l'effort effectué ? ». Cette échelle RPE est la représentation de la fréquence cardiaque durant un effort. Les valeurs de 6 à 20 correspondent à une fréquence cardiaque qui peut varier entre 60 et 200 BPM (Battement par minutes) durant l'effort. (Borg, 1973). Selon Borg en 1973, cette relation est juste sur des sujets en bonne santé, âgés entre 30 et 50 ans. Il modifiera cette échelle en 1982, par une échelle RPE de 0 à 10. Et Foster en 1996 la modifie également afin d'effectuer une perception d'effort sur une séance puis il a modifié la description verbale en 2001 verbale (Figure 5), (Foster, et al., 2001). Cette méthode a été scientifiquement validée pour mesurer la charge interne. Et pour déterminer la perception de l'effort durant la séance, la question à poser à l'athlète est « Comment avez-vous perçu l'effort effectué durant la séance ? » (En anglais : « How was your workout ? ») La perception de chaque séance doit être réalisée 30 minutes après la fin de la séance, pour éviter que la partie réalisée en fin de séance domine la perception de l'effort du sujet. Il faut que la perception soit le ressenti global de la séance, de l'échauffement au corps de séance jusqu'à la récupération.

COTATION	DESCRIPTION VERBALE
0	REPOS
1	TRES TRES LEGER
2	LEGER
3	MODERE
4	LEGEREMENT DUR
5	DUR
6	
7	TRES DUR
8	
9	
10	MAXIMAL

Figure 5 : Echelle RPE de Foster (2001)

Lorsque la note de perception de la séance a été obtenue, elle est multipliée par la durée en minutes de la séance. (Foster, 1996) (Équation 1 et tableau 1)

$$CE_{(Entrainement)} = Temps_{(minute)} \times Note de perception de l'effort$$

Équation 1 : Calcul de la CE avec la méthode RPE de Foster (1996)

Temps (min):	70
Note de perception :	5
CE Total :	350

Tableau 1 : Exemple de calcul de CE grâce à la méthode RPE de Foster (1996)

Les indices de « monotonie », « contrainte » et « fitness » peuvent être calculés à partir des données de la méthode RPE du microcycle d'entrainement d'une semaine.

La monotonie d'entrainement est calculée par la division de la moyenne de la CE hebdomadaire sur son écart type (Équation 2 et tableau 2).

$$Monotonie = \frac{Moyenne_{(CE \ Hebdomadaire)}}{Ecart \ type_{(CE \ Hebdomadaire)}}$$

Équation 2 : Calcul de la monotonie de la méthode RPE de Foster (1998)

	RPE	Temps (min)	CE
Lundi	5	60	300
Mardi	1	20	20
Mercredi	2	180	360
Jeudi	8	60	480
Vendredi	2	30	60
Samedi	5	50	250
Dimanche	3	200	600
Écart type :			209,91
Moyenne CE:			295,71
Monotonie:			1,41

Tableau 2 : Exemple de calcul de la monotonie de la méthode RPE de Foster (1998)

La monotonie de l'entrainement est une mesure de la variabilité de l'entrainement, elle s'est avérée être liée au début au surentrainement lorsque l'entrainement monotone est combiné avec des charges d'entrainement élevées. (Foster, et al., 2001)

Une monotonie supérieure à 2, peut engendrer une diminution de la capacité de performance et une augmentation de la fatigue. Et une monotonie supérieure à 2,5, une augmentation du taux de blessures et de maladie. (Foster, 1998).

La contrainte est un indice qui permet de déceler un entrainement inadapté. Il peut signifier une fatigue et un surentrainement au-delà de 6000 U.A par semaine, ou une augmentation du taux de blessure au-delà 10000 U.A. par semaine. Cette recherche a été réalisé chez des athlètes élites de patinage de vitesse de l'équipe nationale américaine. (Foster, 1998).

Pour calculer la contrainte, il faut multiplier la monotonie de l'entrainement par la somme de CE de la semaine (Équation 3 et tableau 3).

$Contrainte_{(U.A)} = Monotonie \times CE$

Équation 3 : Calcul de la Contrainte de la méthode RPE de Foster (1998)

	RPE	Temps (min)	CE
Lundi	5	60	300
Mardi	1	20	20
Mercredi	2	180	360
Jeudi	8	60	480
Vendredi	2	30	60
Samedi	5	50	250
Dimanche	3	200	600
Monotonie:			1,41
CE:			2070
Contrainte:			2916

Tableau 3 : Exemple de la contrainte calculée selon la méthode RPE de la Foster (1998)

Le « Fitness-Fatigue » est un indice de contraste de charge, il permet de savoir si l'athlète est dans une période de fatigue ou de récupération. Il permet de suivre la CE dans la programmation de l'entrainement. Banister et Hamilton en 1985 l'ont utilisés pour une différence entre 45 jours et 15 jours, mais Hulin en 2016 l'a utilisé avec une temporalité de 28 jours et 7 jours (équation 4, tableau 4)

$$Fitness - Fatigue_{U.A} = CE_{(CE\ des\ 4\ derniers\ semaine)} - CE_{dernière\ semaine}$$

Équation 4 : Calcul du Fitness-Fatigue de Banister et Hamilton (1985) adapté avec la temporalité de Hulin (2016)

	Charge d'Entrainement
Semaine 1 :	2500
Semaine 2 :	2700
Semaine 3:	3000
Semaine 4:	3200
Moyenne (4 semaine)	2850
Fitness - Fatigue:	-350

Tableau 4 : Exemple de calcul du Fitness-Fatigue de Banister et Hamilton 1985 adapté avec la temporalité de Hulin (2016)

1.3.3.3. ACWR et EWMA

Hulin et al. en 2016 ont étudié si la charge de travail aiguë et la charge de travail chronique prédisent des blessures chez les joueurs de la ligue de rugby d'élite. Ils définissent la charge aiguë comme la distance totale de la semaine en cours et la charge chronique comme la moyenne sur les 4 dernières semaines. Cette méthode utilise des moyennes que l'on appelle « glissantes ». ACWR (Ratio charge aigüe et charge chronique) est un ratio de deux moyennes glissantes, l'une de 28 jours et l'autre de 7 jours ; par exemple la première moyenne glissante se réalise du 1 janvier au 28 janvier pour la charge chronique et du 21 janvier au 28 janvier pour la charge aiguë. Afin de remettre ce ratio à jour, nous déplaçons cette moyenne d'un jour donc ici du 2 au 29 janvier pour la charge chronique et du 22 au 29 janvier pour la charge aiguë (Équation 5).

$$ACWR_{U.A} = \frac{Charge \ a\"{i}gue_{moyenne \ des \ 7 \ derni\`{e}rs \ jours}}{Charge \ Chronique_{moyenne \ des \ 28 \ derniers \ jours}}$$

Équation 5 : Calcul du Ratio Charge Aiguë sur Charge Chronique de Hulin et al (2016)

Les résultats ont démontré une augmentation du risque de blessure lorsque ce ratio était supérieur à 1,5, et que les sportifs qui se trouvaient entre 0,8 et 1,3 en ratio avait le moins de chance de se blesser. Ce qui démontre qu'il ne doit pas y avoir une trop faible charge aiguë par rapport à une forte charge chronique (Figure 6) (Hulin, et al., 2016).

