



UNIVERSITE DE NANTES, UFR STAPS

VALIDATION D'UN OUTIL D'ENTRAINEMENT EN BADMINTON :
L'ERGOMETRE A ELASTIQUES « BADLASTIC »

Mémoire de recherche, Master 2, spécialité « Expertise, Performance, Intervention»

2012/2013

Présenté par :

SOUBRE Romain

Le : 7 juin 2013

Directeur de recherche : JUBEAU Marc

Remerciements

Je tiens tout particulièrement à remercier Marc JUBEAU pour son aide, ses conseils et la bibliographie fournie lors de ce travail de recherche.

Merci au laboratoire Motricité, Interaction, Performance de l'Université de Nantes, pour son accueil et sa contribution au bon déroulement de ce mémoire.

Ce travail n'aurait pu se dérouler sans Claude LEVEAU, sans qui cet outil de travail n'aurait jamais vu le jour.

Enfin, merci aux sujets membres de la Section Sportive Universitaire de Badminton de l'Université de Nantes, m'ayant généreusement donné de leur temps dans le cadre de ma recherche.

Sommaire paginé

Introduction.....	3
2. Revue de littérature.....	5
2.1 Physiologie et badminton.....	5
2.1.1 Efforts liés à la pratique.....	5
2.1.2 Types d'entraînements préconisés.....	6
2.2 Méthodologie d'entraînement avec élastiques.....	7
2.2.1 Les fonctions de l'entraînement avec élastiques.....	7
2.2.2 Les effets liés.....	8
2.3 Adaptations neuromusculaires liées à l'entraînement.....	9
2.3.2 Adaptations centrales liées à l'entraînement.....	10
2.3.2.1 Au niveau des agonistes.....	10
2.3.2.2 Au niveau des antagonistes.....	11
2.3.3 Adaptations périphériques liées à l'entraînement.....	11
2.3.3.1 Les propriétés contractiles.....	11
2.3.3.2 Les propriétés élastiques.....	12
2.3.3.3 La typologie musculaire.....	12
3. But de l'étude et hypothèses.....	14
4. Matériels et méthodes.....	15
4.1 Sujets.....	15
4.2 Protocole expérimental.....	15
4.3 Matériels.....	16
4.3.1 Ergomètre.....	16
4.3.2 Electromyographie.....	16
4.3.3 Stimulation électrique.....	16
4.4 Programme d'entraînement.....	17
4.4.1 In situ.....	17
4.4.2 Les tests fonctionnels.....	20
4.4.2.1 Test de sprint.....	20
4.4.2.2 Test spécifique de vitesse.....	21
4.4.2.3 La détente verticale.....	21
4.4.3 Tests neuromusculaires.....	22
4.5 Analyse des données.....	23
4.6 Analyse statistique.....	24
5. Résultats.....	25

5.1 Les tests fonctionnels	25
5.1.1 Le sprint	25
5.1.2 La détente	26
5.1.3 La vitesse spécifique en badminton	27
5.2 Les tests neuromusculaires	28
5.3 Les adaptations nerveuses et musculaires	29
6. Discussion	30
6.1 Les gains observés	30
6.1.1 Les adaptations neuromusculaires	30
6.1.2 Les adaptations nerveuses	31
6.1.3 Les adaptations musculaires	31
6.1.4 Adaptations des qualités physiques	32
6.2 Les considérations méthodologiques	33
6.3 L'approche professionnelle	34
6.3.1 Intérêts à court terme	35
6.3.2 Intérêts à long terme	36
7. Conclusion et perspectives	37
8. Bibliographie	38

Introduction

Parmi les sports individuels, les sports de raquettes, et plus particulièrement le badminton, constituent une famille dont la popularité ne cesse de croître depuis plus de 50 ans. Si le tennis est sans conteste le chef de file de ce groupe, son petit frère, le badminton, est fier de figurer actuellement dans le peloton de tête des disciplines olympiques en matière de pratiquants. Ces derniers sont répartis dans plus de 160 associations nationales membres de la fédération internationale (175 000 licenciés français, 100 millions dans le monde, source de la fédération française au 15/05/13).

À haut-niveau, cette pratique nécessite de très bonnes qualités techniques, tactiques, psychocognitives mais également physiques (Lees, 2003). Dans les faits, le badminton est l'un des sports les plus exigeants physiquement avec le squash (Guillain, 2002). Comme pour les autres disciplines, la pratique du badminton en compétition requiert donc le développement et l'entretien de qualités de force, vitesse, souplesse et d'explosivité (Chandler, 1998). Pour le pratiquant comme pour l'entraîneur, l'optimisation des facteurs de la performance s'appuie sur l'expérience acquise, mais aussi, et de plus en plus, sur des études portant sur des aspects aussi divers que la technique, les matériaux, la préparation physique et mentale, la biomécanique, la pédagogie, la santé, l'ergonomie...

A ce jour, de nombreux ouvrages tels que « Badminton vers le Haut-Niveau » (Limouzin, 2000) ou « Les fondamentaux du badminton » (Ferly, Gallet & Papelier, 1998) se sont penchés sur le sujet de l'entraînement en badminton, et plus particulièrement sur les méthodes d'entraînement. En effet, plusieurs approches existent selon les différentes philosophies d'entraînement, les thèmes de travail etc. La technique peut se travailler à travers la répétition de coups (Grice, 2001) tandis que pour l'explosivité, l'alternance d'un travail en musculation et d'un travail spécifique badminton semble s'avérer positif (Wright, 2000). Des nouvelles méthodologies de l'entraînement sont apparues récemment, utilisant des élastiques (Joy *et al.*, 2013). Elles suggèrent notamment qu'utiliser la résistance créée par les élastiques lors d'un programme d'entraînement permet d'améliorer la puissance, la force et donc la performance.

Ici, dans le cadre de ce mémoire, mon processus de réflexion est axé sur la validation d'un ergomètre innovant, afin d'améliorer les méthodes d'entraînement en badminton. Cet outil artisanal et créatif est un ergomètre à élastiques prénommé le « badlastic ».

Cet ergomètre se caractérise comme une valise, fixée au sol, composée d'une ceinture qui, par le biais d'un anneau, relie les élastiques de la machine au badiste (Figures 1 et 2). Cette machine permet de travailler dans les différentes directions (i.e. 360°).



Figures 1 et 2 : L'ergomètre « badlastic » (source SSU Nantes)

Avec cet outil, la méthode d'entraînement consiste donc à travailler l'explosivité chez le badiste en créant des résistances.

