



Université Victor Segalen Bordeaux 2
Faculté des Sciences du Sport
et de l'Éducation Physique



Les effets biologiques et physiologiques des différents types de travail intermittent.

Par Couture Philippe

***Mémoire de Master 1
Ingénierie de l'Entraînement Sportif
Promotion 2006 – 2007
Mai 2007***

***Tuteur interne :
Georges Cazorla et Norbert Krantz***

***Tuteur externe :
François Ruiz***

REMERCIEMENTS

J'attribue principalement la réussite de cette expérimentation à une collaboration et un travail d'équipe où j'ai pris un réel plaisir.

Pour l'élaboration de ce mémoire je remercie mon directeur de recherche Mr G.Cazorla pour son dévouement, ses orientations de travail, et les connaissances qu'il a su me transmettre. J'associe à cette réussite Lamia Boussadi, qui a participé à la mise en place et au bon déroulement du protocole.

J'adresse aussi mes remerciements à Léo Gerville Réach et Sébastien Orazio les statisticiens de la faculté pour leur patience et leur compétence, et sans qui les résultats n'auraient pu être validés

Une attention particulière à JérémY Arrivé, étudiant en Master 1 « entraînement, » qui, tout au long de l'année, m'a aidé et soutenu avec compétence, disponibilité, sincèrement merci.

Je remercie également Norbert Krantz, responsable de la formation, pour ses qualités humaines et son expérience et évidemment, Sylvie Periou, la secrétaire de l'UFR STAPS pour sa fonction indispensable au sein de la faculté.

J'exprime ma reconnaissance et mon amitié à Nicolas Molinié, préparateur physique, qui a participé à la réalisation de l'expérimentation et assurer le suivi des entraînements de cette année.

Je remercie le centre de formation de rugby, son directeur G.Lafitte, G.Mayout ainsi que tous les joueurs talentueux qui ont participé, avec un réel investissement, à cette expérimentation

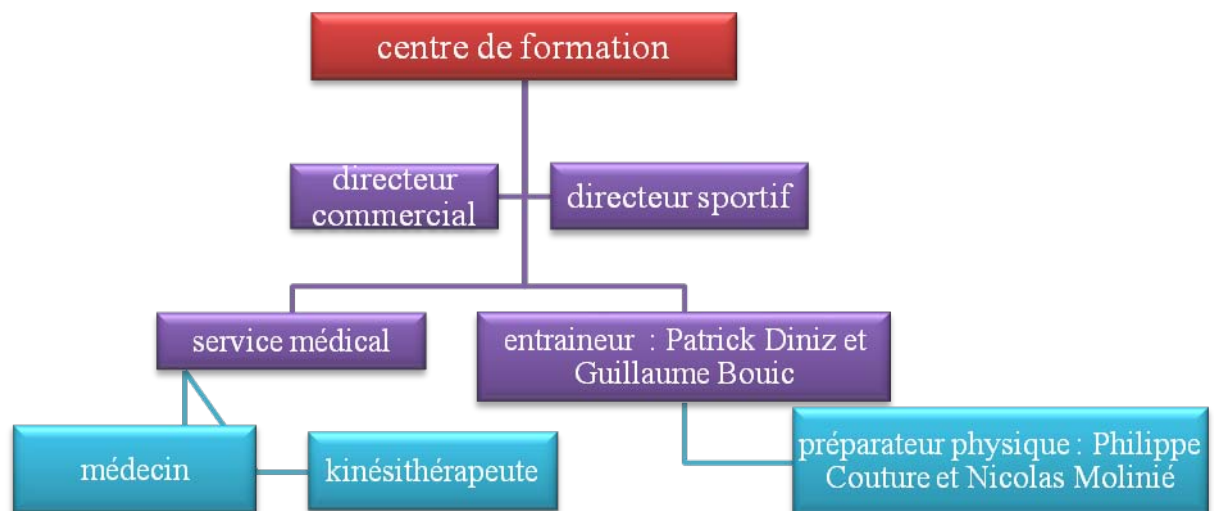
A vous tous merci

LE RUGBY AU CENTRE DE FORMATION DU SUA

Avant de soumettre l'expérimentation réalisée auprès des joueurs du rugby du Centre de Formation du SUAgen, il convient de présenter succinctement la structure dans laquelle a été réalisé mon stage professionnel et où j'exerce ma fonction de préparateur physique.

1. L'organigramme

Le Centre de Formation du Sporting Union Agen Lot-et-Garonne a été créé en octobre 1998. Il fait partie intégrante de l'association loi 1901 du Sporting Union Agenais.



2. Les objectifs du centre de formation

Le Sporting Union Agenais ainsi que le Centre de Formation doivent s'attacher à relever le défi de former, éduquer ainsi que préparer les jeunes rugbymen à accéder, au haut niveau, afin d'intégrer l'équipe professionnelle du club. Pour cela le S.U.A a l'obligation, d'un point de vue éthique, d'offrir aux jeunes une formation sportive de qualité mais surtout une formation scolaire, universitaire et professionnelle. Les structures et les moyens mis en place sont la preuve de la volonté du club de faire évoluer les jeunes au plus haut niveau tout en leur assurant une formation.

3. Mes fonctions « responsable de l'enseignement, du suivi et du contrôle de la musculation »

L'objectif est de préparer « musculairement » les jeunes rugbymen des catégories juniors, possédant un potentiel sportif important, à accéder dans les meilleures conditions au haut niveau, en 3 ou 4 ans, et à intégrer, pour les meilleurs d'entre eux, l'effectif professionnel. Je suis donc responsable de la planification qui représente l'élément essentiel d'une politique sportive présentant plusieurs étapes.

Ces différentes étapes sont déclinées de la façon suivante :

- Déterminer avec le sportif et l'ensemble du staff les objectifs à long, moyen et court terme de façon à savoir clairement où aller (« il n'est point de vent favorable à celui qui ne sait où il va »)
- Cette citation de Thierry Gauthier : « la programmation est une nécessité qui n'est en aucun cas une action de voyance, il y aura obligatoirement des modifications à apporter » justifie la nécessité de réguler de façon permanente.
- Établir une planification à long terme sur laquelle se fonderont les grandes orientations.
- Analyse des exigences de la performance et identification des capacités requises à développer.
- Mise en place des tests en musculation pour évaluer les capacités mises en évidence (force, force endurance et explosivité).
- Convenir d'une fréquence pour effectuer ces tests afin d'assurer le contrôle et le suivi de l'entraînement.
- Traiter et interpréter les résultats afin que tout le staff des entraîneurs les compare à ceux obtenus aux évaluations précédentes
- Réajuster en permanence les objectifs qui sont modifiés à cause des contraintes liées à l'activité (blessure, fatigue, moral...)
- Choisir et/ou adapter des méthodes d'entraînement qui correspondent aux priorités et aux exigences de la performance.
- Collaborer avec les médecins, kinésithérapeutes pour le suivi de la réathlétisation des blessés.
- Faire un bilan annuel sur la qualité des conditions matérielles : salle de musculation, matériel de cardio, afin de les améliorer

- Remettre à chaque joueur un bilan complet des performances qu'il a effectué tout au long de la saison. Cela constitue l'historique et donc le vécu du sportif qui permettra de contrôler sa progression, de réajuster un éventuel déséquilibre musculaire. Ce bilan servira à définir les futurs objectifs.

LES EFFETS BIOLOGIQUES ET PHYSIOLOGIQUES DES DIFFERENTS TYPES DE TRAVAIL INTERMITTENT

La montée en puissance du professionnalisme semble rendre irréversible l'évolution du rugby. En appréhender les paramètres, voire les anticiper, adapter son équipe aux exigences sans cesse grandissantes de la pratique, relève des obligations de l'entraîneur et du préparateur physique.

En rugby surtout, le préparateur physique doit mener de front un entraînement constitué de plusieurs éléments que sont : la force, la vitesse, la puissance, les capacités anaérobie et aérobie (puissance et endurance). Cependant, on peut légitimement se demander si l'entraînement simultané de deux ou plusieurs qualités au sein d'une même séance est la façon la plus pertinente de développer les qualités requises par le jeu.

A la limite, ne serait-il pas préférable d'entraîner chacune d'elles isolément de façon à les développer à leur maximum?

Par exemple, il est courant d'entendre qu'il existerait une incompatibilité entre le développement simultané de la force et de la capacité aérobie. Bien que d'aucuns soutiennent que les développements de la force musculaire et de la capacité aérobie (endurance et puissance) apparaissent antinomiques, ces deux qualités sont pourtant fortement sollicitées en cours de match !

La préparation physique des sports collectifs en général, et plus particulièrement du rugby, doit sans cesse tenter de résoudre le paradoxe suivant : donner la priorité pendant une durée assez longue au développement optimal d'une seule qualité à la fois comme le préconise Werchoschanski (*L'entraînement efficace*.1992) ou choisir délibérément de développer, mais de façon moins aigue, plusieurs des qualités requises par le jeu.

Un autre problème se pose au niveau de la périodisation d'une saison sportive.

Faut-il commencer par développer les qualités aérobies (transport et utilisation musculaire de l'oxygène) afin d'améliorer la vitesse de resynthèse de la phosphorylcréatine entre des exercices courts et intenses comme le démontrent les travaux de plusieurs auteurs (*Quirstoff et al.*, 1992 ; *Trump et al.*, 1996 ; *Bogdanis et al.*, 1996) ou, selon les propositions de *Cometti* (*Football et musculation : chapitre VI La force vers l'endurance* 1993) inverser la pyramide « endurance/force » en développant en priorité la force ?

Ces paradoxes sont autant d'options qui vont conditionner la qualité de l'entraînement et obliger l'entraîneur à opérer des choix.

Les autres difficultés du préparateur physique sont les choix des contenus d'entraînement en terme d'intensité (pourcentages de VAM, de fréquence cardiaque maximale, de force maximale, de durée, de nombre de répétitions, de récupération, de nombre de séries...) pour développer au mieux, soit de façon individuelle, soit simultanément les qualités aérobies, la force, la vitesse et la puissance.

Devra-t-il reconsidérer l'approche des procédés d'entraînement en intégrant des exercices de musculation à des protocoles de PMA ?

Autant de questions que nous tenterons d'aborder dans notre étude en posant comme question centrale :

Quels sont les impacts réels, tant d'un point de vue physiologique que biologique, de trois modalités d'exercice intermittents de type essentiellement de courses supra maximales, de circuits de musculation et mixte courses et musculation ?

ETAT DE LA QUESTION

Bien que les déterminants technico-tactiques soient indispensables et décisifs, il semble que les qualités physiques n'en demeurent pas moins l'un des paramètres importants de la performance.

En rugby, les joueurs qui possèdent un niveau d'expertise élevé, ne pourront l'exprimer pleinement que si leurs qualités physiques le leur permettent. Les contenus d'entraînement doivent répondre aux exigences de la pratique et à celles de la compétition mais leur évolution oblige d'en connaître leurs nouvelles contraintes.

Dans cette perspective une récente expertise en a actualisé leur profil (*Cazorla et al. 2004*). Dans cette étude les auteurs ont observé une augmentation significative du temps effectif du jeu parallèlement à une baisse sensible des séquences de jeu. D'une façon générale, ceci indique indirectement, que les séquences de jeu sont de plus en plus longues. En moyenne un joueur réalise un effort intense de 2 à 4s toutes les 35 à 40s, soit environ entre 100 et 110 actions intenses par joueur et par match. Pour cela, le joueur doit produire, au niveau de ses appuis, des impulsions qui se caractérisent par des temps d'action, généralement très brefs, pendant lesquels il faut générer les niveaux de force les plus élevés possibles. Cette modalité d'expression de la force est qualifiée d'explosive. La préparation physique des joueurs a pour but de développer de toutes les qualités nécessaires à l'acquisition du plus grand nombre d'habiletés possibles, comme la puissance-vitesse, la puissance-force, la vitesse de démarrage ou l'endurance de force vitesse. Le joueur doit être capable de courir, raffûter, plaquer et /ou être plaqué, autant d'actions qui doivent être répétées tout au long du match. Le joueur ne pourra exprimer au mieux ses habiletés technico-tactiques que s'il a acquis et développé leurs fondements musculaires et énergétiques. Dans ce sens les qualités physiques apparaissent au service des qualités techniques. En conséquence, les deux conceptions d'entraînement qui se dégagent sont le développement de puissance musculaire et celui des capacités aérobies : endurance et puissance.

Au cours de ces trente dernières années, plusieurs études se sont penchées sur la problématique d'un développement concomitant de la force et de l'endurance. L'utilisation de la musculation dans les sports d'endurance fut longtemps rejetée par les entraîneurs et non justifiée par les chercheurs.

Cependant, les années 80 marquèrent le début d'un intérêt accordé à cette pratique, que ce soit dans les sports collectifs, comme le rugby, ou bien dans les sports d'endurance, comme le cyclisme et la course à pieds.

Tanaka et Swensen (1998) ont pu prouver que l'entraînement en musculation peut tout à fait être une valeur ajoutée bénéfique pour les marathoniens et les cyclistes. On pourrait donc cumuler des entraînements de type aérobie et de type musculation chez ces athlètes

Docherty et Sporer (2000) confirment la nécessité d'optimiser la force musculaire pour les athlètes de disciplines à « prédominance aérobie » et mettent en avant la notion d'interférence entre un entraînement en force et un entraînement en endurance (Figure 1). Ces auteurs indiquent très clairement que le choix de l'intensité des deux types d'exercices est déterminant dans l'impact d'un entraînement cumulé. Pour en minimiser les interférences, ils préconisent un travail d'endurance proche de la PAM et un travail en force sur des répétitions péri maximales (2 à 6 RM).