Il y a deux façons de calculer ce ratio : d'une part, il peut être calculé de manière « couplée », en prenant en compte la semaine en cours dans le calcul de la charge chronique. D'autre part, il peut être calculé de manière « découplé », en n'incluant pas la semaine en cours et donc en calculant la charge chronique sur 3 semaines (21 jours). (Gabbett, et al., 2019)

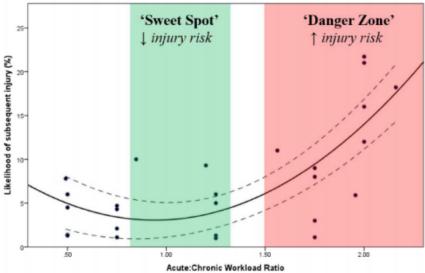


Figure 6 : représentation graphique du la zone « Sweet Spot » (sans risque de blessure entre 0,8 et 1,3. Et la zone de « Danger » avec une augmentation du taux de blessure (>1,5) Hulin (2016)

Gabbett et al. en 2019 ont utilisé l'ACWR, le ratio des charges aiguë et chronique ont été estimés à l'aide de la méthode RPE. Cette méthode a été critiquée par Menaspà en 2017 : il a trouvé deux limites. Les moyennes glissées ne tiennent pas compte des variations au cours de la période fixée et masquent les tendances générales de la CE. L'annexe 1 illustre cette limite : les athlètes fictifs 1, 2 et 3 ont des charges d'entrainement identiques pour la charge aiguë (dernière semaine) et chronique (moyenne des 4 dernières semaines), malgré des variations quotidiennes et des profils de charge très différents. Ainsi, le ratio charge aiguë/chronique est identique chez l'athlète 1, 2 et 3 (ACWR=1,43). La deuxième limite des moyennes glissées est qu'elles ne tiennent pas compte du moment où un stimulus donné s'est produit dans le délai fixé. Plus un stimulus est proche, plus il devra avoir un impact fort avec le ratio et plus il est loin, moins il devra avoir un impact important; cependant, l'utilisation de moyenne néglige cet aspect fondamental. (Menaspà, 2017)

Williams et al en 2017 ont modifié cette méthode en utilisant des moyennes glissées suivant une loi exponentielle. Utiliser une loi exponentielle permet de prendre plus en compte l'impact d'un stimulus proche que celui d'un stimulus éloigné. Plus le stimulus est proche, plus il aura un impact pour le calcul du ratio et plus on s'éloigne, moins il aura d'impact. Cette méthode s'appelle EWMA (Exponentially Weighted Moving Average) (Équation 6).

$$EWMA_{Quotidienne} = Charge_{Quotidienne} \times \lambda_a + ((1 - \lambda_a) \times EWMA_{Jour\ précédent})$$

Équation 6 : Calcul du Ratio charge aiguë sur charge Chronique qui suit une loi exponentielle de Williams et collaborateurs (2017)

Dans cette recherche, William a repris les critiques et les limites de Menaspà et a repris ses graphiques pour calculer l'EWMA sur chacun des 3 athlètes (Annexe 2).

Murray et al en 2017 ont démontré significativement que l'EWMA était bien plus précis que l'ACWR dans la prévention des blessures mais ne remettait pas en doute la méthode ACWR.

Nous venons de voir un ensemble de méthode. Au cours de notre études, nous utiliserons ces différentes méthodes:

- Calcul de charge d'entrainement de Foster (1996)
- Échelle de perception de l'effort de Foster (2001)
- Contrainte et Monotonie de Foster (1998)
- Fitness-Fatigue de Banister et Hamilton (1985) adapté avec la temporalité de Hulin et al en 2016

Mais nous regarderons aussi l'ensemble de ces méthodes sans en prendre compte dans notre planification et notre régulation :

- ACWR de Hulin (2016)
- EWMA de Williams et al (2017)

2. <u>Problématique</u>, <u>Objectifs et Hypothèse</u>

2.1. Problématique

Plusieurs études ont montré l'intérêt de l'utilisation de la méthode RPE comme outil de planification. Dans la littérature, les différentes études relatives à la RPE (Foster, 1998, Gabbett et al 2019), sont réalisées sur des sportifs de haut niveau dans une programmation de développement des performances de l'athlète. Toutefois, aucune étude à notre connaissance ne traite de l'influence de la méthode RPE comme outil de programmation et de suivi pour le développement de la puissance maximal aérobie chez des triathlètes amateurs. De plus aucune étude ne s'intéresse à l'ensemble des différentes méthodes utilisant le RPE dans le calcul de la charge interne.

2.2. Objectifs

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer les effets de la programmation grâce à la méthode RPE pour développer la puissance maximale aérobie chez le triathlète.

Le second objectif sera de comparer l'ensemble des méthodes de charges internes utilisant la méthode RPE.

2.3. Hypothèses

Nous émettons l'hypothèse que la puissance maximale aérobie va augmenter grâce à l'utilisation de la programmation par le biais de la méthode RPE.

Nous émettons une seconde hypothèse, pour laquelle il y aurait des différences significatives entre les méthodes de calcul de la charge interne pour nous permettre de retenir la ou les méthode(s) les plus adaptées pour le suivi de la charge interne de nos triathlètes.

3. Méthode:

3.1. Milieu Professionnel:

Cette étude s'est déroulée durant sept mois, d'Octobre 2019 à mi-Mars 2020 au sein du club de triathlon de Lomme. Une association de loi 1901, créée dans au début des années 2000 par la famille Dejaeghere pour répondre à une attente du monde sportif de Lomme afin notamment d'ancrer un club au sein d'une piscine existante depuis 1985.

3.2. Sujets:

Afin de réaliser mon étude, j'ai pu m'appuyer sur le groupe compétition du club avec une base de 10 sujets. 10 triathlètes amateurs ont donc pu participer à cette étude.

Voici la carte d'identité moyenne des athlètes de notre étude :

- Âge 24,5 ans \pm 6,36 années ;
- Taille 180,3 cm \pm 5,4 cm;
- Poids $-74.1 \text{ kg} \pm 7.55 \text{ cm}$;
- Expérience en Triathlon 3ans ± 1,41 ans.

Chaque triathlète est spécialisé dans une discipline de la FFTRI (Fédération Française de Triathlon) (Duathlète longue et courte distance, triathlète court et longue distance, aquathlète).

3.3. Matériel:

Les matériels que j'ai utilisé sont :

- Word Excel 2020
- Un pèse-personne/ Un ruban mètre
- Un odomètre
- Une piste d'athlétisme de 400m
- Une piscine de 25m
- Un Home Trainer connecté de la marque Tacx modèle « Fluide »
- MacBook Air (Ordinateur)
- Logiciel Zwift
- Montre GPS avec cardio-fréquencemètre au poignet (Norme IPX8)
- Roue avec un pneu home trainer
- Vélo individuel de chaque athlète

3.4. Protocole:

Octobre

• Recherche d'athlètes motivé pour participer à notre mémoire

Jovembre

- Période de test PMA/VMA/400m et mesure anthropométrique (Taille/Poids/Age)
- Entretien individuel d'explication du mémoire et de son déroulement
- Analyse individuelle des semaines d'entrainement entre septembre et octobre

Décembre

- Phase d'acclimatation avec l'utilisation de la méthode RPE pour l'athlète et phase de découverte de l'athlète
- Régulation chaque dimanche à la réception de la semaine effectuée

Janvier à mi-Mars

- Phase d'entrainement de 4 mésocycles d'entrainement (phase de développement de la puissance maximale aérobie)
- Chaque mésocyle est composé de trois semaines d'entrainement et d'une semaine de récupération sauf le dernier mésocyle qui est juste composé de 3 semaine de travail.
- Cette phase dure 15 semaines d'entrainement
- Régulation chaque dimanche à la réception de la semaine effectuée

Fin Mars

- Période de retest
- Période d'analyse des résultats

Période de test:

Un test « Vameval » de Carzorla pour évaluer la VMA, est un test incrémental de 0,5 km/h pour chaque palier qui dure 1 minute. (Dupouy, 2009). La durée du test maximale est de 10 minutes, c'est pour cela qu'un premier groupe commence au palier 1 (8 km/h) et qu'un second groupe au palier 4 (10 km/h). Ce test a été réalisé sur la piste de Lambersart de 400 mètres. Le test sera terminé lors qu'il sera impossible de terminer le palier en cours malgré des encouragements. Le deuxième test effectué est un test de puissance maximale aérobie. Le test a été réalisé sur un Home Trainer Connecté « Taxc Fuilde ») avec le logiciel Zwift qui gère automatiquement la puissance du home trainer, un cardio-fréquence-mètre est installé sur chaque athlète afin de vérifier son effort maximal. Le test commence à 100 Watts et il y a une incrémentation de 30 Watts par minutes (Czajkowski, 2016). Nous mettons un terme au test lorsqu'un palier n'a pas pu être terminé malgré un encouragement de notre part et une demande de perception de l'effort supérieure ou égale à 18/20 sur l'échelle de Borg (1973) est recueillie durant le test. Le troisième test est un 400m en crawl réalisé à la piscine de Lomme. Lavoie et Montpetit (1986) ont rapporté que le test de 400m semble être plus précis sur le terrain car il peut permettre aux athlètes d'atteindre leur puissance maximale dans des périodes plus courtes (Lavoie, Montpetit, 1986). Un échauffement est effectué avant le test (400m crawl + 200 4N + 4*50m crawl accélération). Nous prendrons en compte son résultat si la perception de l'effort est supérieure ou égale à 18/20 sur l'échelle de Borg de 6 à 20 de 1973.