Cette machine est utilisée au sein de la Section Sportive Universitaire Badminton de Nantes depuis 7 ans. Les exercices effectués avec cette machine peuvent se faire latéralement, d'avant en arrière et inversement. La tâche consiste à se déplacer en tirant sur les élastiques (i.e. effort concentrique), et à se replacer en résistant aux forces créées par les élastiques (i.e. effort excentrique). Les joueurs, l'ayant déjà utilisée ont la sensation d'avoir amélioré leur explosivité. Cependant, l'efficacité de cette méthode n'a pas encore été démontrée expérimentalement et les adaptations neuromusculaires qui y sont liées sont également méconnues. Sont-elles issues d'une amélioration de la commande nerveuse? Ou plutôt liées à des adaptations d'ordre musculaires? Dans une volonté d'effectuer un travail de recherche adaptée au terrain, ma problématique sera de s'intéresser aux effets neurophysiologiques créés par ce type d'entraînement, et plus particulièrement à travers l'activité badminton.

Dans un premier temps, ma démarche consistera donc à mettre en place un protocole d'entraînement avec l'ergomètre « badlastic », et d'évaluer ses effets sur la performance ainsi que de déterminer les adaptations neuromusculaires sous-jacentes. La seconde partie sera quant à elle dédiée à l'insertion et l'apport d'une nouvelle méthode d'entraînement innovante en milieu professionnel, et plus particulièrement dans une structure de haut niveau.

2. Revue de littérature

Ce projet de recherche s'apparente donc à une démarche expérimentale incluant la mise en place d'un protocole d'entraînement en badminton. Ce dernier s'effectue avec l'ergomètre original nommé « badlastic », outil d'entraînement à l'aide de résistances élastiques. Ce protocole correspond donc un à type d'entraînement dit de force, et plus particulièrement, de force explosive. Penchons nous donc dès à présent sur la littérature liée à ce sport, puis à ce type d'entraînement avec élastiques, et enfin, sur les adaptations physiologiques qu'il engendre.

2.1 Physiologie et badminton

2.1.1 Efforts liés à la pratique

Le badminton est une discipline olympique depuis 1992, avec plus de 100 millions d'adeptes à travers le monde. Un match se remporte en deux sets gagnants de 21 points, avec 1 minute 30 de récupération entre les sets et 15 secondes entre les points. En moyenne, le temps total d'un match est de 28 minutes tandis que le temps de jeu effectif est de 13 minutes et la durée d'un point de 6,4 secondes. Sur un match, un joueur parcourt 5 à 6 kilomètres, et effectue environ 510 frappes en moyenne, réparties sur 83 échanges. (Cabello & Gonzalez, 2005). Les recherches concernant les déterminants de la performance dans le badminton sont nombreuses et variables. Selon Roper (1985), cette dernière dépend des qualités bioénergétique, technique et tactique.

Grâce à une recherche qui a analysé les échanges gazeux lors de matchs simulés, nous pouvons estimer que 60 à 70% de l'énergie provient de la filière aérobie, tandis que 30% sont issus de la filière anaérobie, avec un taux de lactates dans le sang relativement faible (4.0 – 5.0 mMol/L). (Dal Monte & Faccini, 1996). Ensuite, d'autres études ont démontré que le badiste jouait à un pourcentage élevé de sa puissance maximale aérobie ($73,3 \pm 6,5 \% \text{ VO}_{2\text{max}}$), et à un niveau très proche de sa fréquence cardiaque maximale ($89,0 \pm 4,6 \% \text{ FC}_{\text{max}}$), surtout lors d'un match de simple (Ghosh *et al.*, 2002). Pour autant, le rendement énergétique de la filière anaérobie lactique reste modéré (Abe *et al.* 1990). Lorsqu'ils évoluent proche de leur FC_{max} , le niveau de lactates dans le sang est faible, ce que les auteurs justifient par le rôle de la myoglobine, qui agit comme un stock d'oxygène. Celui ci fournit de l'énergie (Mikkelsen, 1979) et oxyde les lactates musculaires durant les périodes de repos, et entre les échanges (Dal Monte & Faccini, 1996). De plus, à travers une analyse notationnelle (Cabello & Gonzalez, 2003) et une étude des réponses physiologiques lors

d'un match (Faude *et al.*, 2007), nous savons qu'un échange varie entre 6 et 16 secondes, et que les capacités de force, d'endurance, de vitesse, de coordination, de souplesse et d'amplitude du mouvement sont déterminantes. On apprend également que les nombreux sauts explosifs ($61,1 \pm 8,7$ sauts par match) qu'induit cette discipline s'effectuent grâce à l'énergie créée par l'ATP et la créatine phosphate (Mazumdar *et al.*, 1997). L'habileté à exercer une force musculaire à haute vitesse est donc un aspect important de la performance (Groppel & Roetert, 1992). En somme, le badminton est une activité intermittente qui favorise le développement des qualités d'endurance tout en nécessitant une explosivité musculaire, afin de produire des mouvements rapides et puissants (Fernandez, 2006). Il est donc nécessaire pour les badistes d'avoir un système aérobie bien développé, ainsi qu'une très bonne récupération de la fréquence cardiaque. On notera par ailleurs que la pratique du badminton provoque les mêmes effets, quelque soit le sexe du badiste. Malgré une augmentation plus marquée de l'intensité au cours d'un match opposant deux hommes, aucune réponse physiologique significativement différente n'a été observée entre les deux sexes (Fernandez *et al.*, 2012).

2.1.2 Types d'entraînements préconisés

Par définition, le badminton est une combinaison de flexions, d'accélération, de changements de direction et de rythme, de freinages, de déplacements et déplacements en pas chassés (Reilly, 1990). D'un point de vue pratique, Dias et Ghosh ont démontré en 1995 qu'un entraînement spécifique de 10 semaines (2 séances par semaine), basé sur des exercices de routine intermittente sur le terrain (15 s d'effort, 15 s de récupération, répété 20 fois), améliorait les capacités physiologiques et retardait l'apparition de la fatigue. Cette spécificité est primordiale, comme le rappellent Cabello et Gonzalez qui expliquent que « pour améliorer les résultats en badminton, il est nécessaire de planifier l'entraînement en fonction des caractéristiques du sport, à savoir l'endurance, le maintien de l'explosivité dans le temps et les phases d'opposition intenses ». Ainsi, et pour reprendre les travaux de Hughes (1998), l'entraînement de la force explosive paraît être une méthodologie de travail intéressante. Cette hypothèse fut démontrée à travers les recherches de Tobar Ortiz de Urbina et Cabello (2001) sur les aspects méthodologiques de l'entraînement en endurance en badminton. Ils ont déterminé dans un premier temps les métabolismes énergétiques qui intervenaient selon les séquences de jeu, ainsi que la capacité de résistance pour chaque métabolisme. En fonction des qualités à développer, les intensités d'entraînement en résistance n'étaient pas les mêmes (Navarro, 1996). De ces investigations ont découlé des méthodologies de l'entraînement, avec la mise en place de tests spécifiques. La première s'identifie comme la méthode continue, qui consiste à travailler sans interruption afin de développer le potentiel et les capacités aérobie (endurance). La seconde, dite d'intervalle, alterne les phases de travail intenses et

les phases de récupération, avec pour objectif de maintenir l'explosivité dans le temps. D'ailleurs, Hausswirth *et al.*, dans leurs travaux effectués en 2002, ont également montré l'intérêt à développer les qualités explosives chez des badistes. L'objectif de leur étude était de déterminer un test spécifique en badminton. Après analyse de l'activité, ils ont mis en place un protocole composé d'exercices de pliométrie spécifiques au badminton. Les résultats ont montré une très bonne corrélation du test de badminton avec le classement mondial des joueurs ($p < 0.01$). L'entraînement de la force permet donc de développer les capacités explosives des badistes (Cabello & Gonzalez, 2003).