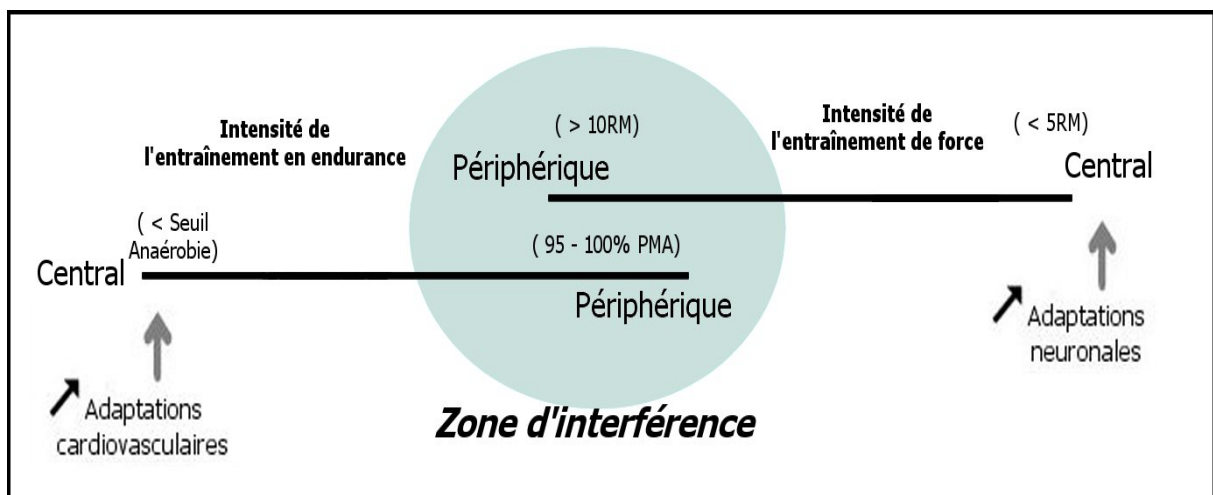


Figure 1 : Zone d'interférence entre les adaptations liées à un entraînement de force et celles liées à un entraînement en endurance

Hoff et al. (2002) étayent ces propos en précisant que le travail de force doit se faire à des intensités supérieures à 85% de 1 RM. Cette méthode, appelée par *Zatsiorsky* (« méthode des efforts maximaux » 1966), potentialiserait les adaptations nerveuses, la force maximale, l'endurance musculaire locale. En plus, ils mettent l'accent sur l'optimisation d'un autre facteur : l'économie de mouvement. Ces auteurs ont donc confirmé que l'ajout de sessions consacrées au développement de la force maximale dans des périodisations axées sur le développement des qualités aérobies permettrait une amélioration de l'économie de locomotion non négligeable pour tous les sports.

Bell et al. (2000) affirment qu'un entraînement cumulé de force et d'endurance fait, logiquement, améliorer les deux qualités, mais ne reflète pas l'addition des bénéfices obtenus par ces deux procédés distincts. Ils précisent que les gains de force sont observables et persistants grâce aux adaptations nerveuses (coordination, synchronisation, recrutement des unités motrices) mais semblent être limités par le travail aérobique qui compromet l'hypertrophie musculaire. De plus, pour eux, un travail cumulé force-endurance limite le développement de la force mais ne compromet pas le développement des qualités aérobies (par rapport à l'importance de la sollicitation de la filière).

Hickson (1980) avait déjà tenté de mettre en évidence ce phénomène. Son étude avait, en effet, montré que les gains de consommation d'oxygène n'étaient pas limités par un ajout d'entraînement de force. En revanche, les gains de force étaient limités par un ajout d'entraînement aérobique.

Beaucoup d'études se sont intéressées au compromis force-endurance, et inéluctablement, le développement de ces deux qualités semble être incontournable dans l'accès à la performance, aussi bien dans les sports d'endurance que dans les sports collectifs. Il semble inconcevable en effet, d'écarter tout programme de musculation, d'un sport comme le rugby où les qualités d'explosivité, de vitesse, de force, de puissance semblent conditionner l'accès au haut niveau. De plus, l'analyse des exigences de ce sport (*Cazorla et al. 2004*) nous pousse à affirmer que les qualités aérobies doivent également être optimisées. La combinaison du développement de ces deux qualités doit donc être trouvé.

On peut remarquer que toutes ces études nous conduisent à la mise en place d'un entraînement force-endurance cumulé (entraînement des deux qualités séparément).

Or, ne pourrait-on pas envisager des protocoles combinés, c'est à dire une alternance, dans la même séance, d'exercices aérobique et d'exercices d'explosivité ? Il semblerait que cette proposition soit à envisager dans le sens où les protocoles de travail intermittent courts (15s – 15s ou 10s – 20s) restent les plus efficaces pour le développement de la PMA. Ainsi, intercaler des mouvements de puissance, de force ou d'explosivité au sein du travail intermittent semblerait donc intéressant.

Cometti a récemment entrepris une étude (*Juin 2003*) sur le sujet qui consistait à évaluer les effets de différents protocoles intermittents, de durée totale respective de 7min 40s, sur la qualité d'impulsion. Ses protocoles étaient constitués d'exercices de 10s de course et de musculation alternés avec des périodes de récupération de 20s.

Dans notre étude, nous reprendrons cette même modalité de contenu d'exercices intermittents 10s-20s, mais, comme la durée des séquences proposées par *Cometti* (*étude Juin 2003*) nous paraît trop courte pour exercer un effet physiologique réel, nous la prolongerons à 15min en faisant varier les options d'exercices proprement dits et en recueillant d'avantages de données tant physiologiques que biologiques pour en étudier plus finement les impacts réels.

Ce sera l'objet de la présente étude.

A. LE RUGBY MODERNE DE HAUT NIVEAU ET SES NOUVELLES EXIGENCES

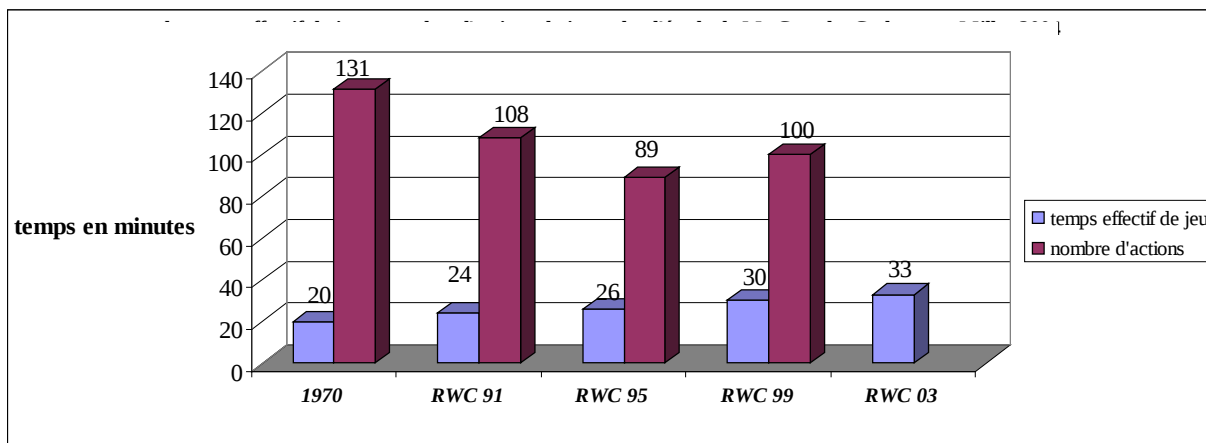
Analyse de la tâche et de ses nouvelles exigences : avec ce qui me semble, comme déterminant, dans la performance du rugbyman moderne, d'après l'étude particulièrement bien détaillée de *Mrs G.Cazorla, M. Godemet et C.Miller (2004)* :

A.1. Évolution de la charge externe

A.1.1 Temps effectif de jeu et nombre de séquences par match

George Cazorla, Max Godemet et Christian Miller (2004) ont élaboré un document permettant de mesurer et d'évaluer la charge externe du rugbyman de haut niveau. Ils ont analysé les temps de jeu au cours des trente dernières années (histogramme 1).

D'une façon générale, l'augmentation du temps de jeu et la tendance à la baisse du nombre de séquences indiquent que les séquences de jeu sont plus longues.

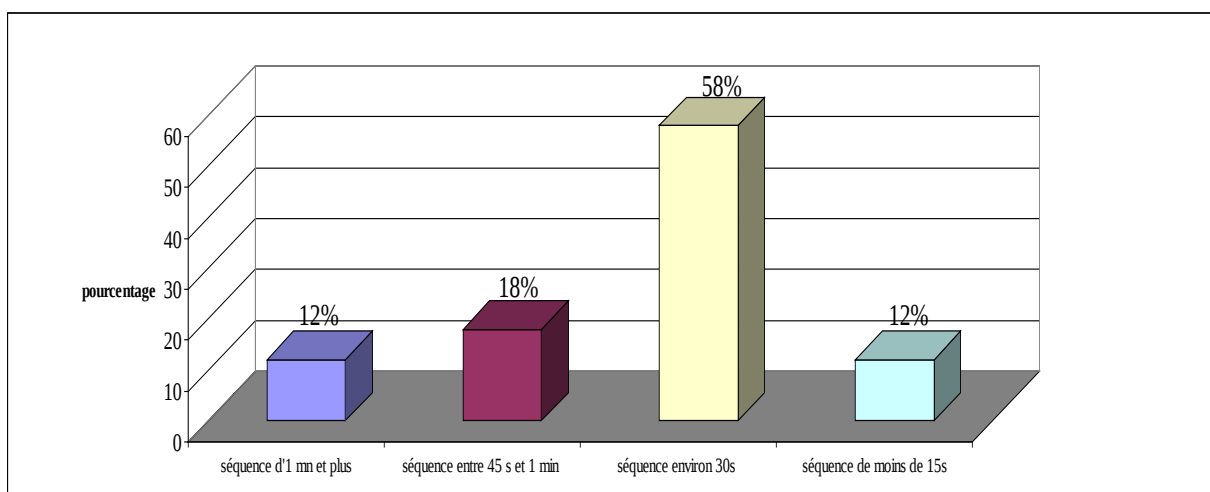


Histogramme 1 : Temps effectif du jeu et nombre d'actions de jeu.

A.1.2 Séquence de jeu ou enchaînement de jeu

Le temps effectif se définit par la totalité du nombre temps de jeu au cours du match ou de la totalité des enchaînements d'action collective.

Toujours à l'échelle collective, la durée de chaque séquence est assez variable avec cependant une distribution majoritaire de 30 s (histogramme 2) :



Histogramme 2 : Pourcentage des durées de séquence de jeu

- 12 % des séquences d'une minute et plus
- 18 % des séquences entre 45 s et une minute
- 58 % des séquences de plus ou moins 30 s
- 12 % des séquences de moins de 15 s

C'est entre 20 et 40 secondes de jeu dans une séquence, que plus de la moitié des essais sont marqués, c'est à peine 10 %, au-delà d'une minute.

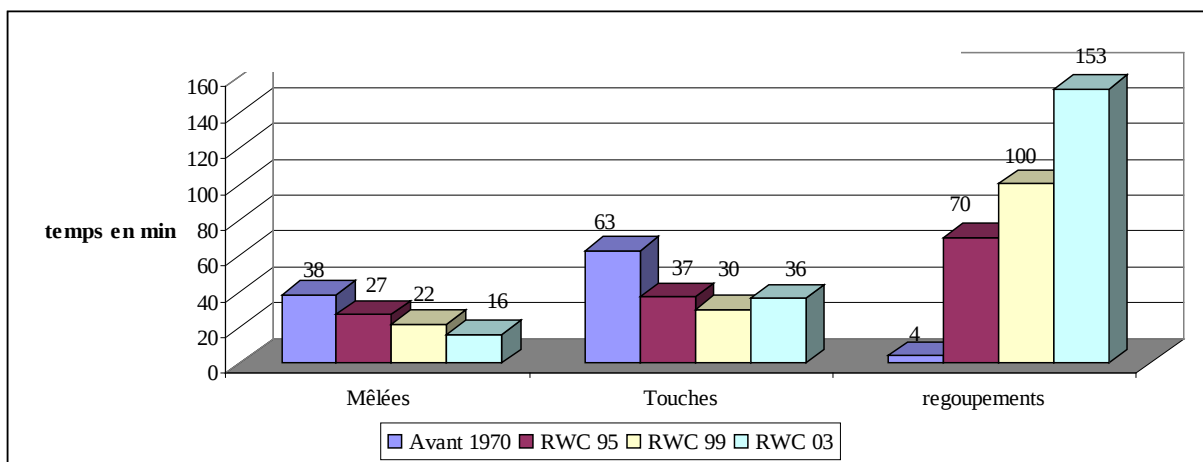
Selon ces auteurs, un joueur qui reste en jeu pendant les 80 min du match, réalise un effort intense de 2 à 4 s (sprint, démarrage, plaquage, percussion,...etc..) toutes les 35 à 40s, soit environ entre 100 et 110 actions par joueur et par match.

A.1.3. Regroupement et phases statiques

Diminution des phases statiques au profit des phases dynamiques notamment de regroupement, au cours des dernières décennies (histogramme 3)

Le nombre de phases statiques diminue au profit des regroupements, en moyenne entre les 2 dernières Coupe du monde, soit une augmentation de plus de 30 %.

Plus de 400 situations d'affrontement par match ont été relevées lors de la dernière édition RC 95 (plus de 25 par joueur).



Histogramme 3 : Evolution des différentes phases de jeu avant et après 1995

A.1.4. La défense

Elle se traduit par une augmentation du nombre, mais aussi par la qualité des plaquages. Avant 95, dans un match international de haut niveau, une équipe réalisait, en moyenne, 70 plaquages alors que l'on en comptait plus de 143 lors de la RWC de 2003.

Si en 1999 il fallait en réussir 75 % pour espérer gagner le match, ce pourcentage a été porté à 83 durant la RWC 03.

A.2. Estimation de la charge interne

Les rares études qui se sont centrées sur l'évaluation des exigences physiologiques du match ont utilisé le recueil en continu de la fréquence cardiaque (FC) comme intermédiaire entre les actions et leurs répercussions physiologiques. La mesure de la fréquence cardiaque en match ne permet pas de distinguer les activités qui provoquent son augmentation, et la relation FC-VO₂ ne peut pas s'appliquer dans le cas d'efforts de type sprint, de lutte ou de combat. Il serait plus conforme de mettre l'intensité, la durée et la répétition de ces actions en corrélation avec les puissances musculaires et les substrats requis.