Entretien de l'athlète:

On réalise un entretien individuel pour prendre en compte l'agenda individuel de l'athlète, son agenda sportif, et son passé athlétique avec ses blessures, son nombre d'entrainements et une explication sur le déroulement du mémoire.

Développement de la puissance aérobie :

Afin de développer la puissance maximale aérobie nous alternerons une séance de Puissance Maximale Aérobie (90% à 100% VMA/PMA/400m Natation) et une séance d'endurance fondamentale (65% de VMA/PMA/400m Natation) (Tableau 7). Nous avons basé notre programme de développement de la puissance maximale aérobie sur la méta-analyse de Wenger et Bell en 1986. Dans leur étude, il conclut qu'un protocole de développement de la puissance maximale aérobie peut avoir différents impacts en fonction du nombre de séance du protocole, du nombre de séance par semaine, de la durée par séance et de la VO2max des athlètes. Nous avons estimé une VO2max du groupe à 59,22 ml/kg/min ± 5,97ml/kg/min, ce calcul a été réalisé entre la moyenne de l'équation de Hawlay qui estime une VO2max en fonction de la PMA et l'équation de Léger Boucher qui estime une VO2max en fonction de

la VMA (Annexe 3). En Fonction de la VO2max, Wenger et Bell estiment que 3 entrainements de développement de VO2max par semaine d'une durée comprise entre 25 et 35 minutes (Annexe 5) en temps passé à VO2max est nécessaire pour avoir la meilleure progression de la VO2max (Annexe 4).. Le programme doit durer entre 10 et 11 semaines (Annexe 6). Nous avons réalisé un protocole plus long que 10 ou 11 semaine du fait qu'on avait 3 semaines avec une diminution de la charge et un début de protocole avec un temps passé plutôt entre 12 et 20 minutes à VO2max.

	Lundi		Mardi	Mercredi	
Cyclisme	2x(6*1' r:1') @100% PMA			2h EF	
Course à pied			1h EF	(6*400 r:1')x2 @100% VMA	
Natation	ation		1h EF		
	Jeudi Vendredi		I	Samedi	Dimanche
Cyclisme	Cyclisme				3h EF
Course à pied				Repos	1h EF
Natation	1h EF	4*100 @100% VMA r:30' 6*50 @105% VMA r:20'		110pos	

Tableau 5 : Exemple de programmation d'entrainement d'une semaine pour un triathlète (EF = Endurance Fondamentale à 65% VMA/PMA/Temps au 400m)

Planification individuelle:

Nous analysons tout d'abord les tests effectués par chaque athlète puis nous commençons à planifier l'entrainement durant la phase d'acclimations pour apprendre le fonctionnement de chaque athlète afin de pouvoir évaluer sa propre perception de l'effort. A la fin de la phase d'acclimatation, une planification d'un macrocycle est réalisée sur le développement de la puissance maximale aérobie dans chaque discipline. Le macrocycle complet est envoyé à chaque athlète (Annexe 4). Le macrocycle est composé de 3 mésocycles d'entrainement de 4 semaines et d'un mésocycle de 3 semaines. Pour chaque mésocycle nous utiliserons la temporalité 3 semaines d'entrainement avec une augmentation de la charge d'entrainement et une semaine de récupération avec une diminution de la charge d'entrainement. La semaine de récupération permet de récupérer des semaines d'entrainement (Figure 7).

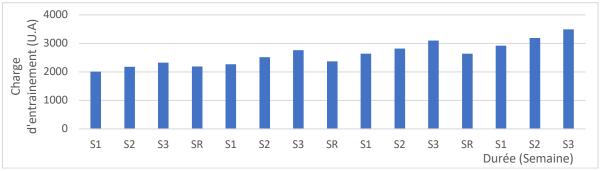


Figure 7 : Exemple d'évolution de la planification de la CE en fonction du temps chez un des triathlètes (S1, S2 et S3 sont des semaines de travail et SR est la semaine de récupération)

Pour planifier, nous estimons une planification prévisionnelle, avec la durée désirée durant la séance, pour l'entrainement à réaliser. Nous estimons une perception de l'effort en fonction de l'entrainement (durée et intensité) et de l'athlète. Nous pouvons estimer une CE journalière et hebdomadaire. Nous pourrons aussi estimer une monotonie, une contrainte et un fitness-fatigue. Cela nous permettra d'avoir un regard sur la programmation à long terme.

Régulation:

Pour réguler la CE, nous utilisons différentes méthodes :

- La méthode RPE de Foster de 1996 pour le calcul de la CE;
- La méthode de Foster de 1998 pour la contrainte et la monotonie ;
- L'adaptation du Fitness-Fatigue de Banister et Hamilton 1985 sur 4 semaines.

Nous recevons la semaine d'entrainement avec la durée et les perceptions d'effort effectuées par chaque athlète. Nous comparons le résultat avec le prévisionnel et s'il n'y a pas de différence alors nous continuons la planification prévisionnelle. Dans le cas inverse, nous analysons la contrainte, il ne faut pas la voir plafonner sur des valeurs trop haute (±6000 U.A). Nous analysons ensuite la monotonie en respectant le fait qu'elle ne dépasse pas 2. Et nous finissons par analyser le fitness-fatigue, qui doit rester négatif en période de travail et passer au positif en période de repos. Pour les analyses, la durée et la perception de l'effort sont rentrées dans le tableau Excel préalablement automatisé afin d'effectuer les calculs et de mettre à jour les graphiques (Figure 8 et 9).

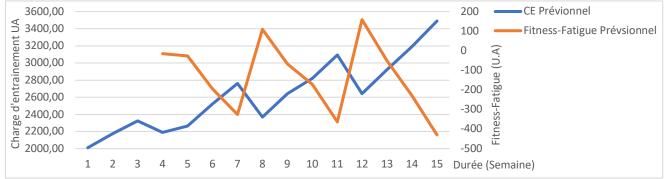


Figure 8 : Exemple d'évolution de la Charge d'entrainement du fitness-fatigue en fonction de la planification prévisionnelle de l'athlète $N^{\circ}I$ (S1, S2 et S3 sont des semaines de travail et SR est la semaine de récupération)



Figure 9 : Exemple d'évolution de la monotonie et de la contrainte en fonction de la planification prévisionnelle de l'athlète n°1 (S1, S2 et S3 sont des semaines de travail et SR est la semaine de récupération)

Nous comparons le réalisé et prévisionnel pour toujours réguler la charge d'entrainement pour la semaine d'après. Lorsqu'il y a une grosse différence entre les deux charges d'entrainement j'analyse chaque perception d'effort des sujets. Si une perception d'effort est différente que celle estimée par l'entraineur, alors une analyse de la charge externe et interne est réalisée avec la Fréquence Cardiaque, la Vitesse, la Puissance, la Cadence pour une séance de cyclisme (Annexe 7) et une analyse de la Fréquence Cardiaque, la Vitesse, l'altitude et de cadence pour une séance de course à pied (Annexe 8). Si après analyse, nous ne comprenons toujours pas sa note de perception, nous appelons le sportif. Pour l'analyse d'une séance de natation, nous étions présent lors de chaque séance donc lorsqu'une séance allait être estimer différemment que le prévisionnel nous étions déjà au courant.

Période de retest :

Entre le 16 Mars et le 22 Mars, les athlètes auraient dû repasser les tests de PMA/VMA et 400m mais malheuresement du fait de l'apparition du Covid-19, les retests n'ont pas pu être réalisé. prévisionnel

4.1. Traitement des données

Pour le traitement des données, nous avons mise en place deux calculs de monotonie différents :

- La première version est celle de Foster de 1998. (Monotonie V1) avec la prise en compte d'une valeur de charge d'entrainement par jour afin de calculer cette valeur de monotonie.
- La deuxième version (Monotonie V2) avec la prise en compte d'une valeur pour chaque entrainement effectué.

Comme la contrainte est liée à la monotonie, nous avions effectué de la même façon deux calculs de contrainte (Contrainte V1 et Contrainte V2) (Équation 7).