2.2 Méthodologie d'entraînement avec élastiques

Mon étude cherche à valider un ergomètre à élastiques qui s'inspire des récentes méthodes d'entraînements qui utilisent des élastiques utilisées afin d'optimiser la performance. L'intérêt de cette démarche sera d'observer les adaptations sous jacentes ainsi que les effets sur la performance en badminton suite à un programme d'entraînement à l'aide de cet ergomètre..

2.2.1 Les fonctions de l'entraînement avec élastiques

Dès 1978, Reilly et Thomas, précurseurs de cette nouvelle forme d'entraînement, ont validé la conception d'un prototype multifonction destiné à l'entraînement physique (endurance) et à la musculation. Cet appareil à exercices multiples a pour principe de faire travailler le sportif à partir de résistance, alimentée par le poids corporel, des poids de musculation et des machines isocinétiques. Sous forme de circuit training, l'objectif de cet équipement était d'enchaîner les exercices afin de solliciter différents groupes musculaires selon la forme d'exercice choisi. La résistance et les muscles sollicités étant variables, cet ergomètre s'adresse à un public très large, du sportif confirmé aux utilisateurs loisirs. Cette forme d'entraînement avec résistance s'est rapidement répandue car celle-ci provoquait plus d'adaptations et de gains (en termes de force et de puissance notamment) qu'un entraînement classique (Muktamath, 2010). Plus récemment, cette méthode a évolué à travers une autre forme, en utilisant des élastiques. Cet apport dans le domaine de l'entraînement et de la musculation s'est avéré légitime et efficace car il a permis d'améliorer la condition physique du sportif à un moindre coût (Rogers, 2002) tout en apportant une dimension attrayante et ludique (Vanbiervliet, 2003). En effet, grâce à un entraînement physique pendant 4 semaines (3 jours/semaine), Rogers *et al.* (2002) ont montré que des exercices sur chaise en recréant les mouvements d'haltérophilie (haut du corps) et d'extension de la jambe (bas du corps) à l'aide d'élastiques amélioraient les qualités physiques (+24% de gains de force sur le haut du corps, +5% sur la force de préhension). Intégrant des bandes élastiques, les exercices de renforcement ou de

musculature sont donc nombreux et variés, ils peuvent même remplacer les poids (Sale, 2002). De plus, cela apporte une dimension rééducatrice à cet entraînement, avec une perception de l'effort plus faible (Vanbiervliet, 2003). Pour cause, ce chercheur, dans le cadre d'une réathlétisation de 4 semaines, avait une méthode basée sur des mouvements d'haltérophilie avec élastiques. Grâce à l'échelle de Borg, le groupe entraîné avec élastiques a perçu un effort plus faible que le groupe contrôle, qui s'entraînait avec des poids. D'un point de vue pratique et méthodologique, utiliser les bandes élastiques dans un entraînement en résistance est une alternative efficace pour combler un faible travail en musculature (Wallace, 2006).

2.2.2 Les effets liés

L'entraînement en résistance avec élastiques s'adresse aussi bien à un sportif de haut-niveau qu'à un sportif loisir. En fonction de l'intensité et des exercices, les effets sous-jacents seront différents. Malgré tout, on observe une augmentation de la force (Martins, 2013), peu importe le profil du sportif (Elliot *et al.* 2002 ; Sale, 2002). De manière plus spécifique, il a été rapporté qu'un entraînement de 6 semaines (3 séances/semaine) à base de squat associé à l'utilisation de bandes élastiques augmente significativement la vitesse de montée en force (Stevenson, 2010), mais également la force (+25%), la puissance (+10%) et l'activité électromyographique (+5%) (Israetel, 2010). Lors de l'exécution de cet exercice, ces gains ont notamment été observés en fin de phase concentrique et en début de phase excentrique (Israetel, 2010). Centrer l'entraînement avec élastiques sur un travail excentrique va également créer des adaptations. En effet, Jensen *et al.* (2012) a mis en place un protocole de 8 semaines avec 2 séances/semaine, afin de renforcer les adducteurs par un travail des forces excentrique et isométrique. Les deux premières semaines les sujets effectuaient 3×15 répétitions à 95% d'1 RM, les quatre suivantes se composaient de 3×10 répétitions à 100% d'1 RM et les deux dernières de 3×8 répétitions à 105% d'1 RM. Suite à ce protocole, la force maximale développée en excentrique a augmenté de 30% alors qu'aucune modification de la force isométrique n'a été observée. Sachant que travailler en excentrique amène une fonction « protectrice » au muscle (Lavender & Nosaka, 2008), cette forme d'entraînement, en plus d'améliorer la force, va permettre d'augmenter la protection contre le risque de blessures (Jensen, 2012). L'entraînement avec élastiques crée donc de nombreuses adaptations, mais il y a une méconnaissance sur le sujet car peu d'études ont déterminé l'origine (centrale ou périphérique) de ces adaptations. Dans le cadre de mon processus de recherche, l'objectif sera de s'intéresser à ces adaptations neuromusculaires induites par un entraînement à base d'élastiques.