A.2.1. Les actions très brèves et intenses

On le sait, le métabolisme énergétique des actions explosives est issu des sources immédiates de resynthèse de l'ATP, anciennement appelé anaérobie alactique, en très grande prédominance via le couple Adénosine Tri Phosphate (ATP) – Phosphoryl Créatine (PCr), or les réserves de ces substrats sont très limitées. Ainsi ces facteurs peuvent limiter fortement la performance des exercices très intenses (sprint...) en terme de puissance métabolique (débit maximal).

Après chaque exercice court et intense, la reconstitution de ces réserves devient prioritaire pour répondre aux besoins des actions intenses suivantes. La resynthèse de la phosphoryl créatine (PCr) à partir de nouvelles molécules d'ATP, nécessite la présence d'oxygène. Comme l'ont démontré ces auteurs *Quirstorff & al. 1992 ; Trump & al. 1996 ; Bogdanis & al. 1996*, il est possible d'améliorer la vitesse de resynthèse de la PCr, entre plusieurs exercices courts et intenses, grâce à un bon développement préalable de la capillarisation et de la capacité oxydative des muscles sollicités.

Ces résultats obtenus expérimentalement, légitiment la place que l'entraîneur doit accorder au développement de la capacité aérobie.

La récupération de la totalité des réserves de phosphorylcréatine est très courte, de l'ordre de 6 à 8 min. aussi les délais de reconstitution de la PCr ne semblent pas intervenir de façon prépondérante dans la cinétique de la récupération entre deux matches.

A.2.2. La répétition d'actions courtes et intenses et séquences de jeu

La caractéristique principale de l'évolution du jeu est incontestablement dans les délais de plus en plus courts, pendant lesquels se situent des phases, de plus en plus prolongées, de répétitions d'actions physiques intenses (comme les courses, les combats, les poussées, les tractions) sollicitant des masses musculaires importantes tant au niveau des membres inférieurs que de la partie haute du corps. Les auteurs de cette étude, *Cazorla et al.* ont recueilli des concentrations de lactate sanguin, en moyenne de 8 à 11mmol (L⁻¹ données non publiées) à l'issue ou au cours de match. Cette répétition d'actions intenses entraîne une sollicitation du métabolisme glycolytique relativement importante. Les délais nécessaires au métabolisme complet du lactate produit, varient entre une heure et une heure et demie.

La cinétique de la récupération après match n'en est que très peu affectée selon ces auteurs.

A.3. En Résumé

Les modifications des règles, le professionnalisme de la pratique, l'évolution des temps de jeu et technico-tactique nous oblige à reconsidérer la préparation physique des joueurs.

La dynamique du jeu exige des joueurs polyvalents, tant sur le plan physique que physiologique. L'axe prioritaire à développer, afin que les joueurs puissent être efficaces et rapides lors des impacts, des luttes, des poussées, est la puissance : puissance/force et puissance/vitesse.

B. COMMENT CONCEVOIR LA PREPARATION PHYSIQUE

Modèle proposé pour l'organisation de la préparation physique (*d'après Miller, Godemet*)

La préparation physique du rugbyman se situe au point de convergence de trois modalités d'entraînement :

- 1- Le développement des qualités musculaires grâce au travail de musculation
- 2- L'amélioration des qualités énergétiques (aérobie et anaérobie)
- 3- L'amélioration des qualités de coordination

Le modèle organisateur (schéma 1) montre que les qualités physiques, physiologiques et leurs modalités de développement doivent être envisagées de façon isolées et spécifiques mais aussi en interrelation les unes aux autres.

En nous référant à l'analyse des exigences de match précédemment décrites, la recherche de cette interrelation appelle à examiner deux axes :

- 1° Force, puissance, vitesse, explosivité
- 2° Ressources bioénergétiques

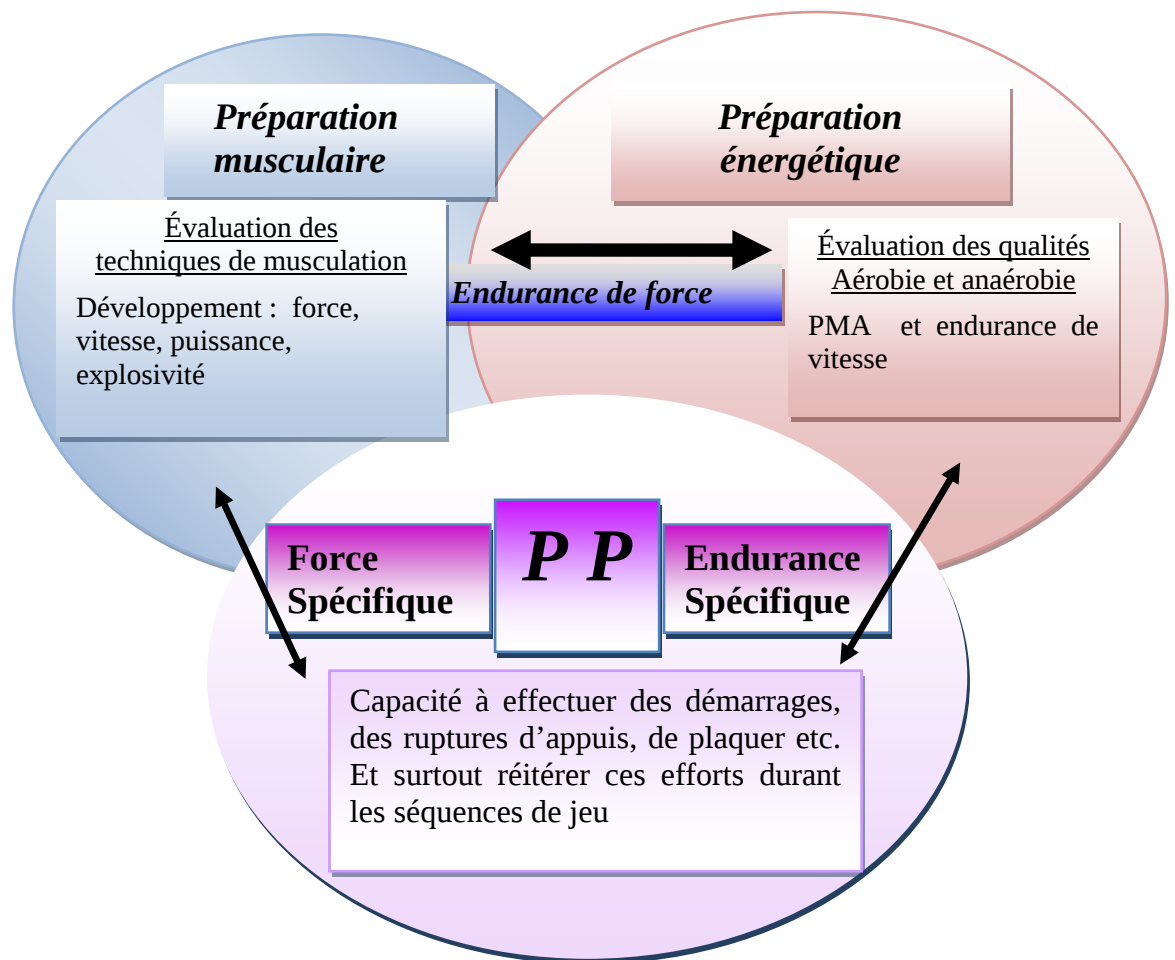


Schéma 1 : Articulation des différents modules de la préparation

POPULATION, MATERIEL ET METHODE

A. POPULATION

Sept joueurs âgés de 19 ans ($\pm 1,2$), taille 185 cm ($\pm 6,5$), poids 93kgs ($\pm 15,63$), ont été volontaires pour participer aux différentes phases de notre expérimentation (Tableau 1). Préalablement chacun d'entre eux avait réalisé un premier test triangulaire discontinu à charge croissante TUB II, sur piste, afin de déterminer leur vitesse aérobie maximale (VAM : .. $\pm$..) et leur FC maximale (FCmax : .. $\pm$..).

Expérimentation des 10, 11,12 avril 2007				<i>biométrie et performances individuelles</i>												
nom	Taille en cm	Poids en kg	Poste	age	masse grasse pli cutané en %	test TUB II	FC max	extrapolat° VMA x 3,5	Extrapolat° VO ₂ Pro.Pulses	VO ₂ métamax	1Rm : D-C	1 Rm : tirage banc	1Rm : squat	1Rm : épaulé jeté	1Rm : soulevé de terre	endurance de force traction = reps max
V.S	183	81	ailier	22	8,77	15	198	53	51		115	85	150	85	150	14
S.F	189	101	3° ligne	21	15,73	16	201	57	56		115	90	175	80	160	7
A.D	198	108	2° ligne	19	13,5	17	195	58	58		126	85	175	85	160	12
D.T	183	114	pilier	20	15,3	15	190	54	53		120	115	190	dispensé	180	dispensé
S.Y	184	100	ailier	19	11,28	15	187	51	51		150	115	160	dispensé	150	13
J.F	181	72	ailier	18	10,24	17	197	60	59		85	70	120	60	130	12
A.P	177	78	arrière	19	9,83	16		57			115	95	150	75	150	14

Tableau 1 : Présentation des joueurs

B. PROTOCOLE

Le but de cette étude est d'évaluer, chez les joueurs de rugby, les effets biologiques et physiologiques immédiats des 3 modalités de travail intermittent de 15 min. A l'instar du protocole proposé par Cometti (*Juin 2003*), nous avons évalué également l'incidence que pouvait avoir les effets de ces trois intermittents sur les qualités d'explosivités.

Pour mener à bien notre étude, nous avons proposé plusieurs protocoles d'entraînement :

- o le premier est un intermittent VAM servant de référence.
- o le second un intermittent « musculation ».
- o le troisième un intermittent simultané « vma + musculation », c'est-à-dire, une alternance dans la séance d'exercices aérobie et d'exercices d'explosivité.

Toute l'expérimentation s'est déroulée au centre de formation du SUA durant trois jours. Chacun des sept joueurs effectuait un protocole par jour. Trois joueurs participaient le matin et les deux autres l'après midi. Le premier jour les joueurs ont effectué le protocole intermittent VAM, le second jour celui de circuits de musculation et le troisième jour le protocole mixte vma + musculation.

D'une durée totale respective de 15min, chacun des trois protocoles était constitué d'une alternance de 10s d'exercice et d'une récupération passive de 20 secondes.

- **Le protocole « intermittent VAM »** (diaporama 1) consistait à courir 10 secondes à 120 % de la VAM pour un total de 30 répétitions. La distance exacte, correspondant à la capacité de chaque joueur, avait préalablement été calculée.



15 min

Diaporama 1 :Protocole "intermittent vma"

Photo n°1	Photo n°2	Photo n°3	Photo n°4
10 s VAM à 120 %	20 s de récup.	10 s vma à 120 %	20 s de récup

Nous avons demandé à chaque joueur d'effectuer une course rectiligne, (120 % de sa vitesse maximale aérobie), (Photo 1 et 3) puis de s'arrêter pour récupérer passivement pendant 20 s (Photo 2 et 4) et de recommencer trente fois. Ils étaient appareillés du MétaMax pour enregistrer en direct leur consommation d'oxygène ainsi que leur FC.

- **Le protocole « circuits de musculation »** (diaporama 2) utilisait des charges correspondant à 50% de 1 RM du joueur lorsqu'il s'agissait de mouvements classiques de soulevé ou de développé ou de répétitions de mouvements comme les classiques abdominaux, pompes...L'objectif étant un effort de « puissance vitesse » réalisé sous forme de trois circuits incluant chacun 10 stations. (Photo 5 à 14)

La consigne était d'accomplir un maximum de répétitions pendant les 10 secondes de chaque station et ce en maintenant une technique de mouvement la plus correcte possible.

Nous avons proposé des exercices de base qui sollicitent l'ensemble des chaînes musculaires pour rechercher une intensité maximale.

Afin que le joueur puisse reproduire un effort qualitatif mais aussi dans un souci de maintenir un équilibre fonctionnel, notre stratégie fut de proposer une alternance de sollicitation des muscles agonistes/antagonistes pour les membres supérieurs (Photos 5 et 6) ; (Photos 8 et 9) ; (Photo 12) et des membres inférieurs (Photo 7 ; Photo 10 ; Photo 13) ainsi qu'un exercice de gainage (Photo 14).

Nous avons dû exclure les exercices d'haltérophilie incompatibles avec le port de matériel de mesures physiologiques (Métamax).

Tous les joueurs étaient donc équipés du Métamax (non visible sur les photos)

Nombre d'exercices à répéter 30 fois 10/20 = 15min



Photo 5

10 secondes développé couché

← 20 sec.

recup.



Photo 6

10 secondes tractions

← 20 sec.

recup.

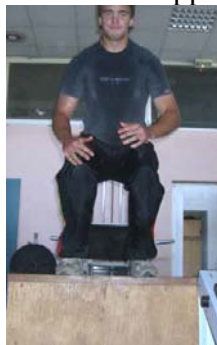


Photo 7

10 secondes jump

← 20 sec.

recup.



Photo 8

10 secondes dips

← 20 sec.

recup.



Photo 9

10 secondes tirage banc

← 20 sec.

recup.



Photo 10

10 secondes squat

← 20 sec.

recup.



Photo 11

10 secondes jump

← 20 sec.

recup.



Photo 12

10 secondes tractions inversées

← 20 sec.

recup.



Photo 13

10 secondes au soulevé de terre

← 20 sec.

recup.



Photo 14

10 secondes de gainage

← 20 sec.

recup.

Diaporama 2 : Protocole « circuit de musculation »

- **Le troisième protocole mixte « vma + musculation »** (diaporama 3) consistait à alterner les 10s de course à 120 % de la VAM (photo 15), récupération passive de 20s (photo 16), à 10s de soulevé de terre (photo 17) d'une charge correspondant à 50 % d'1 RM individuelle. L'objectif était d'exécuter un nombre maximal de répétitions pendant ces 10s en respectant la bonne technique puis 20 secondes de récupération passive pour un total de 30 répétitions.

détriment de la technique) suivi de 20 secondes de récupération passive et cela 30 répétitions.

15 minutes :



Diaporama 3 : Protocole mixte « vma + musculation »

Photo 15

10 s vma à 120 %

Photo 16

20 s de récup

Photo 17

10 soulevés de terre

Photo 18

20 s de récup

Au cours de chacun des trois protocoles la fréquence cardiaque et la consommation d'oxygène étaient enregistrées en continue. En outre deux micro prélèvements sanguins étaient réalisés au niveau de la pulpe de l'extrémité d'un doigt avant et après chaque protocole (photo 19).