Contrainte $V1 = Monotonie V1 \times CE$ Contrainte $V2 = Monotonie V2 \times CE$

Équation 7 : Calcul de Contrainte V1 et Contrainte V2

Nous avons aussi analysé les données de Fitness-Fatigue Couplé en réalisant la différence de la moyenne des 28 derniers jours et la moyenne des 7 derniers jours et le Fitness-Fatigue Découplé en calculant la moyenne des 21 derniers jours tout en ne prenant pas en compte la dernière semaine et la moyenne de 7 jours de la dernière semaine. Nous effectuerons la même analyse pour le rapport ACWR Couplé et Découplé. (Gabbett, et al., 2019)

4.2. Analyse statistique:

Toutes les données présentées dans cette étude ont été produites avec le logiciel Microsoft Excel 2020. Les valeurs des différents paramètres sont exprimées par des moyennes ± les écarts-types standards à la moyenne.

Pour comparer si les athlètes ont développé leur puissance maximale aérobie entre le test en novembre et celui de mars. Nous effectuerons un test de Comparaison. Il existe deux tests différents, celui de Student pour des données paramétriques et celui de Wilcoxon pour des données non paramétriques. Pour vérifier si les données sont paramétriques, il faut effectuer deux tests, un test de normalité de Shapiro-Wilks et un test d'homogénéité des variances de Levene Médiane. La comparaison est considérée comme significative si la valeur de p<0,05.

Cette méthode statistique sera faite pour :

- La Charge d'entrainement prévisionnelle et réalisée ;
- La Monotonie V1 prévisionnelle et réalisée ;
- La Contrainte V1 prévisionnelle et réalisée ;
- Le Fitness-Fatigue prévisionnelle et réalisée ;
- La Monotonie V1 et V2;
- La Contrainte V1 et V2;
- Le Fitness-Fatigue Couplé et Découplé;
- L'ACWR Couplé et Découplé ;
- L'ACWR Couplé et l'EWMA.

Nous effectuerons ensuite un test de corrélation, si les données sont paramétriques nous ferons un test Spearman et si ce n'est pas le cas alors nous ferons un test de Bravais-Pearson, la corrélation sera significative à p<0,05.

Cette méthode statistique sera faite pour :

- La Monotonie V1 et V2;
- La Contrainte V1 et V2;
- Le Fitness-Fatigue Couplé et Découplé ;
- L'ACWR Couplé et Découplé ;
- L'ACWR Couplé et EWMA.

Pour chaque donnée, une moyenne, un écart-type, un quartile 1 (Q1), un quartile 3 (Q3), un maximum et un minimum seront calculés, pour permettre lors de l'analyse des résultats de pouvoir comprendre où se situe chaque donnée dans le groupe.

5. Résultat

5.1. Résultats attendus:

Ils ont tous suivi en moyenne 8,87 (±1,84) entrainements hebdomadaires et ils sont réalisé l'ensemble des séances programmés, ils n'ont raté aucun entrainement donc il devrait avoir progressés sur leur puissance maximale aérobie. Malheureusement suite à l'apparition du COVID-19 et la mise en place du confinement, nous n'avons pas pu réaliser les re-tests. Mais les résultats attendus étaient une amélioration de la puissance maximale aérobie. Un effet qui va en faveur de ce résultat par exemple chez notre sportif en annexe 9. Il était capable de faire 2x6*1' r:1' à 330 Watts durant la première semaine de confinement alors qu'en Décembre il a réalisé la même séance mais à une intensité de 300Watts.

5.2. Résultats obtenus :

Les résultats obtenus durant le test de décembre (Tableau 6)

	Course à pied	Cyclisme	Natation
Athlètes	VMA:	PMA (Watt)	Temps sur 400m
1	18,5	340	05:45
2	18	370	06:00
3	18	340	05:43
4	19,5	310	06:01
5	16	280	05:27
6	20	310	07:15
7	19,5	280	04:34
8	17	310	07:15
9	16,5	250	08:00
10	19	300	07:00
Moyenne	18,2	309	06:18
Ecart-type	1,36	34,79	01:02

Tableau 6 : Résultat des Test VMA, PMA et du 400m avant le protocole des 10 athlètes avec la moyenne et l'écart type.

Pour les résultats obtenus entre le prévisionnel et le réalisé ; il n'y a aucune différence significative pour la charge d'entrainement, la monotonie V1, la contrainte et le fitness-fatigue. (Tableau 7, annexe 9 et 10).

	CE	CE	Monotonie V1	Monotonie	Contrainte V1	Contrainte	Fitness-Fatigue	Fitness-Fatigue
	Prévisionnelle	Réalisée	Prévisionnelle	V1 Réalisée	Prévisionnel	Réalisée	Prévisionnel	Réalisé
Moyenne:	2540,64	2548,34	1,38	1,39	3612,87	3629,16	-102,43	-113,45
Écart-type	793,80	834,98	0,27	0,28	1424,64	1459,06	299,17	345,69
Max	5125	5428,1	2,02	2,24	7812,22	7701,51	2038,75	2234,45
Min	0	0	0	0	0	0	-863,75	-1099,65
Q1	2056,25	2067,62	1,20	1,20	2480,45	2658,69	-237,81	-282,89
Q3	2938,75	2991,47	1,58	1,57	4548,09	4560,93	0	0

Tableau 7 : Moyenne, écart-type, maximum, minimum, quartile 1 (Q1) et quartile 3 (Q3) du prévisionnel et du réalisé de la CE (Charge d'entrainement), de la monotonie, de la contrainte et du fitness-fatigue.

Il y a une différence significative entre la monotonie V1 et V2 mais il y a aussi une corrélation significative. (Tableau 8, annexe 12) Le résultat est identique entre Contrainte V1 et V2.

	Monotonie V1	Monotonie V2	Contrainte V1	Contrainte V2
Moyenne	1,39	1,45 * °	3629,16	3782,19 **
Écart-type	0,28	0,33	1459,06	1525,62
Max	2,24	2,50	7701,51	7513,32
Min	0	0	0	0
Q1	1,20	1,25	2658,69	2865,49
Q3	1,57	1,63	4560,93	4767,72

Tableau 8: Moyenne, écart-type, maximum, minimum, quartile 1 (Q1) et quartile 3 (Q3) de monotonie, contrainte des versions 1 et 2. *Différence significative à P<0.05 *Corrélation significative à P<0.05

Il y a une différence significative entre le fitness-fatigue "couplé" et "découplé" mais il y a aussi une corrélation significative. (Tableau 9, annexe 13)

	Fitness-Fatigue "Couplé"	Fitness-Fatigue "Découplé"
Moyenne	-113,45	-151,26 * °
Écart-type	345,69	460,92
Max	2234,45	2979,27
Min	-1099,65	-1466,2
Q1	-282,89	-377,19
Q3	0	0

Tableau 9 : Moyenne, écart-type, maximum, minimum, quartile 1 (Q1) et quartile 3 (Q3) du fitness-fatigue couplée et découplée *D0; D1 *D2 *D3 *D4 *D5 *D6 *D6 *D7 *D8 *D9 *D9

Il y a une différence significative entre ACWR "couplée" et "découplée" mais il y a aussi une corrélation significative. (Tableau 10, annexe 14)

	ACWR "Couplée"	ACWR "Découplée"
Moyenne:	1,06	1,09 * °
Écart-type	0,18	0,26
Max	1,94	2,82
Min	0	0
Q1	0,99	0,99
Q3	1,13	1,19

Tableau 10 : Moyenne, écart-type, maximum, minimum, quartile 1 (Q1) et quartile 3 (Q3) d'ACWR couplée et découplée *Différence significative à P<0.05 °Corrélation significative à P<0.05

Il y a une différence significative entre ACWR Couplée et EWMA mais il y a aussi une corrélation significative (Tableau 11, annexe 15 et 16)

	EWMA	ACWR "Couplée"
Moyenne	1,15	1,06 * °
Écart-type	0,18	0,18
Max	1,81	1,94
Min	0,29	0
Q1	1,08	0,99
Q3	1,25	1,13

Tableau 11 : Moyenne, écart-type, maximum, minimum, quartile 1 (Q1) et quartile 3 (Q3) d'ACWR couplée et EWMA *Différence significative à P<0.05 °Corrélation significative à P<0.05

6. <u>Limite du protocole :</u>

Nous avons déterminé plusieurs limites à notre protocole, à la fin de celui-ci, nous avons observé un retard dans la notation de la perception d'effort, ce qui peut amener une légère modification du ressentie. Quelques sportifs avaient des compétitions durant le protocole, ce qui à obliger l'entraineur à modifier la CE pour être performant durant cette compétition, donc à supprimer ou modifier des entrainements d'amélioration de puissance maximale aérobie. Lors de ma régulation, je n'ai utilisé que le Fitness-Fatigue, la monotonie et la contrainte. Si c'était à refaire, je pourrais essayer de réaliser le protocole sur plusieurs groupes, un groupe utilisant l'ACWR, un autre l'EWMA, un autre le Fitness-Fatigue afin de visualiser d'évolution des différentes méthodes de les comparer entre elle lors de l'analyse des résultats.