2.3 Adaptations neuromusculaires liées à l'entraînement

La contraction maximale volontaire (CMV) génère un moment de force qui résulte premièrement d'une contribution de mécanismes nerveux associés à la commande centrale, et deuxièmement, de facteurs périphériques liés aux caractéristiques intrinsèques du système musculo-squelettique (architecture, volume, typologie...). Suite à un entraînement de la force, il est admis que les principaux mécanismes responsables du gain de force sont de type nerveux et périphériques (De Vries & Moritani, 1979, 1980). Ci-dessous, une figure montre justement les différents sites qui peuvent être impliqués dans des adaptations neuromusculaires :

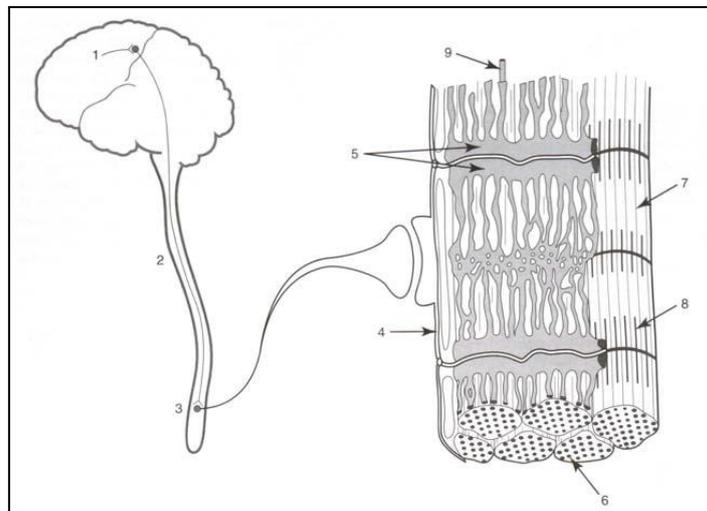


Figure 3: Les sites liés aux adaptations neuromusculaires (Enoka, 2002).

- | | | |
|--|---|---------------------|
| (1) le cortex moteur primaire | } | Niveau central |
| (2) la commande nerveuse descendante | | |
| (3) les unités motrices et les muscles activés | | |
| (4) la propagation neuromusculaire | } | Niveau périphérique |
| (5) le couplage excitation-contraction | | |
| (6) les substrats métaboliques | | |
| (7) le milieu intracellulaire | | |
| (8) l'appareil contractile | | |
| (9) l'apport sanguin musculaire | | |

2.3.2 Adaptations centrales liées à l'entraînement

Durant ce type d'entraînement de force, des adaptations nerveuses précoces expliquent les gains de force observés. En effet, ces derniers surviennent lors des toutes premières semaines d'entraînement sans modification significative de la section musculaire et/ou du volume, ainsi que de l'aire des différentes fibres (Ploutz *et al.* 1994). Aucune modification significative non plus en ce qui concerne la typologie musculaire (Akima *et al.* 1999).

2.3.2.1 Au niveau des agonistes

Avec l'entraînement en force, le niveau d'activation des agonistes va augmenter. L'entraînement de la force peut provoquer des adaptations de la commande nerveuse d'un point de vue quantitatif en relation avec le niveau d'activation du muscle volontairement recruté (nombre d'unités motrices, fréquence de décharge) et les sites impliqués (Carroll *et al.* 2002). En effet, des études ont montré qu'il est difficile d'activer au maximum un muscle par commande volontaire, cette capacité varie selon les muscles, la tâche, des connexions neuronales... Pour autant, avec l'entraînement en force, cette capacité accroit grâce à l'amélioration significative du niveau d'activation (Enoka, 1997) ou de la RMS normalisée. Pour rappel, le niveau d'activation correspond à l'activité électrique du muscle, elle peut être corrélée au niveau de la force. La RMS est la racine carré des moyennes des valeurs EMG lors d'une contraction maximale, elle correspond à l'excitabilité des motoneurons alphas. L'onde M correspond à l'excitabilité du muscle. Normaliser cette RMS par l'onde M permet ainsi d'exclure les modulations liées à la fatigue périphérique, et d'ainsi caractériser la fatigue de la commande centrale. (Duchateau *et al.*, 2002). D'autres études, suite à un entraînement en force, ont montré une augmentation significative du niveau d'activation (Pensini *et al.* 2002). Cette étude avait été menée afin de caractériser l'activation nerveuse lors de mouvements volontaires.

Ces adaptations peuvent s'expliquer à travers différents mécanismes comme l'augmentation du recrutement des unités motrices (UM) à un haut seuil d'activation ou l'augmentation de la fréquence de décharge de ces même UM (Pucci *et al.*, 2006). De plus, cela peut s'expliquer par une meilleure synchronisation des unités motrices (Pensini *et al.*, 2002).

D'autres travaux nous montrent qu'avec ce type d'entraînement, des adaptations ont également lieu dans le système nerveux. Elles peuvent être liées aux cartes corticales, à la commande motrice, aux unités motrices et au retour d'information sensorielle (Duchateau & Enoka, 2002).

Nous pouvons également observer une augmentation de la force et/ou de la montée en force (RFD). La RFD correspond à la vitesse de montée en force, c'est-à-dire la capacité pour un individu à augmenter le niveau de force rapidement (Aagaard *et al.* 2002).

2.3.2.2 Au niveau des antagonistes

L'activation des muscles antagonistes est effectuée par les centres spinaux. (Zehr, 2002). Avec ce type d'entraînement, la co-activité des antagonistes va diminuer, que ce soit sur la jambe entraîné ou non, ce qui laisse l'hypothèse d'une origine supra-spinale (Cafarelli & Carolan, 1992). Pour autant, en 2005 Morse *et al.* nous ont démontré qu'aucune modification de la co-activité était perçue suite à un entraînement de la force. Ce désaccord montre notamment les limites de la méthode par électromyographie de surface (EMG). Cette méthode ne permet pas de déterminer précisément les origines neurophysiologiques responsables la diminution de la co-activité des muscles antagonistes.

Tous ces facteurs d'origine centrale caractérisent l'activité nerveuse. Analyser le niveau d'activation à l'aide de la technique de secousse surimposée, la RMS normalisée, l'activité EMG (Pensini *et al.*, 2002) sont autant de méthodes possibles pour suivre cette activité. Des adaptations musculaires peuvent également intervenir à la suite d'un entraînement de force.

2.3.3 Adaptations périphériques liées à l'entraînement

A l'issue d'une période d'entraînement de la force, les gains observés peuvent provenir de différents facteurs du complexe myotendineux comme la modification des protéines musculaires telle que la myosine (Staron *et al.* 1994) ou à l'augmentation du volume musculaire, appelée hypertrophie (Sale, 1988). Ces deux facteurs améliorent la capacité de production de force ainsi que la vitesse de raccourcissement du muscle. D'ailleurs, des travaux récents ont rapporté que l'hypertrophie (et les adaptations liées) étaient plus importantes lors d'un entraînement en force de type excentrique (Hortobagyi *et al.*, 2000). Ensuite, en 2001, Aagard *et al.* nous montrent que la modification de l'architecture musculaire (longueur des fibres musculaires, orientation de ces dernières), contribuait également à un gain de force sur des muscles pennés. Pour autant, des auteurs ont prouvé qu'il y avait une variabilité interindividuelle des caractéristiques architecturales chez des sportifs, et donc qu'il existait une prédisposition génétique (Abe *et al.* 2002). De nombreuses adaptations périphériques ont donc lieu suite à un entraînement en force (hypertrophie, modification de l'architecture), mais d'autres adaptations surviennent afin de justifier le gain de force.