Photo 19



B.1. Déroulement des tests du protocole

Le déroulement du test comprend dans un premier temps le micro prélèvement sanguin à l'arrivée du joueur, puis un d'échauffement standard est réalisé, ensuite sont réalisés les trois tests d'explosivités toujours dans le même ordre avant et après chaque épreuve.

1^{ier} : squat jump mesure la détente « sèche », non pliométrique, sans étirement : il consiste à effectuer une « poussée » maximale vers le haut, les mains sur les hanches, en partant les genoux fléchis à 90°. Les qualités explorées sont la force explosive (aptitude à développer beaucoup de force en un temps très court).

2^{ième} : le contre mouvement jump s'effectue dans les mêmes conditions mais cette fois le sujet est autorisé à effectuer une flexion préalable à l'extension (il s'agit donc cette fois d'un test dit « pliométrique »).

3^{ième} ; le contre mouvement jump s'effectue avec l'aide des bras, ce qui permet une action musculaire supérieure. Nous voyons ainsi si les bras sont bien utilisés lors des sauts (bonne coordination). Les bras peuvent permettre de gagner 10 cm par rapport au saut précédent.

Après, démarre le protocole intermittent concerné, en respectant l'ordre de passage des joueurs décrits précédemment.

C. MATERIELS ET TECHNIQUES UTILISES

- Opto jump

L'objectif de la mesure est d'enregistrer les temps de suspension et de contact au sol pour en déduire la détente et la puissance. C'est un système de mesure optique. L'opto jump permet de mesurer (au 1/1000^{ème} de seconde près) les temps de contact au sol et de vol d'une série de sauts effectués par un athlète. Il se compose de 2 barres, l'une contenant l'électronique de contrôle et les récepteurs, l'autre le système émetteur. Quand l'athlète est au sol, il coupe les cellules (mesure du temps de contact) ; quand il est en l'air, il n'intervient pas sur les cellules (temps de suspension).

- ***La spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier (IR-TF)***

Contrôle des réponses biologiques

A partir d'un simple micro prélèvement sanguin de 35 µl effectué au niveau de la pulpe du doigt, une nouvelle technique utilisant la spectrométrie à infra rouge a transformée de Fourier (IR-TF) récemment validée (Boussaidi 2003) permet actuellement la mesure de 19 concentrations plasmatiques : glucose, lactate, glycérol, acides aminés, protéines totales, CRP, transferrine, orosomucoïde, triglycérides, acides gras libres, cholestérol total, albumine, haptoglobine, urée, Apo-A1, Apo-B, IgM, IgA, IgG. Ces dix-neufs concentrations permettent non seulement de rendre compte des substrats métaboliques mobilisés par l'exercice mais aussi de suspecter un syndrome inflammatoire voire d'une baisse des défenses immunitaires, souvent synonymes d'une fatigue chronique susceptible d'évoluer vers le surentraînement. Les nombreuses répétitions permises grâce à cette microtechnique ont permis de contrôler de façon très fine et de tenter de comprendre les modifications biologiques induites par la charge d'entraînement. Dans nos protocoles, les prélèvements effectués avant et après, les concentrations plasmatiques seront analysées en faisant la différence et présentées sous la forme de delta de concentrations ($[\Delta]$)

Mesure de la consommation d'oxygène (VO_2) le Metamax

En situation d'entraînement, nous utilisons le système de télémétrie de la société Samcom pour mesurer la consommation d'oxygène, c'est un système portable, utilisable sur les terrains d'entraînement : cortex Metamax 3 x, chambre de mélange, 750 gr, temps réel.

Le Metamax inclut aussi un cardiofréquencemètre de type Polar ce qui, au total nous a permis d'obtenir la relation charge interne (consommation O_2 , FC, modifications biologiques) et externe (vitesse de déplacement et/ ou charge additionnelle).

ANALYSE STATISTIQUE

Compte tenu du peu de nombre d'échantillons de joueurs nous avons effectué des statistiques descriptives, en calculant les moyennes.

Le fait de calculer des intervalles de confiance permet de réaliser des statistiques référentielles.

Les intervalles de confiance sont calculés avec la formule suivante :

IC à 90 % : $[m - 1,943 * (s/n^{(1/2)}); m + 1,943 * (s/n^{(1/2)})]$

Dans la mesure où les intervalles de confiance ne se chevauchent pas ce test a la meme puissance qu'un test statistique.

Nous proposons la solution de la représentation graphique. Il existe une nomenclature internationale à respecter, qui consiste à représenter les bornes inférieures et supérieures par des pointillés et les courbes des moyennes par des traits pleins.

PRESENTATION DES RESULTATS

A. LES SUBSTRATS

- *Différence entre les résultats obtenus au protocole « intermittent VAM » (jour 1) et ceux obtenus au protocole « intermittent musculation » (jour 2).*

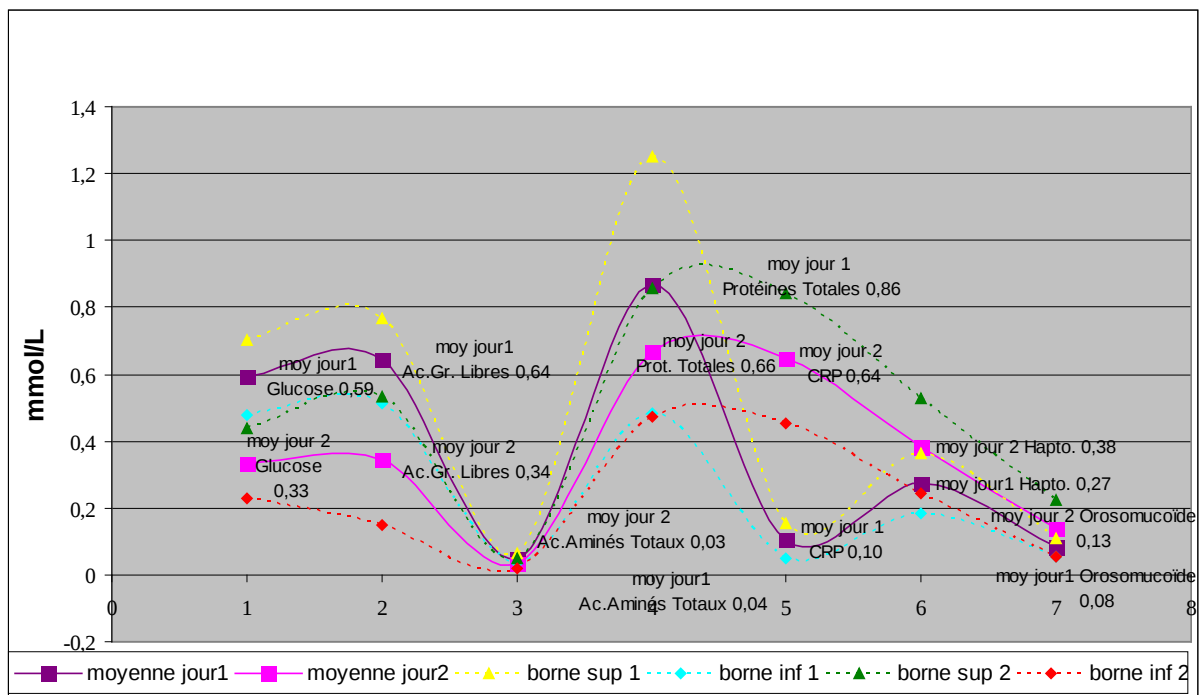


Figure 2 : Résultats des différents substrats métaboliques entre « intermittent vma » (jour 1) et « intermittent musculation » (jour 2)

Sur cette figure nous constatons un intervalle de confiance qui démontre une augmentation significative de la C-réactive protéine (CRP) (+ 0,54) ainsi qu'une baisse significative de la concentration de glucose sanguin (- 0,26).

Il n'y aucune modification significative pour les autres substrats (AGL, A.A, protéines totales).

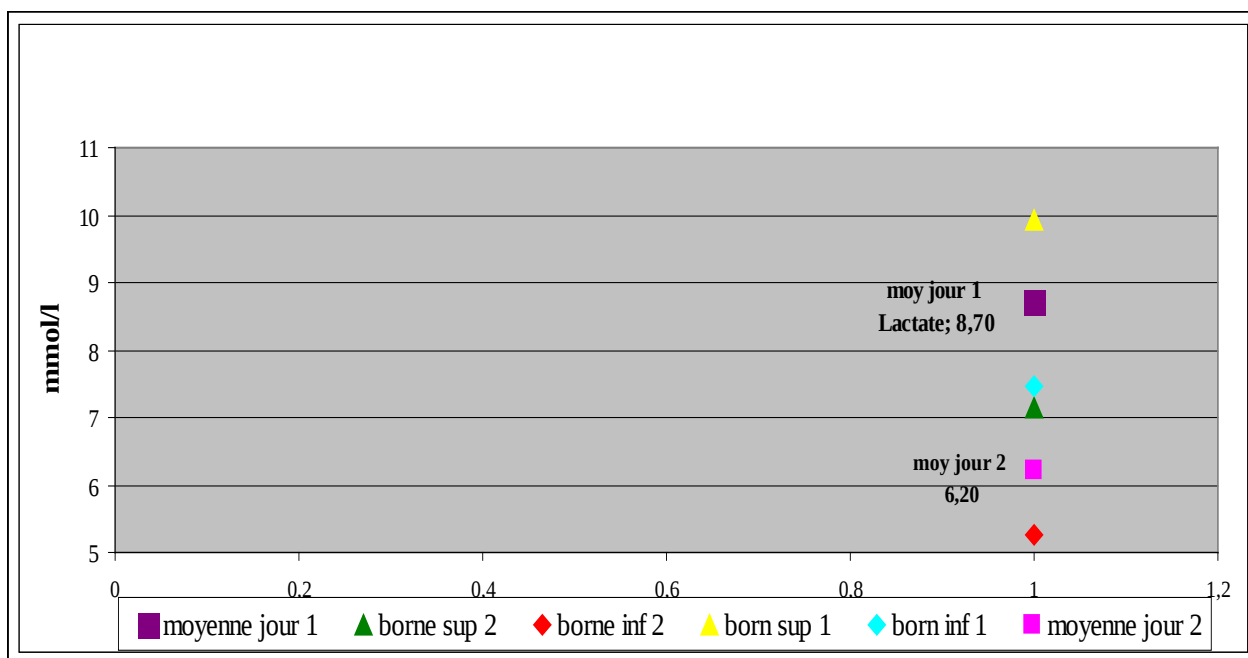


Figure 3 : Résultat de la concentration du lactate entre « intermittent vma » (jour 1) et « intermittent musculation » (jour 2)

v

Les différences de concentration de lactate entre intermittent vma (jour 1) et intermittent musculation (jour 2) par un intervalle de confiance démontre une augmentation significative de 2,5 mmol/L

- **Différence entre les résultats obtenus au protocole « intermittent VAM » (jour 1) et ceux obtenus au protocole « intermittent VAM + musculation » (jour 3).**

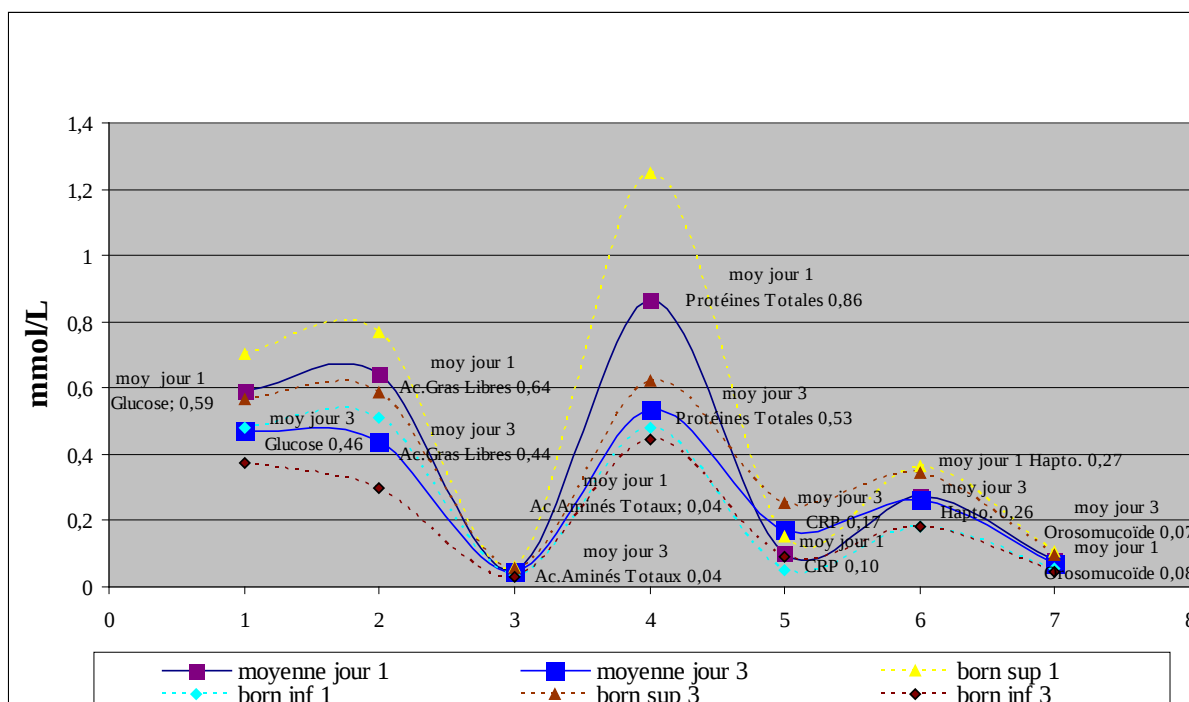


Figure 4 : Résultats des différents substrats métaboliques entre « intermittent vma » (jour 1) et « intermittent vma + musculation » (jour 3)

Le chevauchement de tous les points montre qu'il n'y a aucune différence significative dans les modifications des différents substrats : glucose, lactate, acides aminés, acides gras libres, protéines totales, ni pour les marqueurs relatifs au système immunitaire.