7. Bibliographie

Articles et livres :

- Banister, E. W., Hamilton, C. L. (1985). *Variations in iron status with fatigue modelled from training in female distance runners.* **54**, 16-23.
- Banister, E. W., Calvert, I. W., Savage, M. V., Bach, I. M. (1975). A system model of training for athletic performance. American Journal of Sports Science and Medicine, 7, 57-61.
- Blanch, P., Gabbett, T. (2016). Has the athlete trained enough to return to play safely? The acute:chronic workload ratio permits clinicians to quantify a player's risk of susequent injury. British Journal of Sports Medecine, **50**, 471-475.
- Borg, G. (1970). Perceived exertion as an indicator of somatic stress. Scand J Rehabil Med, 2, 92-98.
- Borg, G. (1973). *Perceived exertion: a note on "history" and methods*. Medicine and Science in Sports, 5, 90-93.
- Borg, G. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. Med Sci Sports Exerc, 14, 377-381.
- Borg, G., Neely, G. (1992). *On the perception of exertion and some psychophysiological relations*. 47-52.
- Borresen, J., Lambert, M. (2009). *The Quantification of Training Load, the Training Response and the Effect on Performance*. Sports Med, **39**, 779-795.
- CNDS, I. M. (2010). Pratiques physique et sportives en France 2010.
- Czajkowski, M. (2016). Etude du temps limite à PMA sur terrain plat et en montée à partir de l'utilisation du profil de Puissance Record. Université de Franche-Conté.
- Delextrat, A., Bernard, T., Vercruyssen, F., Hausswirth, C., Brisswalter, J. (2003). *Influence of drafting during swimming on ratings of perceived exertion during a swim-to-cycle transition in well-trained triathletes*. Perceptual and Motor Skills, **96**, 664-666.
- Dupouy, Y. (2009). Etude comparée de quatre tests de terrain pour déterminer la Vitesse Aérobie Maximale (V.A.M.). Université Victor Segalen Bordeaux 2.
- Edwards, S. (1993). High performance training and racing. The Heart rate monitor book, 113-123.
- Foster, C. (1998). *Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome*. Medecine & Science in Sports & Exercise, **30**, 1164-1168.
- Foster, C., Daines, E., Hector, L. (1996). *Athletic performance in relation to training load*. Wisconsin Medical Journal, 370-374.
- Foster, C., Florhaug, J., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L., Parker, S., Doleshal, P., Dodge, C. (2001). *A new approach to monitoring exercise training*. Journal of Strength and Conditioning Research, **15**, 109-115.
- Gabbett, T., Hulin, B., Blanch, P., Chapman, P., Bailey, D. (2019). To Couple or not to Coupke? For Acute: Chronic Workload Ratios and Injury Risk, Does it Really Matter? International of Sports Medicine, 40, 597-600.
- Gabriel, H., Urhausen, A., Valet, G., Heidelbach, U., Kindermann, W. (1998). *Overtraining and immune system: a prospective longitudinal study in endurance athletes.* Med Sci Sports Exerc, **30**, 1151-1157.
- Halson, S. (2014). *Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes*. Sports Medecine, **44**, 139-147.

- Hawley, J., Noakes, T., (1992) *Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists* Eur J Appl Physiol, **65**, 79-83
- Hellard, P., Avalos-Fernandes, M., Lefort, G., Pla, R., Mujika, I., Toussaint, J., Pyne, D. (2019). Elite Swimmers' Training Patterns in the 25 Weeks Prior to Their Season's Best Performances:

 Insights Into Periodization From a 20- Years Cohort. Frontiers in Physiology, 10(363), 1-16.
- Hulin, B., Gabbett, T., Lawson, D., Caputi, P., Sampson, J. (2016). The acute:chronic workload ratio predicts injury: high chronic workload may decrease injury risk in elite rugby league players. British Journal of Sports Medicine, **50**, 231-236.
- Issurin, V. (2008). *Block periodization versus traditional training theory : A review*. The journal of sports medecine and physical fitness, **48**, 65-75.
- Issurin, V. (2010). *New Horizons for the Methodology and Physiology of Training Periodization*. Sports Med, **40**, 189-206.
- Kuntzer, G., Gremion, T. (2014). Fatigue et réduction de la performance motrice chez le sportif sundrome de surentrainement. Revue Médicale Suisse, **10**, 962-965.
- Lavoie, J., Montpetit, R. (1986). Applied Physiology of Swimming. Sports Medicine, 3, 165-189.
- Lehénaff, D., Hélal, H. (1997). *Un sport, deux enchaînements, trois disciplines : le triathlon.* Les Cahiers de l'INSEP, **20**.
- Léger, L., Boucher, R. (1980) An indirect Continuous Running Multistage Filed Test: The Université Montréal Track Test. Canadian Journal of Applied Sports Sciences, 5, 77-84.
- Menaspà, P. (2017). Are rolling averages a good way to assess training load for injury prevention? British Journal of Sports Medecine, **51**, 618-619.
- Millet, G., Bentley, D. (2004). *The Physiologica Responses to Runnung After Cycling in Elite Junior and Senior Triathletes*. International Journal of Sports Medicine, **25**, 191-197.
- Millet, G., Candau, R., Barbier, B., Busso, T., Rouillon, J. (2002). *Modelling the Transfers of Training Effects on Performance Triathletes*. Sport Medicine 2002, **23**, 55-63.
- Mujika, I., Chatard, J., Busso, T., Geyssant, A., Barale, F., Lacoste, L. (1995). *Effects of Training on performance in competitive swimming*. Canadian Journal of Applied Physiology, **20**, 395-406.
- Mujika, I., Padilla, S., Geyssant, A., Chatard, J. (1998). *Hematological Responses to training and taper in competitive swimmers: relationships with performance*. Archives of Physiology and Biochemisty, **5**, 379-385.
- Murray, N., Gabbett, T., Townshend, A., Blanch, P. (2017). Calcuating acute:chronic workload ratios using exponentially weighted moving averages provides a more sensitive indicator of injury likelihood than rolling averages. British Journal of Sports Medicine, **51**, 749-754.
- Olcina, G., Ángel Perez-Sousa, M., Escobar-Alvarez, J., Timón, R. (2019). Effects of cycling on Subsequent Running Performance, Stride Length, and Muscle Oxygen Saturation in Triathletes. MDPI, 7, 115.
- Olcina, G., Perez-Sousa, M., Escobar-Alvarez, J., Timón, R. (2019). Effects of Cycling on Subsequent Running Performance, Stride Length, and Muscle Oxygen Saturation in Triathletes. MDPI.
- Petibois, C., Cazorla, G., Déléris, G., Gin, H. (2001). L'étiologie clinique du surentraînement au travers de l'examen sanguin : état des connaissances. Revue de Médecine Interne, 22, 723-736.
- Platonov, V. (1988). L'entrainement Sportif. Théorie et Méthodologie. Editions Revue EPS.
- Pollock, M. (1973). *The Quantification of Endurance Training Programs*. Exercise and Sport Sciences Reviews, **1**, 155-188.

- Savard, C. (2002). *Processus d'adaptation à la charge d'entrainement : particularités et complications*. Cahiers de l'INSEP, **33**, 137-145.
- Shephard, R., Vandewalle, H., Gil, V., Bouhlel, E., Monod, H. (1992). Respiratory muscular and overall perceptions of effort: the influence of hypoxia and muscle mass. Official Journal of the American College of Sports Medicine, 24, 556-567.
- Wenger, H., Bell, J. (1986) *The Interaction of Intensity, Frequency and Duration of Exercise Training in Altering Cardiorespiratory Fitness* Sports Medicine, **3**, 346-356.
- Williams, S., West, S., Cross, M., Stokes, K. (2017). *Better way to determine the acute:chronic workload ratio?* British Journal of Sports Medicine, **21**, 209-210.
- Windt, J., Gabbet, T. (2018). Is it all for naught? What does mathematical coupling mean for acute: chronic workload ratios? British Journal of Sport Medicine, 988-990.