2.3.3.1 Les propriétés contractiles

D'un point de vue du mécanisme de contraction, les fibres rapides et lentes présentent des caractéristiques différentes, que ce soit en termes de vitesse (Bottinelli *et al.* 1996) ou de force

générée (Widrick *et al.*, 1996). De plus, Harridge *et al.* (1996) ont démontré que les fibres rapides présentaient des vitesses de développement et de relaxation de la force supérieures aux fibres lentes, tout comme le temps de contraction. Suite à un entraînement de type force, il a été récemment démontré une diminution du pourcentage des chaînes lourdes de myosine IIx (- 7,9% par rapport aux valeurs en pré tests). Ces gains ont été observés grâce au phénomène de surcompensation (Aagaard & Andersen, 2000). Cela prouve que ce type d'entraînement, associé à des stimulations électriques, modifient les propriétés électriques et contractiles du système neuromusculaire.

2.3.3.2 Les propriétés élastiques

Avec un entraînement en force, des modifications vont avoir lieu au niveau de l'élasticité du complexe musculo-tendineux (CMT), et particulièrement en lien avec la composante élastique série (CES). En 1997 puis 2003, Cornu *et al.* nous ont démontré à travers l'ensemble de leur travaux que ces modifications étaient différentes selon le type de muscle, sa typologie et le type d'action musculaire. Ils nous ont expliqué que ces différences sont en partie dues à l'influence des facteurs architecturaux et à l'adaptation des structures articulaires.

Ces propriétés contractiles et élastiques peuvent être caractérisées grâce à l'analyse de l'amplitude des secousses, qui montrent que ces propriétés sont modifiées avec ce type d'entraînement.

2.3.3.3 La typologie musculaire

L'entraînement en force peut provoquer des conversions typologiques qui se font principalement au sein du groupe des fibres rapides. En effet, Campos *et al.* ont rapporté en 2002 une augmentation du pourcentage des fibres rapides de type IIa associée à une diminution de celui des fibres IIb. Pour autant, une conversion inverse (entre fibres de type I et II) suite à un entraînement en force n'a pas été démontrée à ce jour.

Ainsi, grâce à l'analyse concomitante des réponses mécaniques (amplitudes des secousses, doublets) et électromyographique (onde M), à l'aide de la technique de stimulo-détection (Desmedt, 1958), nous pouvons caractériser les adaptations périphériques du système neuromusculaire (Colson *et al.*, 2000).

Pour conclure cette partie neuromusculaire, Maffiuletti *et al.* ont démontré à travers des recherches menées en 2002 que la nature de montée en force lors d'un test isométrique (montrée progressive vs. balistique) conditionnait en partie les adaptations du système neuromusculaire liées à l'entraînement en force, d'où l'importance d'effectuer les tests toujours dans les mêmes conditions (reproductibilité). En somme, nous voyons que suite à ce type d'entraînement, le système neuromusculaire fait preuve d'une grande adaptation. (Häkkinen, 1994).

A la suite à un entraînement en force, des augmentations significatives de la force étaient observées, et celles ci sont dues à des adaptations au niveau central (niveau d'activation, RMS normalisée) et périphérique (amplitude des secousses, doublets et onde M). De la même manière, on a vu que cet entraînement améliorait le phénomène de co-activation. Etant donné qu'entraîner la force dans le cadre de l'optimisation de la performance s'est avéré efficace, c'est sous cette forme d'entraînement que mon protocole de recherche s'organise. De plus, de manière indirecte, nous avons vu que l'on pouvait montrer des adaptations à travers différentes méthodes indirectes non-invasives. L'analyse de l'activité électromyographique (EMG), du niveau d'activation (Merton, 1954), des contractions volontaires et électro-induites vont donc être les méthodes que nous allons mettre en place dans cette étude.

3. But de l'étude et hypothèses

L'objectif de cette étude était dans un premier temps de mettre en place un protocole d'entraînement avec l'ergomètre « Badlastic », au sein de la Section Sportive Universitaire de badminton de l'Université de Nantes, afin d'évaluer les adaptations sous jacentes. Des tests neuromusculaires ainsi que des tests fonctionnels, mesurant la vitesse de déplacement et la détente, seront donc effectués de manière longitudinale, afin d'observer et suivre les adaptations liées à l'entraînement. Cet ergomètre expérimental est utilisé depuis de nombreuses années dans la structure universitaire, et aucun badiste ne s'est blessé. De plus, le protocole mis en place est de nature explosive et spécifique à l'activité badminton. Partant de ces postulats, nous émettons donc l'hypothèse que nous observerons des adaptations neuromusculaires. (Hermeto *et al.*, 2010).

Dans un second temps, nous établirons les relations entre ces adaptations physiologiques et les performances motrices sur le terrain, avec pour principal but de justifier ces performances in situ à travers ces adaptations (Perry, 2004). Cela légitimerait ainsi l'utilisation de cet ergomètre dans ce sport de raquettes, tout en démontrant une nouvelle méthodologie de l'entraînement en badminton.

Pour finir, nous insérerons cette nouvelle méthode d'entraînement dans un milieu professionnel, et plus particulièrement dans une structure d'entraînement de haut niveau (meilleurs jeunes de Loire Atlantique). Notre volonté sera de faire découvrir une approche différente de l'entraînement en badminton, d'animer la curiosité des joueurs, des entraîneurs et des cadres dirigeants. Cette découverte reposera sur la présentation et la démonstration de cet ergomètre, ainsi que sur son fonctionnement et ses effets. Initier ce collectif à cette méthodologie innovante de l'entraînement est également un objectif. En effet, basée sur un recueil de témoignages, cette initiative permettra de nourrir le projet d'avis extérieurs. Ces informations externes seront nécessairement prises en compte dans l'optique d'améliorer le développement de cet outil d'entraînement.

4. Matériels et méthodes

4.1 Sujets

Pour cette étude, 15 sujets ont participé aux expérimentations, 5 filles et 10 garçons. Deux groupes ont été formés: le groupe « entraîné » composé de 9 sujets et le groupe contrôle avec 6 sujets. Les caractéristiques anthropométriques des sujets sont présentées dans le tableau 1. Tous sont membres de la Section Sportive Universitaire badminton de l'Université de Nantes. Les sujets ont été informés des différents tests réalisés et ont signé une fiche de consentement de participation.