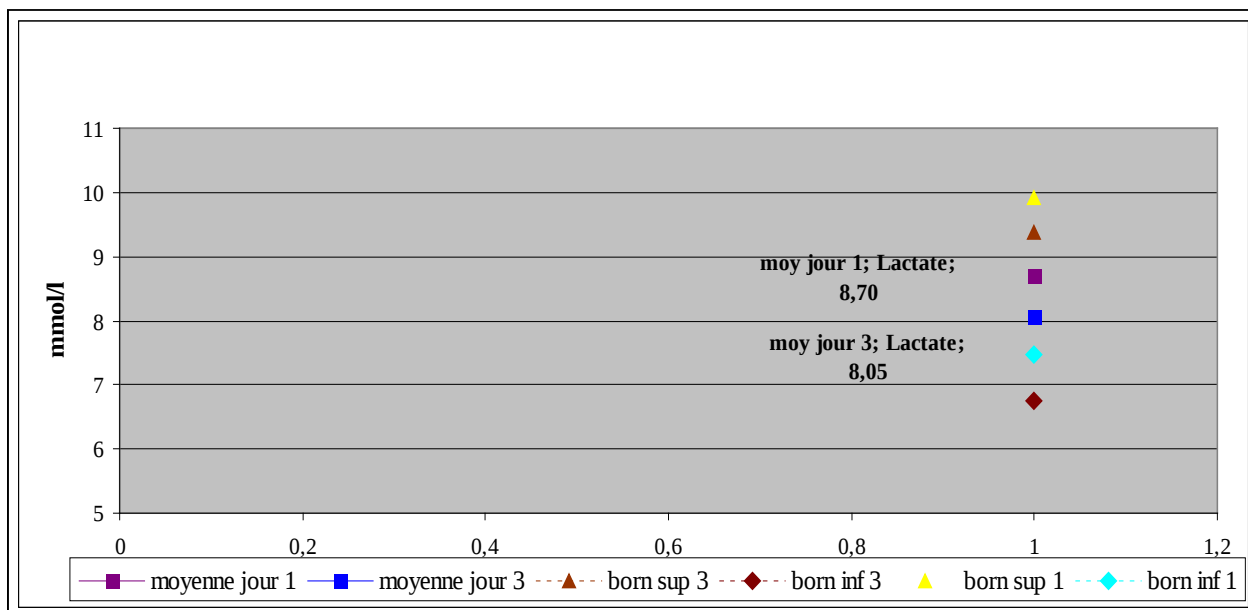


Figure 5 : Résultat de la concentration du lactate entre « intermittent vma » (jour 1) et « intermittent vma + musculation » (jour 3)

Les intervalles de confiance des concentrations de lactate obtenues aux protocoles « intermittent VAM » (jour 1) et VAM + musculation » (jour 3) se chevauchant, il n'y a donc pas de différence significative entre ces deux protocoles.

- Différence entre les résultats obtenus au protocole « intermittent musculation » (jour 2) et ceux obtenus au protocole « intermittent VAM + musculation » (jour 3).

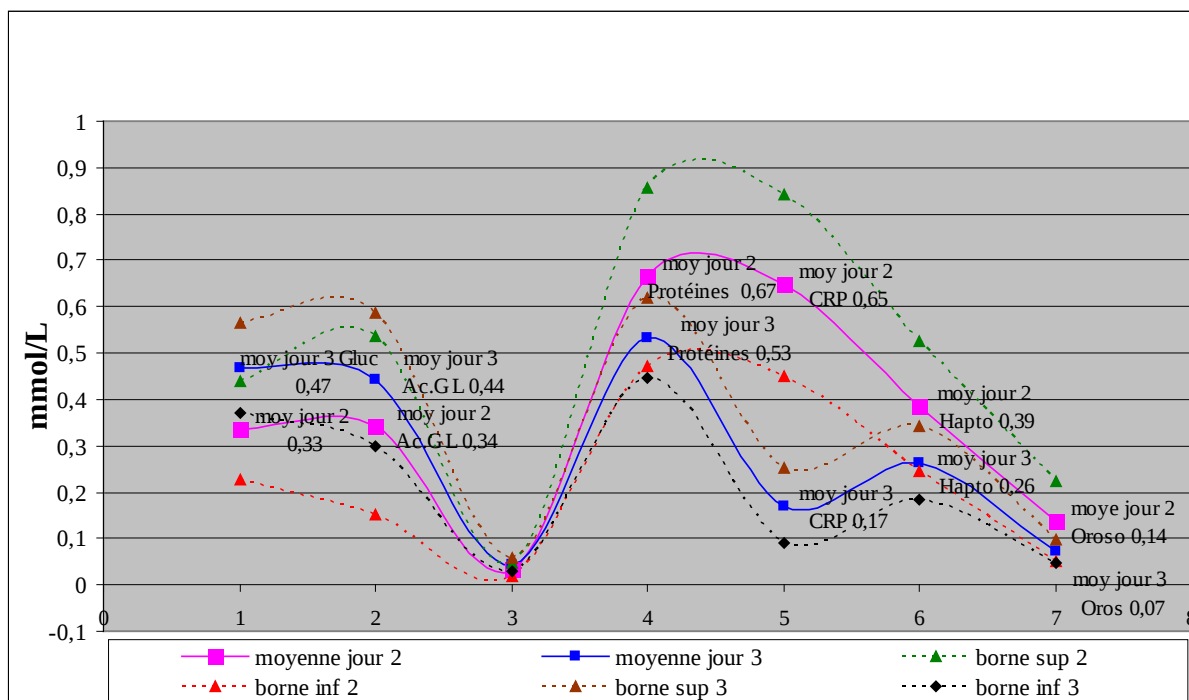


Figure 6 : Résultats des différents substrats métaboliques entre « intermittent musculation » (jour 2) et « intermittent vma + musculation » (jour 3)

On constate un intervalle de confiance qui ne se chevauche pas pour la C réactive protéine (CRP). Il y a donc une différence significative (+0,48). Aucune modification significative pour les autres substrats.

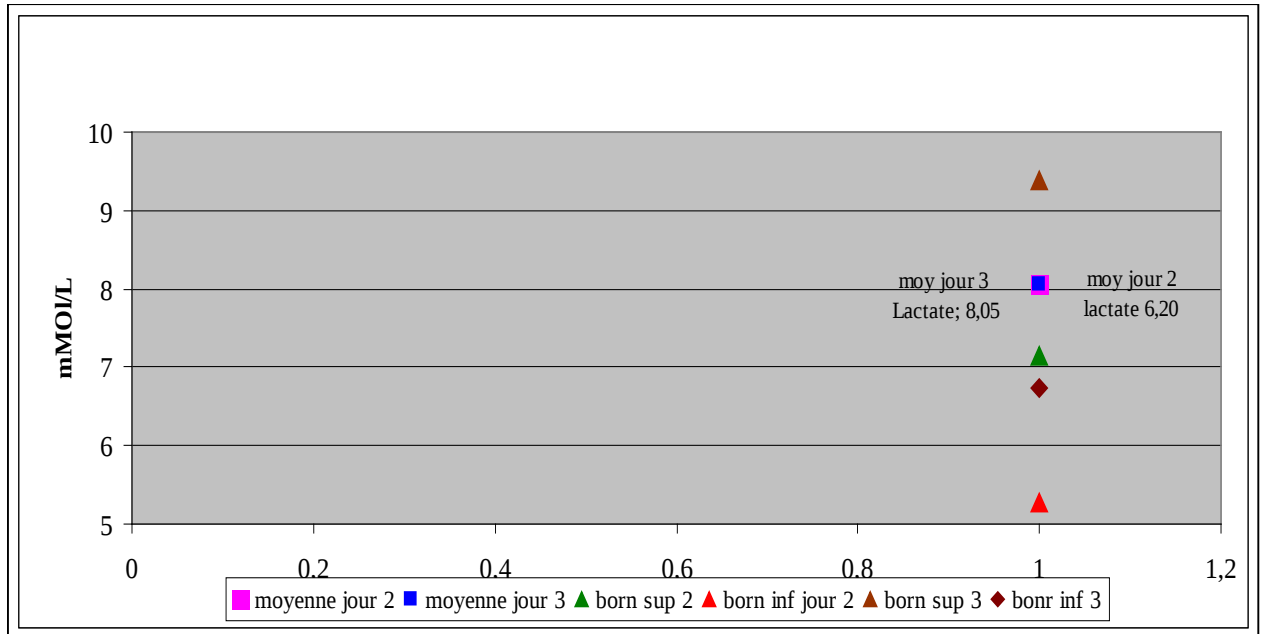


Figure 7 : Résultat de la concentration du lactate entre « intermittent musculation » (jour 2) et « intermittent vma + musculation » (jour 3)

Différence non significative entre la concentration du lactate obtenue au protocole « intermittent musculation » (jour 2) et « intermittent vma + musculation » (jour 3) selon la technique statistique par l'intervalle de confiance à 90 %.

- *Etude des variations des résultats du test de détente vertical avant-après chacun des trois protocoles*

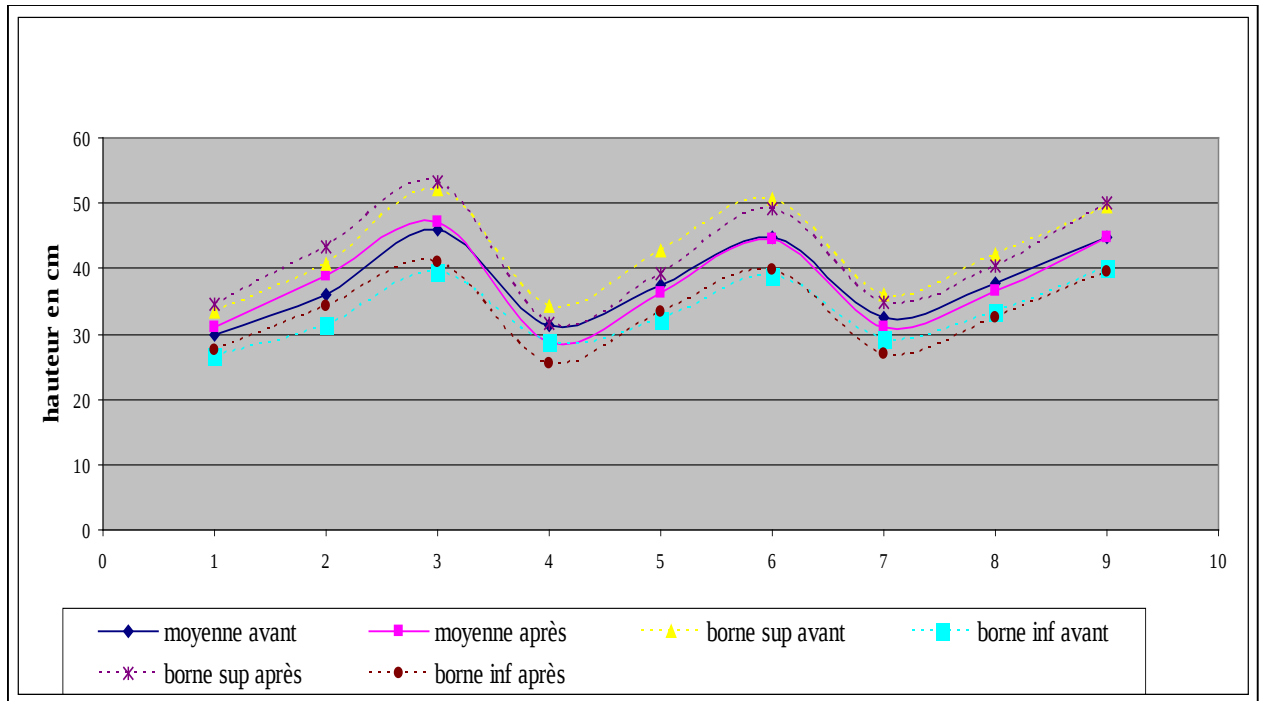


Figure 8 : Résultat des tests de détente avant et après chaque intermittent.

Les résultats des tests de détente effectués avant et après chacun des trois protocoles intermittent ne montrent aucune différence significative.

B. LA FREQUENCE CARDIAQUE

- *Différence entre les résultats obtenus à «l'intermittent VAM » (jour 1) et ceux obtenus à «l'intermittent musculation » (jour 2).*

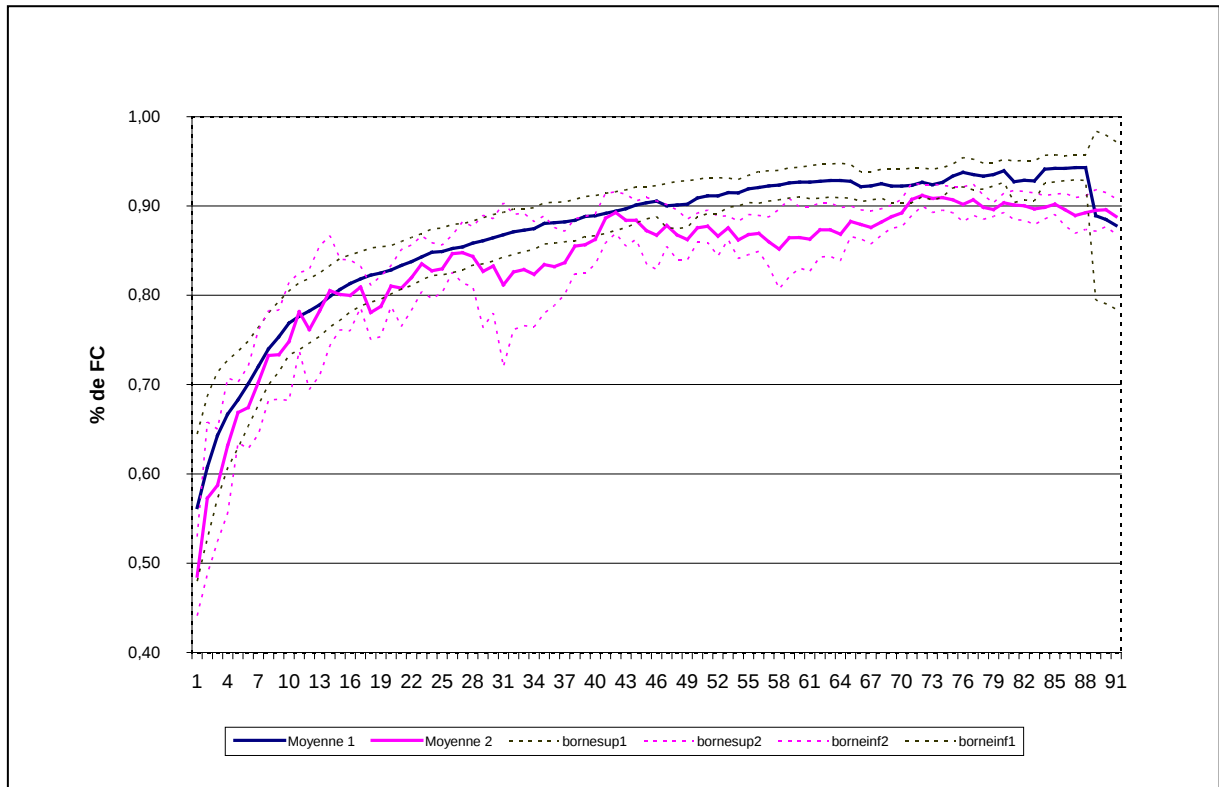


Figure 9 : Pourcentage de FC entre « l'intermittent vma » (jour 1) et « l'intermittent musculation » (jour 2)

Les profils de courbes sont statiquement analysés selon le principe d'un intervalle de confiance à 90 % sous la loi du test de student.