Site internet:

- FFTRI. (2018). Fédération Française de Triathlon. Consulté le Janvier 7, 2020, sur https://www.fftri.com/pratiquer/disciplines/triathlon/
- Nolio. (2020). Partenaire de votre entrainement. Consulté le Mai 12, 2020, sur https://www.nolio.io/

<u>Liste des Figures :</u>

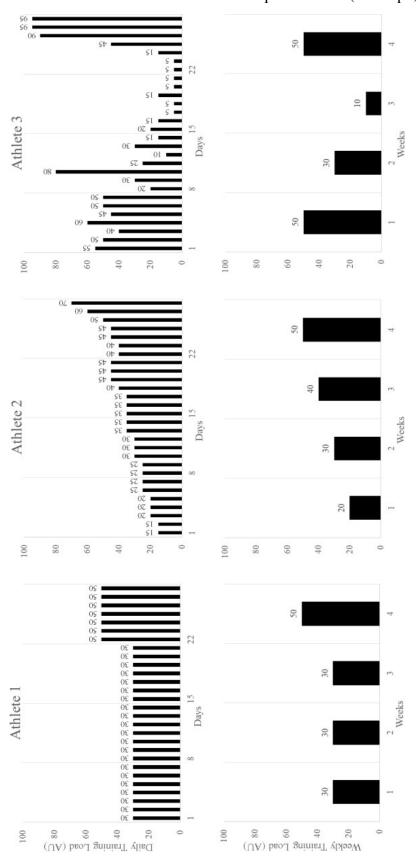
Figure 1: Amelioration du modele de periodisation traditionnelle d'un pic à trois pics	
(Issurin, 2010)	9
Figure 2 : Phénomène de surcompensation (Savard, 2002)	11
Figure 3 : Phénomène d'entrainement (Savard, 2002)	11
Figure 4 : Phénomène de surentrainement (Savard, 2002)	11
Figure 5 : Echelle RPE de Foster (2001)	14
Figure 6 : Représentation graphique du la zone « Sweet Spot » (sans risque de blessure entre 0,8 et 1,3. Et la zone de « Danger » avec une augmentation du taux de blessure (>1,5) Hulin	
(2016)	17
Figure 7 : Exemple d'évolution de la planification de la CE en fonction du temps chez un des triathlètes (S1, S2 et S3 sont les semaines de travail et SR est la semaine de récupération)	23
Figure 8 : Exemple d'évolution de la Charge d'entrainement du fitness-fatigue en fonction de la planification prévisionnelle de l'athlète N°1 (S1, S2 et S3 sont des semaines de travail et	
SR est la semaine de récupération)	
Figure 9 : Exemple d'évolution de la monotonie et de la contrainte en fonction de la planification	
prévisionnelle de l'athlète n°1 (S1, S2 et S3 sont des semaines de travail et SR est la	
semaine de récupération)	24

<u>Liste des tableaux :</u>

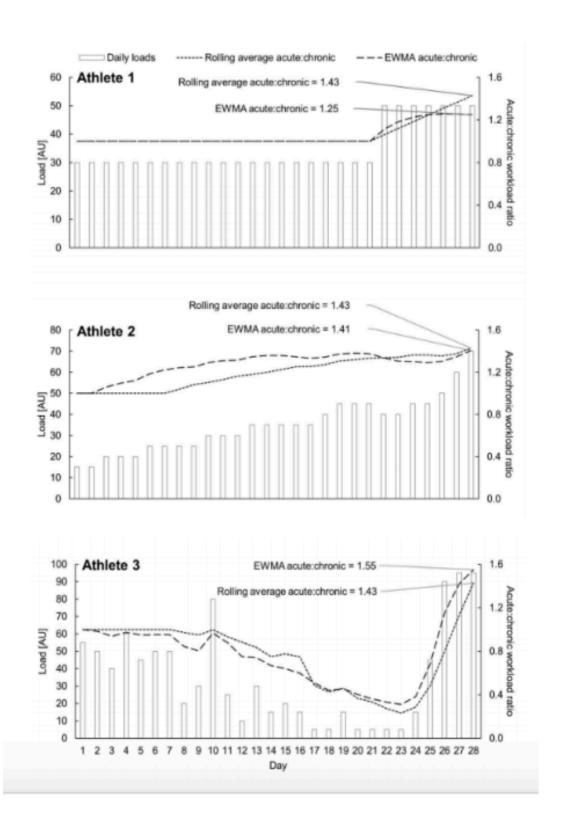
Tableau 1 : Exemple de calcul de CE grâce à la méthode RPE de Foster (1996))
Tableau 2 : Exemple de calcul de la monotonie de la méthode RPE de Foster (1998) 15	,
Tableau 3 : Exemple de la contrainte calculée selon la méthode RPE de la Foster (1998) 16	,
Tableau 4 : Exemple de calcul du Fitness-Fatigue de Banister et Hamilton 1985 adapté avec la	
temporalité de Hulin (2016)	ó
Tableau 5 : Exemple de programmation d'entrainement d'une semaine pour un triathlète (EF =	
Endurance Fondamentale à 65% VMA/PMA/Temps au 400m)	3
Tableau 6 : Résultat des Test VMA, PMA et du 400m avant le protocole des 10 athlètes avec la	
moyenne et l'écart type	7
Tableau 7 : Moyenne, écart-type, maximum, minimum, quartile 1 (Q1) et quartile 3 (Q3) du	
prévisionnel et du réalisé de la CE (Charge d'entrainement), de la monotonie, de la	
contrainte et du fitness-fatigue.	ζ
Tableau 8 : Moyenne, écart-type, maximum, minimum, quartile 1 (Q1) et quartile 3 (Q3) de	
monotonie, contrainte des versions 1 et 2. *Différence significative à P<0,05 °Corrélation	
significative à P<0,05	
Tableau 9 : Moyenne, écart-type, maximum, minimum, quartile 1 (Q1) et quartile 3 (Q3) du fitness-	
fatigue couplée et découplée *Différence significative à P<0,05 °Corrélation	
significative à P<0,05	ζ
Tableau 10 : Moyenne, écart-type, maximum, minimum, quartile 1 (Q1) et quartile 3 (Q3) d'ACWR	
couplée et découplée *Différence significative à P<0,05 °Corrélation significative à	
P<0,05)
Tableau 11 : Moyenne, écart-type, maximum, minimum, quartile 1 (Q1) et quartile 3 (Q3) d'ACWR	
couplée et EWMA*Différence significative à P<0,05 °Corrélation significative	
à P<0.05)
Liste des équations :	
Équation 1 : Calcul de la CE avec la méthode RPE de Foster (1996)15	;
Équation 2 : Calcul de la monotonie de la méthode RPE de Foster (1998)	;
Équation 3 : Calcul de la Contrainte de la méthode RPE de Foster (1998)	í
Équation 4 : Calcul du Fitness-Fatigue de Banister et Hamilton (1985) adapté avec la temporalité de	
Hulin (2016)	ó
Équation 5 : Calcul du Ratio Charge Aiguë sur Charge Chronique de Hulin et al (2016)	
Équation 6 : Calcul du Ratio charge aiguë sur charge Chronique qui suit une loi exponentielle de	
Williams et collaborateurs (2017)	3
Équation 7 : Calcul de Contrainte V1 et Contrainte V2	

8. Annexe

Annexe 1 : Charge d'entrainement quotidiennes de l'athlète 1, 2 et 3 sont indiquées en haut. Les charges d'entrainement hebdomadaire sont indiquées en bas. (Menaspà, 2017)



Annexe 2 : Comparaison de l'accumulation de la charge d'entrainement avec la méthode de ACWR (Rolling average acute :chronique) et la méthode EWMA (Exponentially Weighted Moving Average) (Williams, West, Cross, Stokes, 2017).



Annexe 3 : Estimation de la VO2max (Consommation maximale d'oxygène) en fonction de l'équation d'Hawley (1992) et Léger et Boucher (1980)

Athlètes	Wenger 1986	Léger et Boucher 1980	Moyenne :
1	57,53	65,22	61,37
2	70,56	63,56	67,06
3	58,30	63,56	60,93
4	51,59	68,60	60,09
5	45,37	57,07	51,22
6	60,18	70,31	65,25
7	55,84	68,60	62,22
8	52,96	60,28	56,62
9	36,53	58,67	47,60
10	52,85	66,90	59,88
Moyenne	53,80	64,17	59,22
Ecart-type	9,50	4,75	5,97

Annexe 4 : Pourcentage de progression de la VO2max en fonction de la fréquence d'entrainement et du niveau de forme initial à VO2max (Wenger et Bell, 1986).