Groupes	Entraînés (n=9)	Contrôle (n=6)	Total (n=15)
Age (en années)	21,1 ± 2,2	20,6 ± 2,9	20,9 ± 2,4
Taille (en cm)	173,8 ± 5,1	169,2 ± 5,5	172,1 ± 5,5
Poids (en kg)	67,1 ± 6,9	64,6 ± 8,9	66,1 ± 7,4

Tableau 1 : Données anthropométriques des participants

Les sujets sont des badistes de haut niveau, dont 6 sont membres du Top 100 national français (3 filles et 3 garçons). Leur volume horaire hebdomadaire d'entraînement est en moyenne de $7,8 \pm 2,1$ h. De manière générale, les séances se composaient de $6,1 \pm 1,2$ heures d'entraînement spécifique badminton, et $1,7 \pm 0,8$ heures de musculation et/ou renforcement musculaire.

4.2 Protocole expérimental

Lors du protocole d'entraînement, les groupes ont été testés une semaine avant (pré), immédiatement après (post) et deux semaines après (désentraînement) 5 semaines d'entraînement. Ces tests ont eu lieu en partie en laboratoire, afin d'évaluer les paramètres neuromusculaires. Les autres tests se sont effectués sur le terrain ; leur nature fonctionnelle nous a permis d'évaluer la force explosive. (cf. partie 4.4). Le groupe entraîné réalisait deux entraînements par semaine avec l'ergomètre « badlastic » tandis que le groupe contrôle réalisait la même séance sans la machine. La durée de l'exercice total, c'est-à-dire les deux situations, était de 10 à 15 min, selon le nombre de répétitions (incrémenté avec le temps).

4.3 Matériels

4.3.1 Ergomètre

Le sujet était en position assise, sur un dynamomètre monosegmentaire isocinétique de type Biodex Pro System 3 (Biodex medical, Shirley, N.Y., EU). La jambe était attachée 2-3 cm au dessus de la malléole au bras de levier du dynamomètre, et le sujet était positionné avec un angle de 90° au niveau de l'articulation de la hanche, afin que l'axe de rotation du genou se retrouve dans l'alignement de l'axe de rotation du moteur. L'angle du genou était fixé à 60° (extension complète = 0°). Le sujet était immobilisé à l'aide de ceintures au niveau du tronc, du bassin et de la jambe controlatérale. La jambe testée a été la jambe d'appui du sujet lors de la pratique.

4.3.2 Electromyographie

Afin de caractériser l'activité du muscle nous avons utilisé l'électromyographie de surface (EMGs). Elle correspond à l'activité électrique d'un ensemble d'unités motrices et est représentative de l'activité entière d'un muscle (Bouisset et Maton, 1972). Avant chaque pose d'électrodes, le sujet était rasé et nettoyé avec de l'alcool afin d'améliorer la qualité du signal (De Luca, 1997). Ces dernières étaient placées sur le vaste latéral (VL) et le biceps fémoral (BF), avec une électrode de référence placée sur la rotule pour chaque muscle. En accord avec les recommandations de la Seniam, les électrodes sur le VL ont été placées dans le sens des fibres, au 2/3 de la ligne qui part de l'épine iliaque antérieure supérieure jusqu'au côté latéral de la rotule. Pour le BF, celles-ci étaient disposées au milieu de la ligne entre la tubérosité ischiatique et l'épicondyle latéral du tibia, dans la direction de cette ligne. (<http://www.seniam.org/>).

Les données de couple de force et d'activités EMG ont été enregistrées grâce au système d'acquisition Biopac (Biopac Systems, Inc., Goleta, California, U.S.A) à une fréquence d'échantillonnage de 2000 Hz.

4.3.3 Stimulation électrique

Les impulsions électriques étaient délivrées par l'intermédiaire d'un stimulateur à haut-voltage de type Digitimer DS 7A (Digitimer, Hertfordshire, GB). Les impulsions étaient de type rectangulaire, d'une durée de 1 ms, de tension maximale 400 V et d'intensité variant entre 55 et 125 mA en fonction des sujets. Le stilet (électrode positive) était placé au regard du nerf fémoral au niveau du pli inguinal tandis qu'une électrode négative dispersive était située sous le muscle fessier afin de solliciter électriquement les muscles extenseurs du genou étudiés.

Des doublets (fréquence 100 Hz) ont également été évoqués à l'aide d'un générateur de train de type Digitimer DG2A (Digitimer, Hertfordshire, GB).

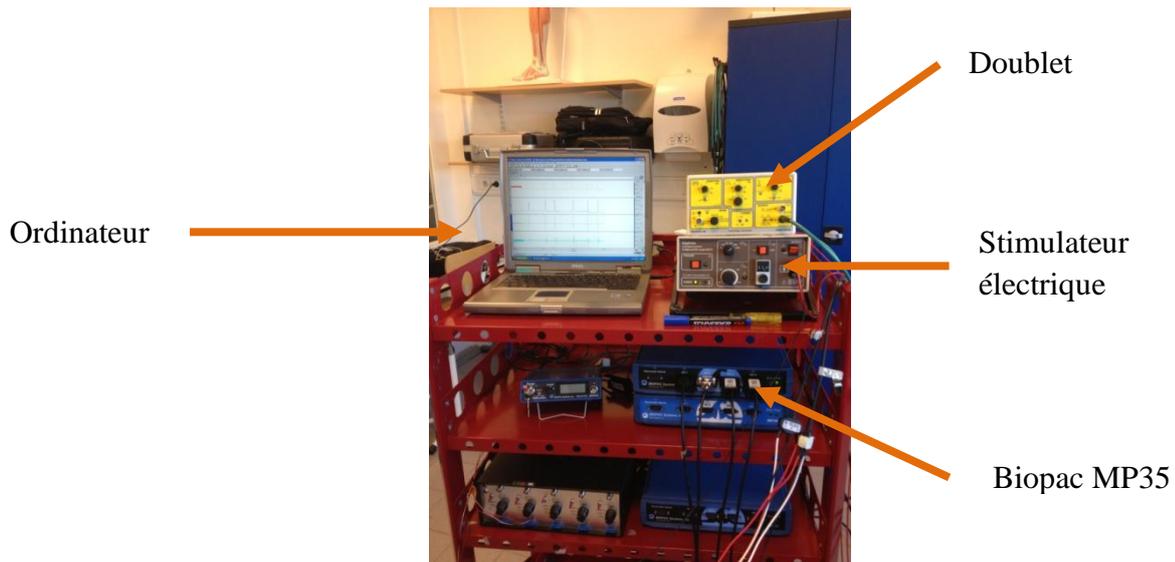


Figure 4 : Matériels d'acquisition pour les tests neuromusculaires

4.4 Programme d'entraînement

4.4.1 In situ

Le protocole d'entraînement était comme suit : 2 séances par semaine pendant 5 semaines, c'est-à-dire 10 séances, le groupe entraîné effectuant la même séance que le groupe entraîné mais sans l'ergomètre à élastiques.