Les courbes ne se croisent pas dans cette partie, cela confirme une différence significative de pourcentage de la FC max.

- **Différence entre les résultats obtenus à « l'intermittent vma » (jour 1) et ceux obtenus à « l'intermittent VAM + musculation » (jour 3)**

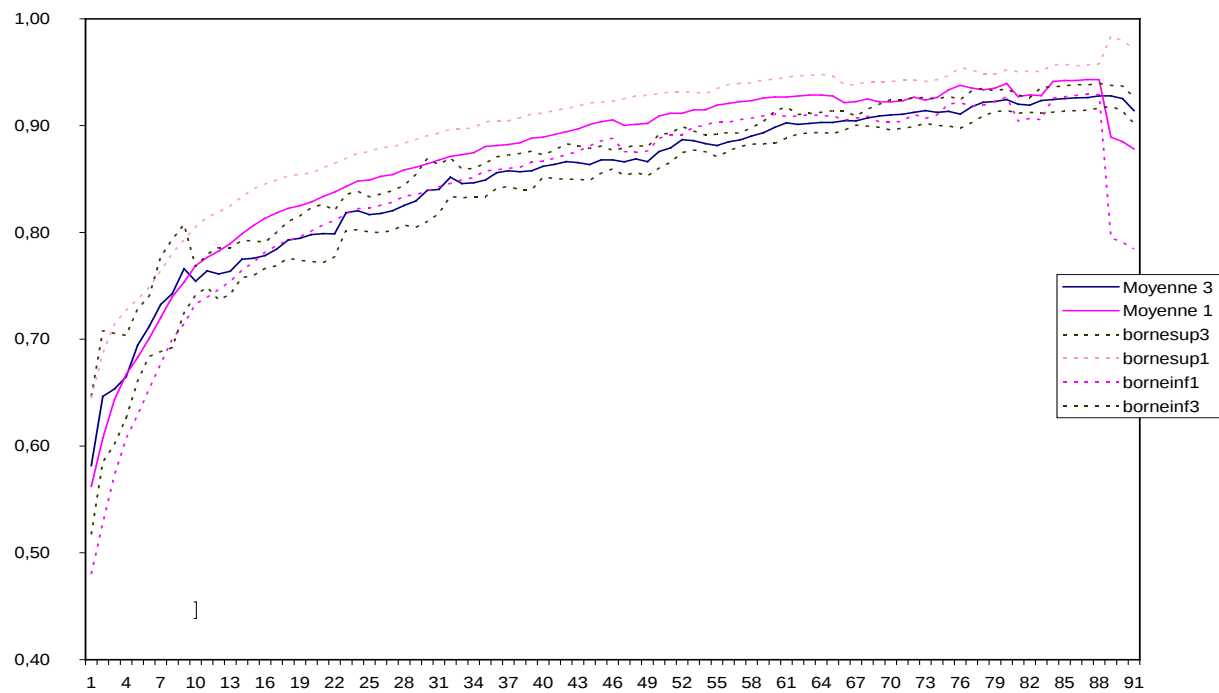


Figure 10 : Pourcentage de FC entre « l'intermittent vma » (jour 1) et « l'intermittent vma + musculation » (jour 3)

Les intervalles de confiance sur la figure démontrent qu'il n'y a pas de différence significative entre le pourcentage de la FC max des jour 1 / jour 3.

- *Différence entre les résultats obtenus à «l'intermittent musculation » (jour 2) et ceux obtenus à. «l'intermittent VAM + musculation » (jour 3)*

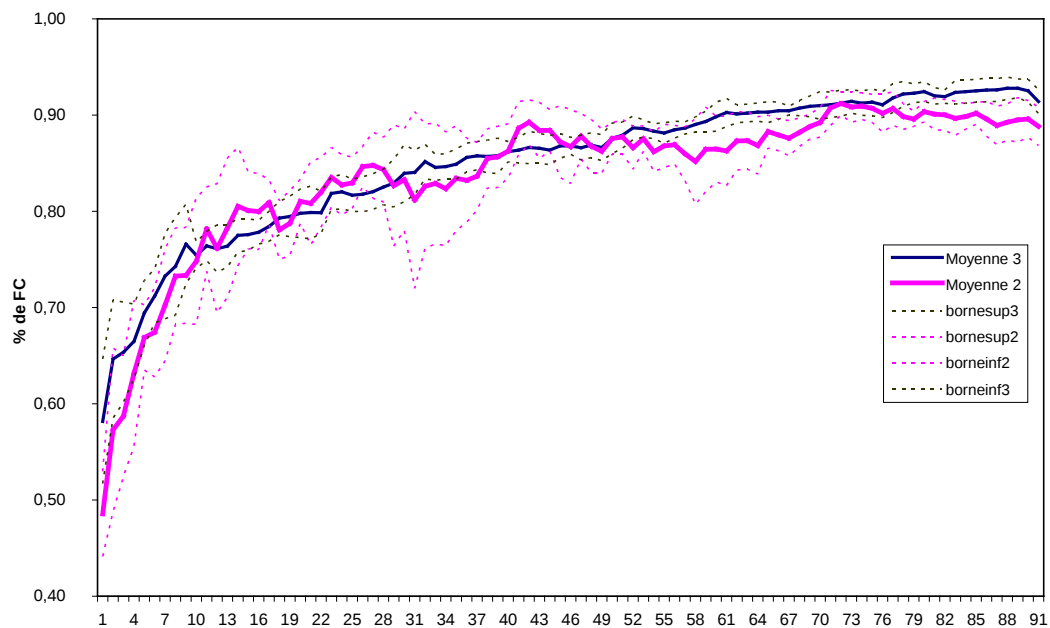


Figure 11 : Pourcentage de FC entre « l'intermittent musculation » (jour 2) et « l'intermittent vma + musculation » (jour 3)

Les intervalles de confiance sur la figure démontrent qu'il n'y a pas de différence significative entre le pourcentage de la FC max des jour 2 et jour 3.

C. LA CONSOMMATION RELATIVE O₂

- *Différence entre les résultats obtenus à «l'intermittent VAM» (jour 1) et ceux obtenus à «l'intermittent musculation» (jour 2).*

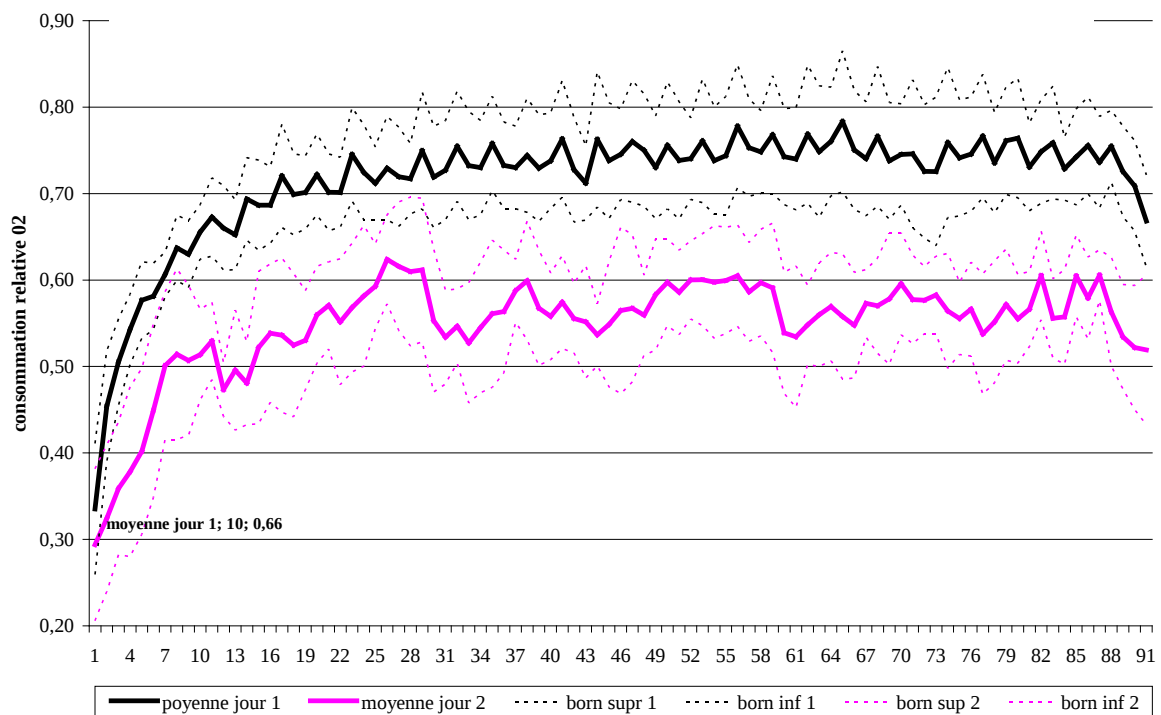


Figure 12 : Consommation relative d'O₂ entre «l'intermittent vma» (jour 1) et «l'intermittent musculation» (jour 2)

Nous observons une différence significative entre vma (jour 1) et musculation (jour 2)

- *Différence entre les résultats obtenus à «l'intermittent vma » (jour 1) et ceux obtenus à «l'intermittent VAM-musculation » (jour 3)*

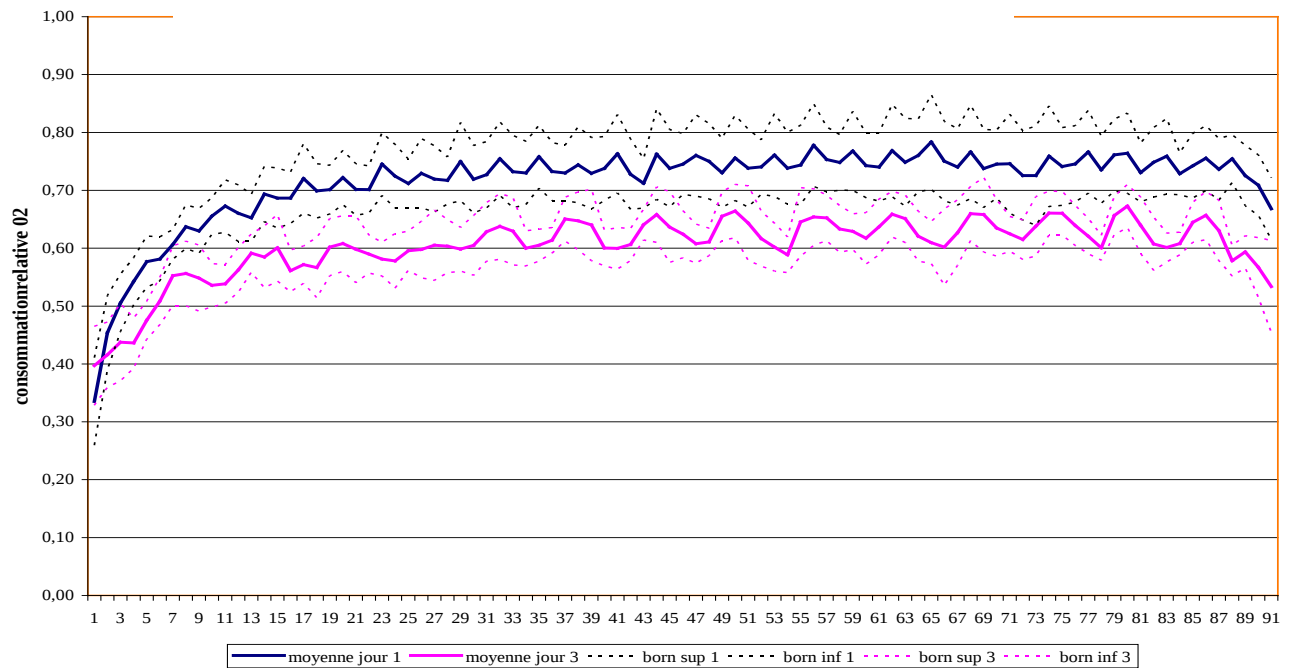


Figure 13 : Consommation relative d'O₂ entre «l'intermittent vma » (jour 1) et « l'intermittent vma + musculation » (jour 3)

Nous observons une différence significative entre vma (jour 1) et vma + musculation (jour 3)

- *Différence entre les résultats obtenus à «l'intermittent musculation » (jour 2) et ceux obtenus à. «l'intermittent VAM-musculation » (jour 3)*