Variable		Frequency (sessions/week)					
		2	3	4	5	6	
Initial fitness leve	el 30-40	8.4 (25.6)	6.6 (19.1)	7.6 (21.1)	13.4 (43.9)	16.8 (43.5)	
VO _{2 max} (ml/kg/min)	40-50 50-60	4.6 (10.7) - 0.3	4.1 (9.2) 3.9 (7.4)	7.5 (17.2)	5.2 (11.4) 2.1 (4.1)	8.7 (20.3) 2.4 (4.1)	

Annexe 5 : Pourcentage de progression de la VO2max en fonction de la durée de l'intensité et du niveau de forme initial à VO2max (Wenger et Bell, 1986).

		Duration (min/session)		
		15-25	25-35	35-45
Initial fitness	30-40	7.5 (21.1)	6.6 (17.6)	7.9 (2.1)
VO _{2 max}	40-50	5.9 (13.1)	5.2 (12)	7.8 (17.6)
(ml/kg/min)	50-60	2.8 (5.3)	4.5 (8.4)	3.1 (5.4)

Annexe 6 : Pourcentage de progression de la VO2max en fonction de la fréquence d'entrainement et du niveau de forme initial à VO2max (Wenger et Bell, 1986).

		Programme length (weeks)				
		5-7	8-9	10-11	12-14	> 15
Initial fitness	30-40	6.5 (16.8)	7.0 (19.8)	11.9 (32.4)	5.8 (17.1)	6.1 (17.6)
level	41-50	4.7 (10.4)	6.1 (13.9)	5.8 (13.2)	4.9 (11.2)	5.6 (12.8)
VO _{2 mex} (ml/kg/min)	51-60	1.8 (3.3)	3.0 (5.7)	3.7 (6.9)	3.4 (6.6)	

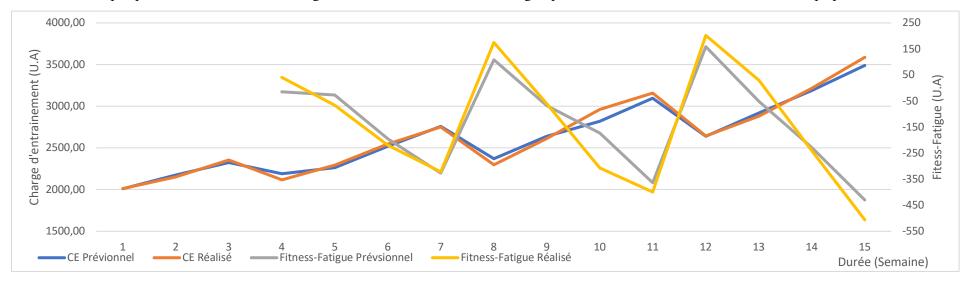
Annexe 7 : Analyse de la charge externe avec la fréquence cardiaque (Battement par minutes), la vitesse (km/h) la puissance(Watt) et la cadence (Révolution par minutes) d'une séance de cyclisme sur l'application nolio.io



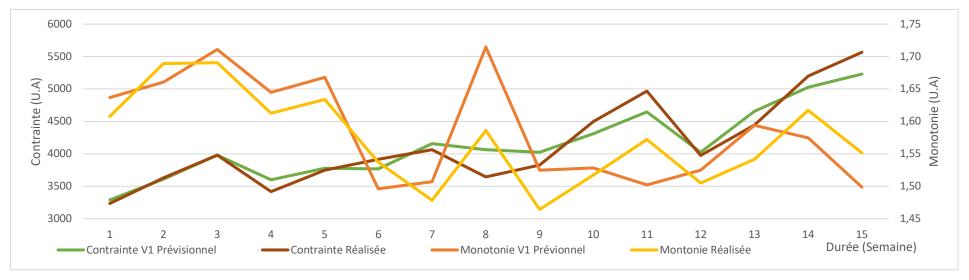
Annexe 8 : Analyse de la charge externe avec la fréquence cardiaque (battement par minutes), la vitesse (min/km) et la cadence (pas par minutes) d'une séance de course à pied sur l'application nolio.io



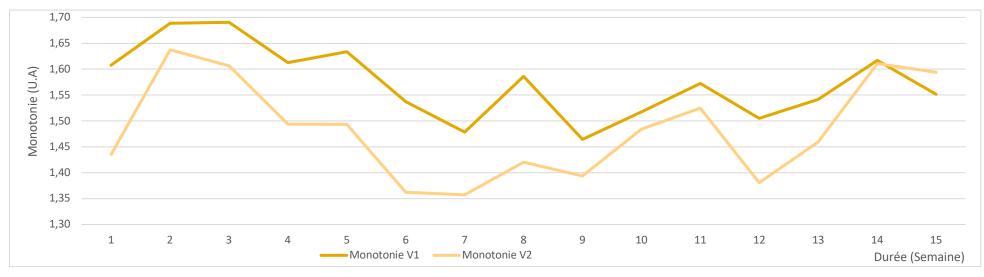
Annexe 9 : Graphique de l'évolution de la charge d'entrainement, du fitness-fatigue prévisionnel et réalisé en fonction du temps pour l'athlète n°1



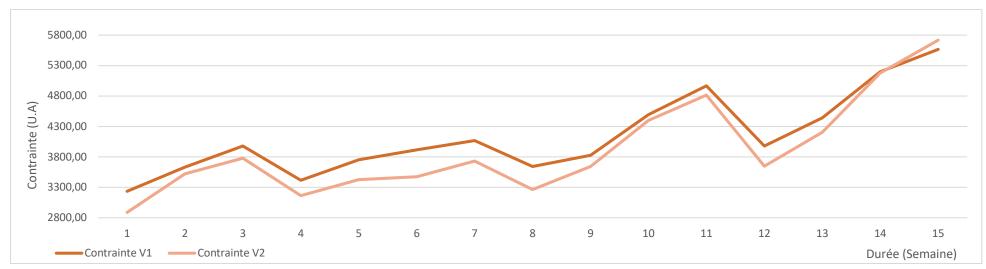
Annexe 10: Graphique de l'évolution de la contrainte, de la monotonie prévisionnel et réalisé en fonction du temps pour l'athlète n°1



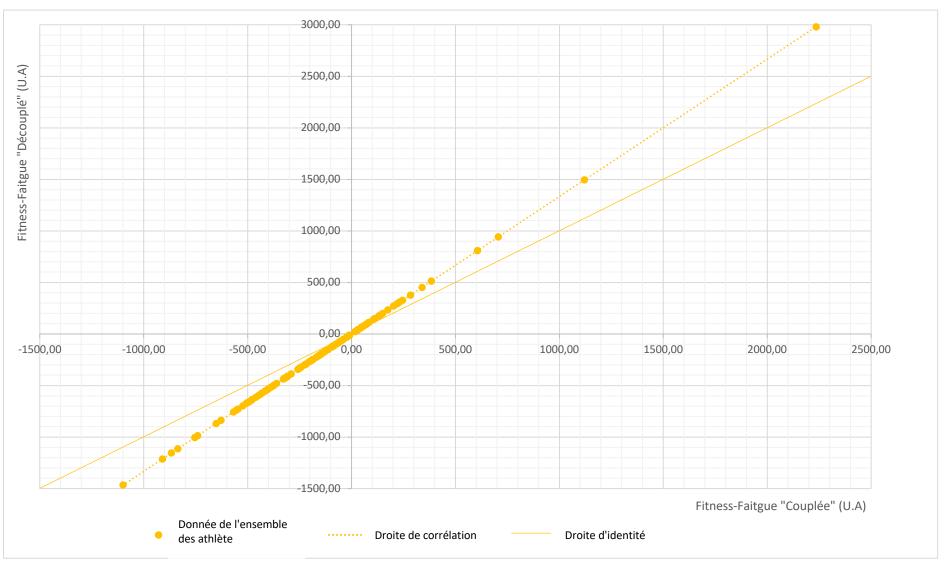
Annexe 11 : Graphique d'évolution la monotonie V1 et V2 en fonction du temps pour l'athlète n°1