Cette séance comportait deux situations différentes (1 et 2). La distribution des volants fut réglée grâce à un métronome. Durant l'exercice effectué par le groupe entraîné, l'acquisition des forces d'étirement des élastiques a été enregistrée avec le système Biopac présenté ci-dessus :



Figure 5 : Jauge de contrainte installée sur l'ergomètre

Situation 1 : Le joueur effectue un déplacement fond de court, sur le coté coup droit puis sur le revers. Il porte la ceinture autour de lui, avec x nombres d'élastiques (cf étude Master 1 EPI sur la calibration de cet outil d'entraînement).

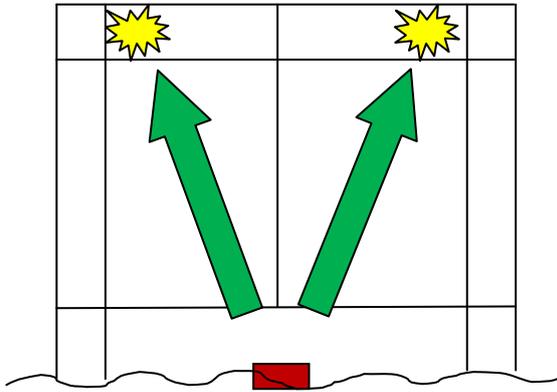
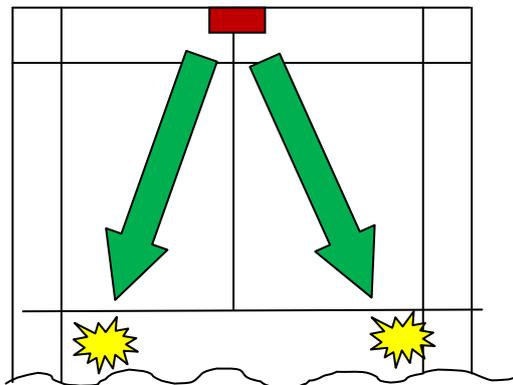


Figure 6 : situation vers l'arrière

Situation 2 : Le joueur effectue un déplacement vers l'avant, sur le coté coup droit puis sur le revers.



- = la machine
- = le sens du déplacement
- = la zone de frappe



Matériels
d'acquisition

Jauge de
contrainte

Figures 7 et 8 : situation vers l'avant

Ces deux exercices se caractérisaient par des séries de 10 répétitions - c'est à dire 15 secondes d'efforts- avec 20 secondes de récupération entre les répétitions. Cette fréquence « 15/20 » représente l'activité sachant que la moyenne d'un échange correspond à cette fréquence; elle est également intéressante pour le développement des qualités d'explosivité (Cabello & Tobar Ortiz de Urbina, 2001). Dans un souci de rigueur scientifique, le temps d'effort et la fréquence d'envoi des volants étaient fixes : un volant fut envoyé dans l'un des deux coins toutes les 2 secondes (intérêt du métronome). Concernant l'intensité de l'exercice, celle-ci a été répartie de manière exponentielle dans le temps, comme l'indique le tableau 2 ci dessous:

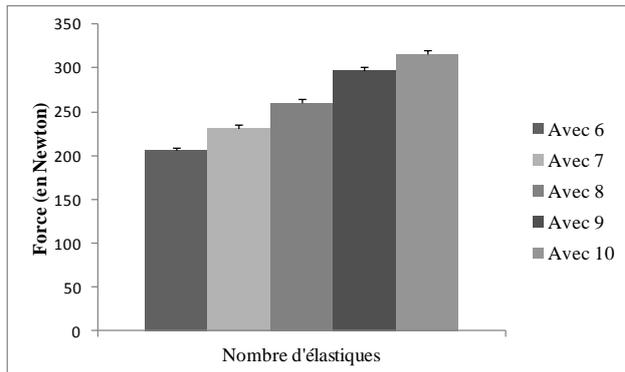
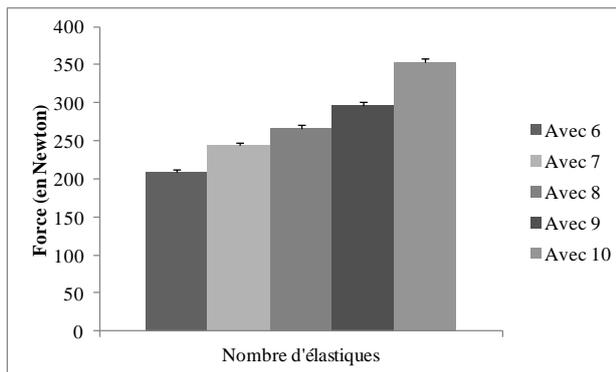
Séances	Nombre d'élastiques maximum = 12	Nombre de répétitions	Nombre de séries
1 et 2 (semaine 1)	6	10	3 + 3 (situation 1 + situation 2)
3 et 4 (semaine 2)	6	10	3 + 3
5 et 6 (semaine 3)	8 (Hommes) 7 (Femmes)	10	4 + 4
7 et 8 (semaine 4)	8 (H) 7 (F)	10	4 + 4
9 et 10 (semaine 5)	10 (H) 8 (F)	10	5 + 5
Désentraînement (Semaine 6)	-	-	-
Désentraînement (Semaine 7)	-	-	-

Tableau 2 : Description du protocole d'entraînement

Le nombre d'élastiques a été déterminé en référence aux résultats des travaux effectués en Master 1 EPI. Grâce à la jauge de contrainte placée sur l'ergomètre (figures 9 et 10), nous avons pu enregistrer les valeurs de force à chaque changement d'élastiques, pour les deux situations d'exercice (figures 11 et 12).



Figures 9 et 10 : position de la jauge de contrainte selon la situation (arrière et avant)



Figures 11 et 12 : Evolution de la force en fonction du nombre d'élastiques pour la situation vers l'arrière (figure 11) et l'avant (figure 12).

Selon ces figures, on observe une augmentation de la force produite par le sujet, en corrélation avec l'augmentation du nombre d'élastiques. Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés lors de mon étude de Master 1 EPI.

4.4.2 Les tests fonctionnels

Trois types de tests ont été évalués durant ce protocole d'entraînement : le sprint, la vitesse spécifique sur le terrain et la détente. Cet ensemble de tests fonctionnels nous ont permis de caractériser la force explosive de chaque sujet, et d'observer son évolution dans le temps.

4.4.2.1 Test de sprint

Le test de vitesse s'est déroulé sur 20 mètres, avec 3 essais pour chaque sujet. Des cellules photoélectriques de type Brower Timing Systems, Draper, Utah, U.S.A, ont été utilisées pour enregistrer la vitesse.