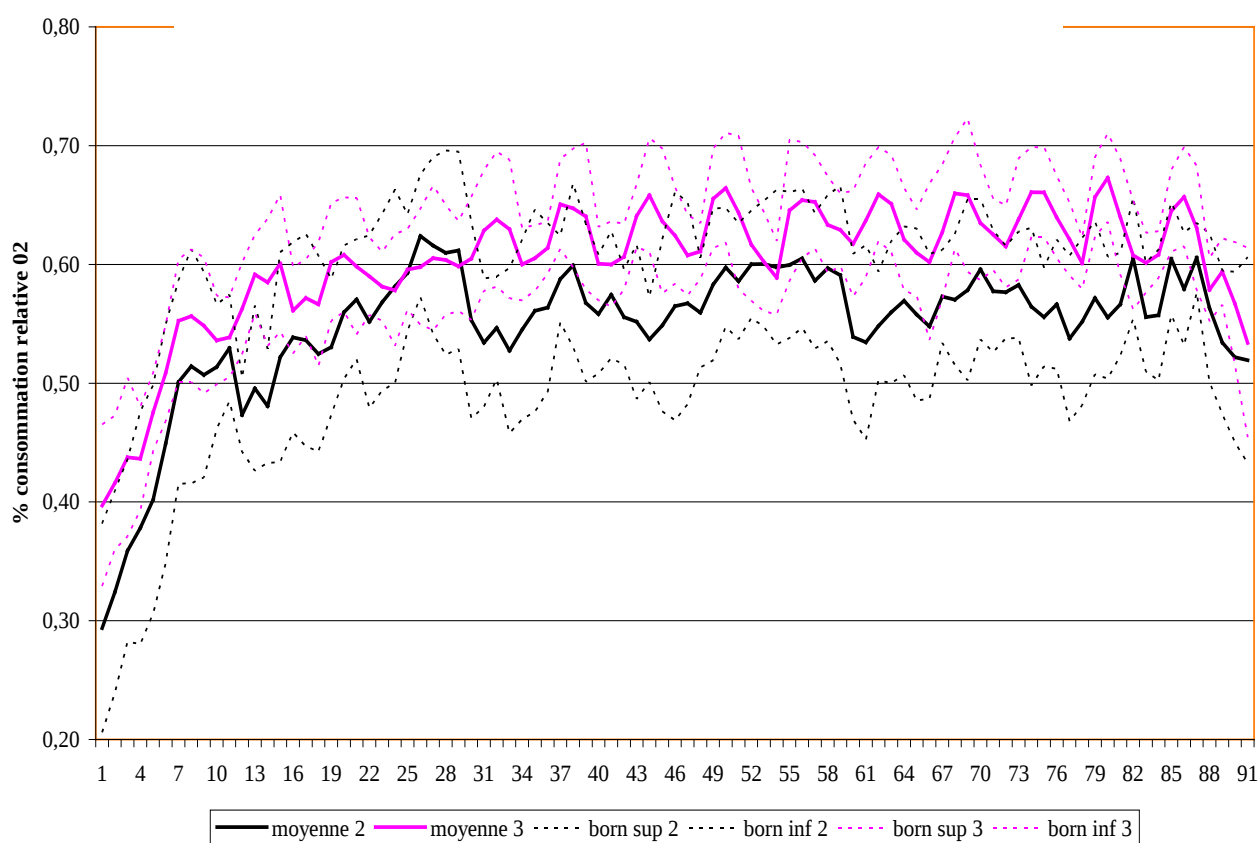


Figure 14 : Consommation relative d'O₂ entre « l'intermittent musculation » (jour 2) et « l'intermittent vma-musculation » (jour 3)

Aucune différence significative de la consommation relative d'O₂ entre l'intermittent musculation (jour 2) et l'intermittent vma/force (jour 3), les intervalles de confiance se chevauchent

D. LA REPARTITION DES EFFORTS

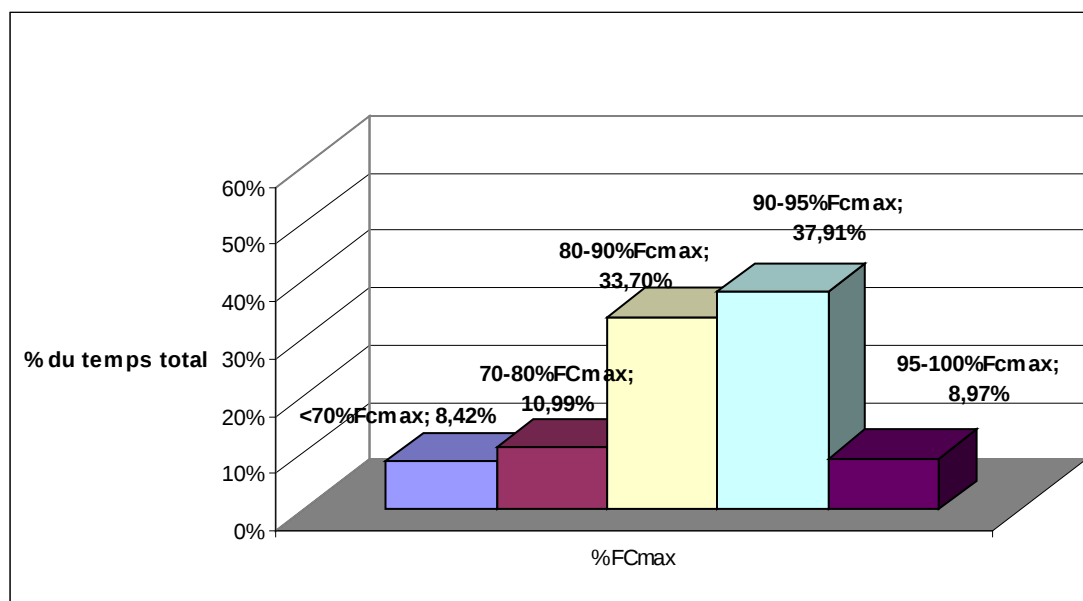


Figure 15 : Moyennes en % du temps passé dans les tranches de % FC max sur « l'intermittent vma »

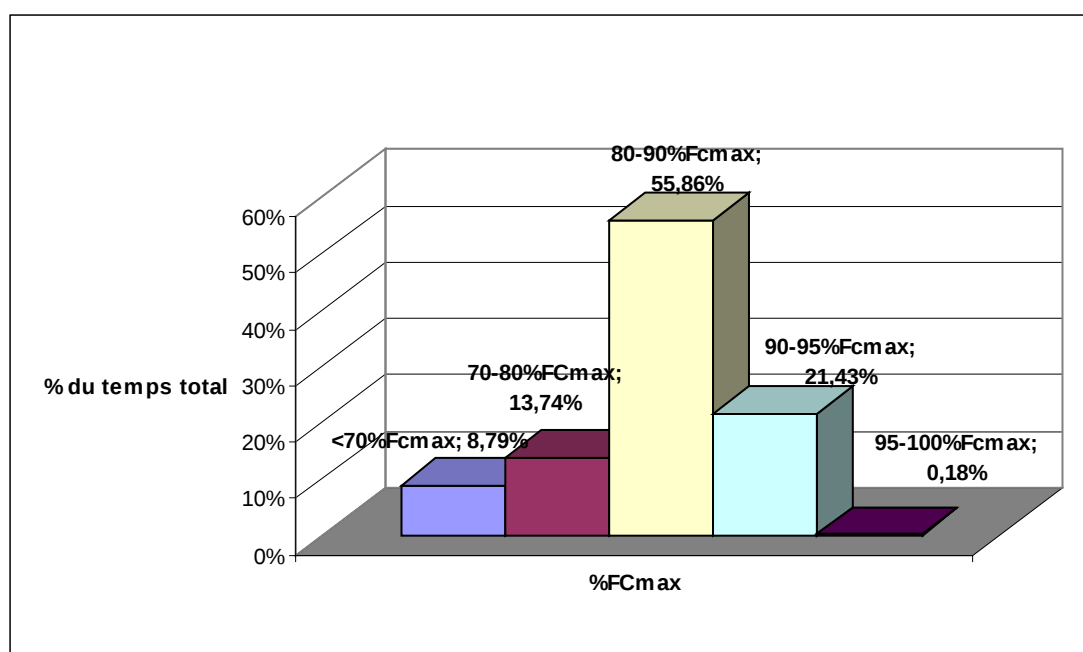


Figure 16 : Moyennes en % du temps passé dans les tranches de % FC max sur « l'intermittent musculation »

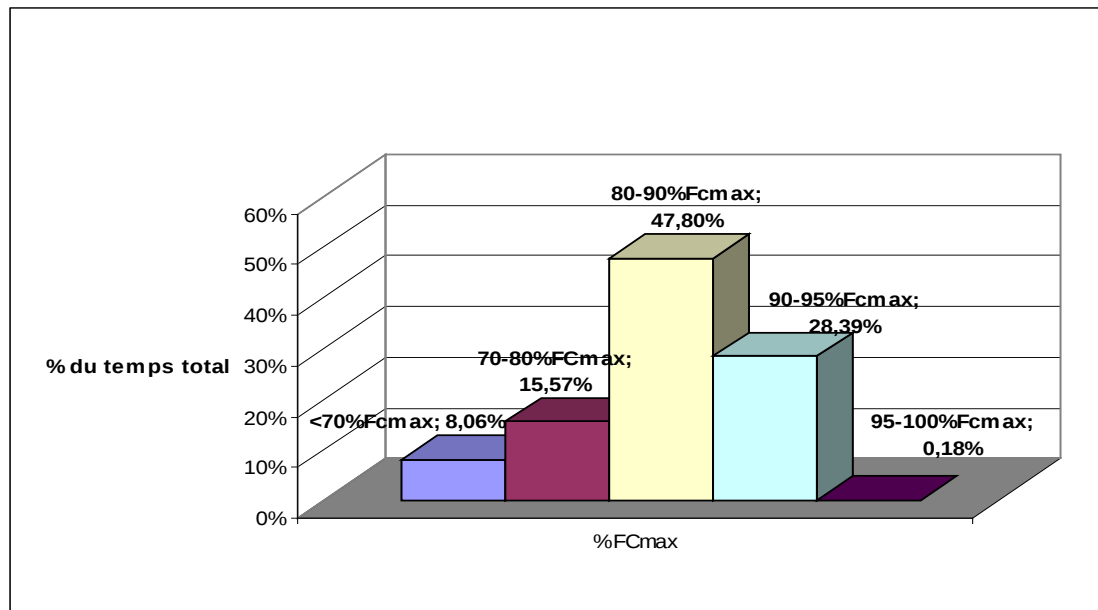


Figure 17 Moyennes en % du temps passé dans les tranches de % FC max sur l'intermittent vma+musculation

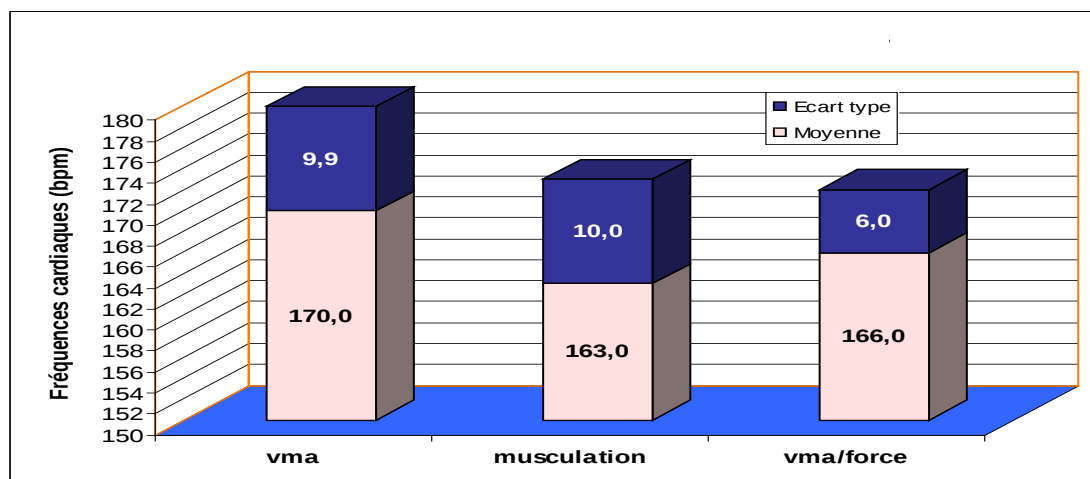


Figure 18 : Moyenne des moyennes des FC des 3 modalités

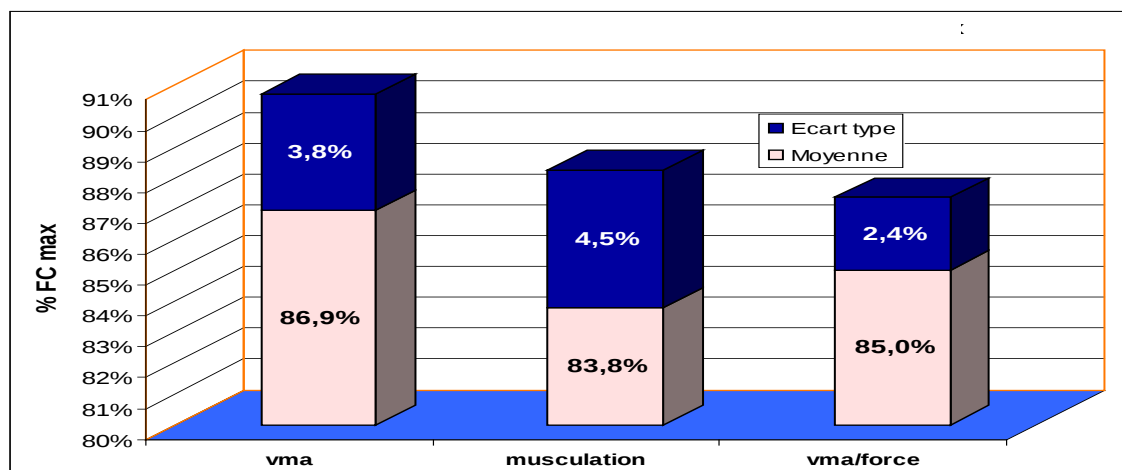


Figure 19 : Comparaison des moyennes de % FC max

DISCUSSION ET PERSPECTIVES

Hormis l'étude de *Cometti (juin 1983)*, il est difficile de comparer nos résultats avec ceux de la littérature puisque, à notre connaissance, aucun protocole similaire n'a été étudié jusqu'ici. L'objectif de ce travail était de mesurer les effets physiologiques et biologiques intervenant dans les différents protocoles intermittents et d'en évaluer l'impact sur la détente verticale.