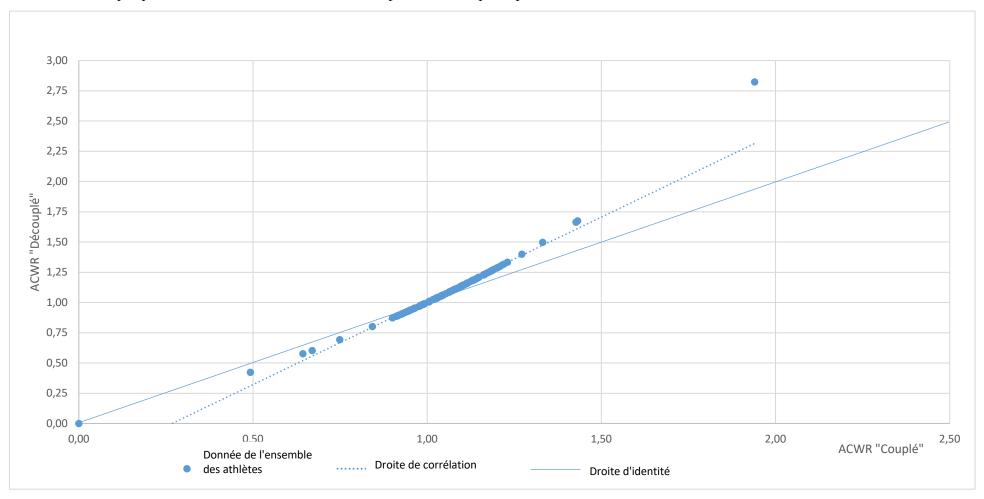
Annexe 12 : Graphique de l'évolution de la contrainte V1 et V2 en fonction du temps pour l'athlète n°1



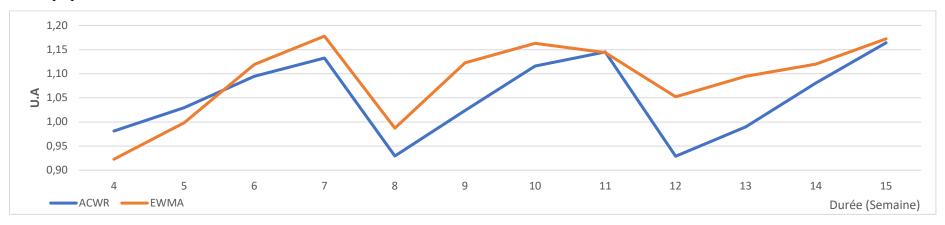
Annexe 13 : Graphique de la relation entre fitness-Fatigue "Couplée" et "découplée" pour l'ensemble des athlètes



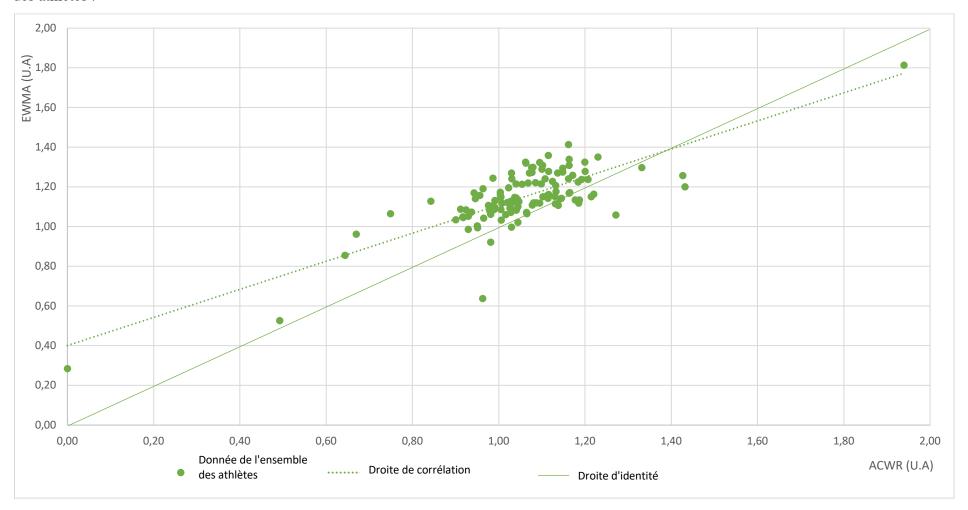
Annexe 14 : Graphique de la relation entre ACWR "Découplée" et "Couplée" pour l'ensemble des athlètes



Annexe 15 : Graphique de l'évolution d'ACWR (Acute Chronic Workload ratio) et EWMA (Exponentially Weighted Moving Average) en fonction du temps pour l'athlète n°1 :



Annexe 16 : Graphique de la relation entre Acute Chronic Workload ratio) et EWMA (Exponentially Weighted Moving Average) pour l'ensemble des athlètes :



Résumé et mots clés

Français

Objectif: l'objectif de cette étude est d'analyser les effets de la programmation grâce à la méthode RPE

pour développer la puissance maximale aérobie chez le triathlète amateur. Nous comparerons les

méthodes utilisant la perception d'effort.

Méthode: Nous avons réalisé 3 tests ; VMA/PMA/400m pour 10 Triathlète puis chaque athlète a réalisé

une programmation sur 15 semaines avec une régulation de la charge d'entrainement chaque dimanche

pour la semaine d'après. La programmation était axés sur le développement de la puissance maximal

aérobie chez chaque triathlète.

Résultats: Malheureusement avec l'arrivée du Covid-19, nos résultats n'ont pas été finaliser dans

passages des nouveaux test PMA/VMA et 400m pour conclure si la programmation a été suffisante chez

chaque triathlète pour faire progresser sa puissance maximal aérobie. Aucune différence significative

n'a été observée entre la planification prévisionnelle et réalisée. Par contre des différences significatives

(p<0,05) ont été déterminées entre les différentes méthodes de calcul de la charge interne utilisant la

méthode RPE.

Conclusion: Une programmation précise doit être adaptée et progressive pour chaque individu, les

sollicitations sont appliquées en fonction de la capacité personnelle de l'individu. Il est primordial de

respecter l'adéquation entre l'objectif visé et les qualités à développer. Elle doit être continu car les

bénéfices acquis par l'entrainement sont temporaires, réversibles, et sollicitant car les charges

d'entrainement doivent contraindre régulièrement l'organisme à s'adapter pour progresser. Tout cela a

été respecté chez nos triathlètes en utilisant la méthode de calcul de charge de Foster (1996), la contrainte

et monotonie de Foster (1998), l'échelle de perception de l'effort de Foster (2001) le Fitness-Fatigue de

Banister 1985 adapté avec la temporalité de Hulin et al 2016.

Mots clés: Puissance/Aérobie/Méthode RPE/Planification

Compétences acquises : Planification de la charge d'entrainement / Gestion d'un groupe de triathlètes

amateurs/ Utilisation la méthode RPE / Avoir une rigueur scientifique

46

English

Objective: The aim of this study is to analyze the programming effect through the RPE method in order

to develop the maximum aerobic power of an amateur athlete. We will compare the methods using the

effort perception.

Method: We have made 3 tests: Velocity at Maximal oxygen uptake (vVO2max)/Maximal Aerobic

Power/400m for 10 triathletes. Then every athlete has achieved their programming for 15 weeks with a

regulation of the training load each Sundays for the week after. The programming was focused on the

development of the Maximal Aerobic Power of every triathlete

Results: Unfortunately, with the Covid-19 situation, we have not been able to execute the final phase of

testing. We cannot have a definitive conclusion to understand if the programming has been efficient on

the Maximal Aerobic Power's progress of every triathletes.

However, early results have been noticed on the use of monotony and strain with a new method of

calculation with a significant difference (P<0.05)

Conclusion: A precise programming must be adapted and regulated with each athlete; the efforts are

applied based on the athlete's ability. It is important to respect the balance between targeted objective

and quality to develop. The program must be continuous because the benefits acquired through training

are temporary, reversible and strained because the training load must restraint regularly the organism to

adapt in order to progress. It all has been accepted by our triathletes using the Foster's RPE method

(1996), Foster's constraint and monotony (1998), Foster's effort perception scale (2001), Banister

Fitness-Fatigue (1985) adapted with Hulin et al. temporality (2016).

Key Words: Power/Aerobic/RPE Method/Programming

47