A. PROTOCOLE « INTERMITTENT VAM » :

L'objectif d'un tel contenu d'entraînement est l'amélioration du système aérobie, ce qui exige une durée minimum de sollicitation de 15 minutes, d'exercices réalisés soit en continu à des intensités infra maximales proches de la puissance aérobie maximale, soit sous formes intermittentes à des intensités supra maximales de durée relativement courte, de l'ordre de 10 à 15s.

Selon certains auteurs, notamment *Saltin et Essen (1977)*, pour ces dernières conditions, grâce au rôle joué par l'hémoglobine et la myoglobine dans la reconstitution très rapide des réserves en oxygène intervenant au cours de récupérations intermédiaires passives et courtes, l'effort est parfaitement aérobie. Ainsi, cette forme de travail permet de solliciter fortement le système aérobie tout en délestant l'intervention du système lactique au cours des protocoles d'exercices intermittents du type 10s d'exercice à 120 % de la PAM, 20s de récupération passive. Dans ce type de protocole, l'évolution de la F.C. atteindrait son maximum au bout de 5 à 6 min et les sujets pourraient soutenir l'effort pendant 30min ou plus. Dans la partie de leur protocole incluant des exercices de 10s réalisés à 120 % de leur PAM et des récupérations passives de 20s, *Saltin et Essen (1977)* observèrent que les concentrations tant musculaires que sanguines de lactate demeuraient très faibles.

A un autre niveau, remarquons que l'étude de *Cometti (juin 2003)* porte sur un protocole de 8 min, durée à peine suffisante pour atteindre la FC maximale et bien trop courte pour espérer une amélioration de la PAM !

Comme nous l'avons observé, la FC n'augmente pas ou très peu au-delà d'une intensité supérieure correspondant à 95 % de la VAM. En conséquence, nous devons rester prudents quant à l'exploitation de la FC au cours des procédés d'entraînement utilisant des intensités égales ou supérieures et a fortiori lorsqu'il s'agit d'exercices d'intensités supra maximales pour lesquels la FC n'est plus utilisable comme moyen d'évaluation de leur charge interne.

Le respect des conditions précédentes impose à l'organisme de fonctionner dans un mode énergétique aérobie et, si un sportif exécute l'exercice trop intensément, notamment en sollicitant trop la glycolyse lactique, il est certain qu'il ne pourra exécuter que quelques répétitions et n'atteindra jamais des durées prolongées au-delà de 3 à 4min, ce qui peut changer radicalement l'objectif de l'entraînement. C'est d'ailleurs le risque avec les variantes ultracourtes telles que les 5s/10s, 5s/15s, 5s/20s, 5s/25s, 10s/10s.

N'ayant atteint que des pourcentages infra maximaux tant au niveau de la FC que du VO₂ et ce, malgré l'intensité de course correspondant à 120 % de la VAM choisie dans notre protocole, nous pouvons raisonnablement supposer que cette intensité était insuffisante pour espérer obtenir un impact optimal pour développer la puissance maximale aérobie. A cette période de la saison, nous pensons qu'une intensité (130 % de VAM pendant 10s ou 120 % pendant 15s), nous semble être une bien meilleure solution pour le développement de la PAM.

Un autre moyen, serait de proposer une réduction du temps de récupération : 15s au lieu de 20s.

Afin de cibler l'impact physiologique du travail intermittent, les modalités d'entraînement doivent appréhender avec finesse les différents facteurs suivants :

- Les pourcentages d'intensité qui doivent se situer entre 110 et 130.
- La durée de l'effort entre 10 et 15 secondes.
- Les temps de récupération de 20, 15 ou 10 secondes.
- Le nombre de répétitions au minimum de 30.

Les figures 15, 16 et 17 présentent les pourcentages du temps total (15min) passé dans les différents secteurs d'évolutions de la FC. Notons que pour le protocole intermittent VAM, 37,91 % est attribué à un pourcentage se situant entre 90 à 95 % de la FC max, alors que cette durée n'est plus respectivement que de 21,43% pour le protocole intermittent de circuits de musculation et de 28,39 % pour celui mixte VAM-musculation.

B. PROTOCOLE « INTERMITTENT PAR CIRCUITS DE MUSCULATION »

Lorsque nous avons élaboré le protocole intermittent musculation l'objectif était d'en mesurer l'impact aérobie et de le comparer aux deux autres protocoles intermittents : VAM et combiné vma + musculation.

Les résultats obtenus attestent d'une baisse de la FC et d'un écart type plus important (figure 18), dû probablement à un, plusieurs ou aux interactions des facteurs suivants :

- certains types d'exercices en musculation sollicitent des chaînes musculaires moins importantes que la course et donc impliquent moins la FC.
- les variations importantes de FC pendant la récupération pourraient être surtout imputables au remboursement exclusif de la dette O2.
- d'autres facteurs pourraient influencer la fréquence cardiaque : chaleur ambiante et corporelle, émotion, apport alimentaire, modalités de travail (continu ou par intervalles) et les types de contractions musculaires (isométriques ou an isométriques).
- une **ischémie** liée aux contractions musculaires importantes et donc diminution de la circulation sanguine.

Nous pouvons donc émettre l'hypothèse que cette modalité d'entraînement serait susceptible d'induire une baisse de l'oxygénation des tissus sollicités en deçà de leurs besoins.

Au cours d'un exercice maximal de courte durée, la fatigue musculaire est liée au manque d'oxygène (ischémie) et à l'augmentation de la concentration plasmatique et de lactate musculaire et donc, de la concentration d'ions hydrogènes dans les muscles, à l'effort. Pourtant l'analyse biologique des substrats démontre une baisse significative de la concentration de lactate entre l'intermittent vma et l'intermittent musculation (Figure 3). On ne peut donc pas attribuer la pénibilité de la séance à la concentration de lactate significativement plus faible comparée à celles obtenues aux autres protocoles intermittents.

Perçu par les joueurs sur l'échelle de Borg à l'issue du protocole intermittent de musculation, l'effort est quasi maximal pour l'ensemble du groupe.

La baisse de la FC et sa variation ne sont donc pas favorables au développement de la puissance aérobie. D'ailleurs les pourcentages observés (figure 16) démontrent une baisse qui ne résulte pas d'une analyse statistique (dans les tranches de 90 à 95 %)

L'analyse statistique montre une augmentation significative (puisque les intervalles de confiance ne se chevauchent pas) (figure 2) pour la C-réactive protéine (CRP) par rapport au protocole intermittent VAM, ce qui pourrait indiquer la présence d'un syndrome inflammatoire musculaire lié à une sur sollicitation des fibres musculaires ayant peut-être comme conséquence des micro traumatismes de leur membrane.

L'évolution chronologique dans l'utilisation des substrats témoigne probablement d'un épuisement des réserves glucidiques à l'origine du déclenchement de la mobilisation lipidique voire protidique. Si les réponses glucidiques et lipidiques à ce type d'augmentation de charges sont bien documentées, celles relatives aux protéines et au système immunitaire le sont beaucoup moins. Il est probable que leur diminution au niveau sérique traduise aussi leur contribution aux apports énergétiques accrus du travail musculaire.

Cependant, l'importante déplétion des immunoglobulines, synonyme de fragilisation du système immunitaire accompagnant l'entraînement aux charges augmentées, peut apparaître ici, comme un possible signal de détresse métabolique susceptible d'être délétère à la santé du sportif.

Les délais très courts de notre expérimentation par rapport à la date de remise de notre mémoire ne nous permettent pas une réflexion plus exhaustive sur les effets biologiques des différentes modalités de contenus d'entraînement choisis. Cependant une analyse plus approfondie des modifications biologiques est actuellement en cours. Elle devrait faire l'objet de publications dans des revues spécialisées.

Selon *Zatsiorki (1966)* les paramètres de la force répondent à des critères particuliers qui ne sont pas sollicités lors de notre procédure compte tenu du peu de temps de récupération entre les ateliers. Il y a donc tout lieu de penser que le contenu de notre protocole intermittent de musculation ne peut développer efficacement les qualités de force et de puissance musculaires.

Rappelons que l'objectif de notre protocole intermittent de musculation était d'en mesurer l'impact aérobie et de le comparer aux deux autres protocoles intermittents : VAM et mixte VAM /musculation et non le développement ciblé de la force et de la puissance.

C. PROTOCOLE « INTERMITTENT VMA + MUSCULATION »

Notre objectif était de tester l'hypothèse selon laquelle la répétition « course – musculation » permettrait de maintenir les capacités aérobies grâce à la course et de développer le pouvoir oxydatif musculaire grâce aux mouvements de musculation et donc peut être, l'endurance de force !

Si l'on se réfère au pourcentage moyen de FC max obtenu : 85 %, (figure 17) l'impact physiologique recherché par ce type d'entraînement ne peut être le développement de la PAM mais plutôt celui de l'endurance spécifique. Généralement cette qualité est aussi sollicitée en période de pré compétition et/ ou en période de compétition surtout pour un maintien des acquis aérobies par exemple. La concentration moyenne du lactate obtenue par ce type de protocole est de 8,1 mmol/L $\pm$..., légèrement inférieure mais pas significative (Figure 5) à celle obtenue par le protocole intermittent VAM, ce qui atteste que l'ajout d'un exercice de force peut, même légèrement, diminuer la production musculaire de lactate. En ce qui concerne les substrats métaboliques, (figure 6) il n'y a pas d'augmentation des marqueurs de stress inflammatoires (CRP, haptoglobine, orosomucoïde) comme ce fut le cas avec le protocole intermittent de musculation. L'alternance course et musculation semble donc être moins délétère pour la fonction musculaire que des exercices intermittents de circuits de musculation.

Le problème récurrent est de savoir si ce type d'exercices intermittents mixtes peut ou non développer efficacement la capacité aérobie, voire la capacité oxydative musculaire.

Selon une idée reçue et quelques fois corroborées par certaines études portant sur le développement de la force (*Bell et al 2000*) il semble que le développement des capacités aérobies modère celui de la force. Par conséquent, nous aurions pu imaginer une baisse de performance sur les tests de puissance musculaire des membres inférieurs à l'issue du protocole intermittent mixte, or ce ne fut pas le cas (Figure 8) ! Cela témoigne, que pour ce type d'entraînement simultané, le travail aérobie ne perturbe pas immédiatement la puissance des membres inférieurs et cela étaye notre hypothèse qui consistait à solliciter simultanément deux qualités : force et capacité aérobie sans pour autant créer des effets antagonistes.

Cependant, restons prudents et raisonnables, car ce protocole a montré ses limites dans le développement des capacités aérobies notamment pour la puissance maximale aérobie mais peut se révéler attrayant à certaines périodes de l'année.

Conclusion

L'entraînement est un ensemble de changements fonctionnels de l'organisme, sous l'effet d'une « charge interne » provoquée par les exercices et leurs combinaisons ou « charge externe » sur laquelle l'entraîneur peut organiser une action directe.

L'identification et la quantification de la charge, bien que complexes, sont une tâche indispensable pour conduire avec efficacité une préparation sportive. On entend généralement par charge d'entraînement, « la mesure quantitative et qualitative du travail d'entraînement » (Werchoschanski, 1992, « *l'entraînement efficace* »).

Afin de manier ces variables le plus efficacement possible, l'entraîneur dispose de l'option de la VAM (charge externe) et l'option de la FC (charge interne) pour quantifier et mesurer sa séance. Nous devons rester prudents quant à l'exploitation de la FC comme moyen d'appréciation de l'intensité de ces procédés d'entraînement et de celle d'un match. Et pourtant, les rares études qui se sont centrées sur l'évaluation des exigences physiologiques du match ont utilisé le recueil en continu de la fréquence cardiaque (FC) comme intermédiaire entre les actions et leurs répercussions physiologiques.

Cependant, comme nous l'avons précédemment indiqué, l'étude des intensités des exercices supra maximaux comme ceux d'un match, à partir de la fréquence cardiaque, s'avère totalement insuffisante.

La relation FC-VO₂ ne peut donc pas s'appliquer dans le cas des efforts de type sprint, de lutte ou de combat ou de tous autres actions intermittentes courtes et intenses. Il serait plus conforme de mettre l'intensité, la durée et la répétition de ces actions en regard des puissances musculaires et des substrats requis. La charge externe apparaît comme un témoin plus fiable que la seule FC pour évaluer les charges d'entraînement, tout au moins, pour des exercices supra maximaux.

Notre étude de départ était d'évaluer les effets et les adaptations d'un entraînement aérobic associé un entraînement de force. Nos hypothèses étaient que le développement et/ou le maintien des capacités aérobies pouvaient être réalisés en combinant l'entraînement de force et aérobic.

Nos résultats confirment :

- Que le protocole intermittent VAM est celui qui a le meilleur impact aérobic des trois.
- Que le protocole intermittent de musculation ne développe ni les qualités aérobic ni de force. Son impact physiologique est beaucoup plus local, améliorant probablement l'endurance musculaire des groupes de muscles sollicités.
- Que le protocole intermittent mixte vma + musculation, est le mieux adapté pour maintenir les acquis aérobic et force une fois ces deux qualités préalablement développées.

Le résultat de cette étude peut s'avérer bien utile pour améliorer le développement et/ou le maintien de la capacité aérobic.

Il en va de même pour l'agencement d'un plan d'entraînement. En effet, le protocole intermittent VAM course devra continuer d'être planifié en début de saison, ce qui confirme l'option prise par de nombreux auteurs, le protocole intermittent vma + musculation pourrait être proposé en période de pré compétition afin de maintenir les acquis aérobic et les qualités de force. Cela est confirmé par le résultat des tests d'explosivité puisqu'il n'y a pas de baisse significative avant et après pour chaque protocole de test (Figure 8). Certains préparateurs physiques précisent qu'il est difficile de concilier musculation et endurance pour des sports de longue durée. *Olivier Raquin* (préparateur physique) constate qu'associer dans une même séance un entraînement aérobic et après un travail de musculation provoque une surfatigue en fin de saison (*les cahiers de l'INSEP, 1997*). Peut être serait-il judicieux de proposer un travail mixte aérobic et musculation pour maintenir des acquis de force chez des athlètes qui n'ont pas le temps de se consacrer au travail de musculation ?

En outre, pour l'entraîneur, la possibilité de jumeler travail aérobic et force ouvre bien des perspectives : lorsque les ressources temporelles sont limitées, simplement pour briser la routine des séances de conditionnement physique ou encore pour maintenir un plateau des qualités précédemment acquises.