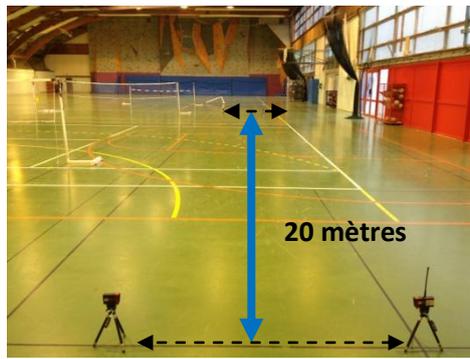


Figure 13: Test sprint

Concernant la vitesse de déplacement, celle-ci fut enregistrée grâce à une caméra HD positionné derrière le terrain, puis traitée sur ordinateur avec le logiciel « Windows Live Movie Maker ».

4.4.2.2 Test spécifique de vitesse

Le test spécifique de vitesse avait pour but d'aller toucher les 4 coins du terrain le plus vite possible, en respectant le déplacement spécifique et en repassant par le centre du terrain (zone de remplacement) entre chaque touche (Chin, 1995).

4.4.2.3 La détente verticale

La détente a été mesurée à travers deux tests distincts : le counter movement jump (CMJ) et le squat jump (SJ). L'angle de flexion était de 60° pour chacun des deux tests (spécifique badminton). Le premier s'effectue départ jambes tendues puis le sujet fait une flexion suivie d'une impulsion, tandis que le second commence directement fléchi à l'angle de genou souhaité, et effectue son impulsion lorsqu'il est prêt. (Komi & Bosco, 1978). Ces deux types de tests ont été évalués grâce au dispositif Optojump (Microgate S.r.l., Bolzano, Italy).



Figures 14, 15, 16 : le counter movement jump

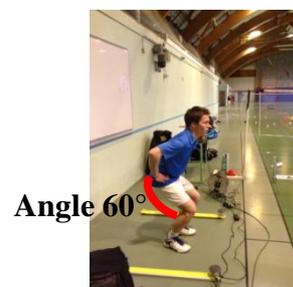


Figure 17 : le squat

4.4.3 Tests neuromusculaires

Ces tests étaient composés de contractions maximales volontaires (CMV) et électriquement évoquées, ainsi que des contractions dynamiques à différentes vitesses. Les propriétés électriques (activité électromyographique) et mécaniques (couple de force) étaient enregistrées lors de ces tests. Le protocole expérimental visait dans un premier temps à familiariser le sujet avec le matériel (ergomètre isocinétique et stimulation électrique) et les tests à réaliser. Après la période de familiarisation, l'amplitude maximale de l'onde M et de la réponse mécanique associée étaient ensuite déterminées afin de repérer l'intensité de stimulation optimale. Cette intensité était ensuite augmentée de 20%, i.e. intensité supra-maximale (120%).

Puis, un échauffement standardisé de 15 minutes sur l'ergomètre avait lieu. Il était composé de cinq contractions isométriques à faible résistance où le sujet devait alterner le maintien d'un plateau (5 s) puis relâchement (15 s). L'intensité de la contraction s'incrémentait au fur et à mesure que l'échauffement avançait. Suite à l'échauffement, le sujet devait réaliser trois CMV des extenseurs du genou. Deux d'entre elles étaient réalisées avec des stimulations simples et doubles (au repos et surimposés).

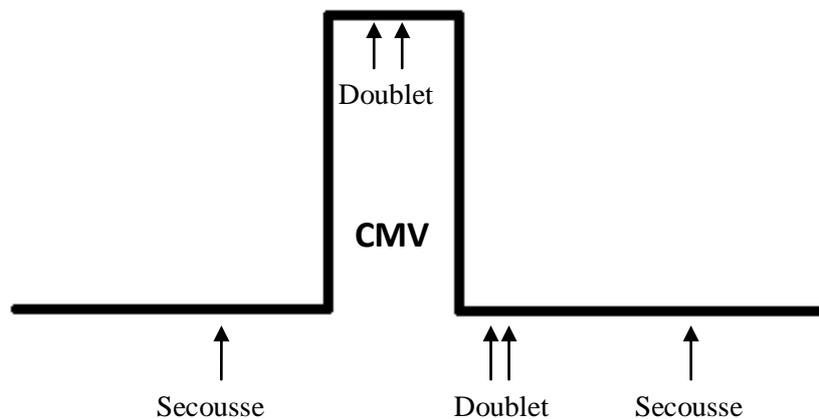
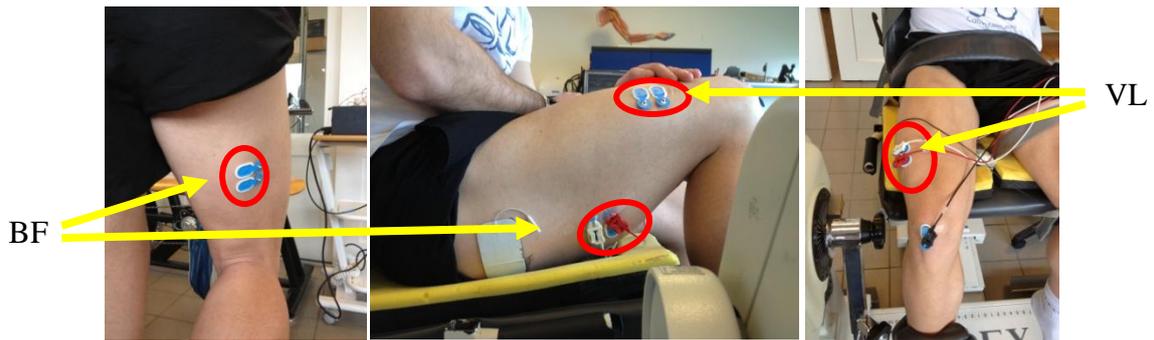


Figure 18 : Schéma du test neuromusculaire effectué dans le protocole

Celles-ci se déroulaient comme présenté sur la figure 18 : 1) une secousse supra-maximale était évoquée sur le muscle au repos, 2) un doublet était surimposé sur le plateau de force de la CMV (durée : 4-5 s), technique de la twitch interpolation afin d'estimer le niveau d'activation (Merton, 1954) puis 3) un doublet et une secousse séparée de 3 s étaient évoqués sur le muscle au repos après la CMV, i.e., secousse et doublet potentialisé.

Une récupération de 2 minutes a été effectuée entre chaque contraction.



Figures 19, 20, 21 : Placements des électrodes d'électromyographie sur le sujet

Ensuite, deux CMV isométriques en flexion du genou étaient réalisées et nous terminions ce protocole par 3 contractions isocinétiques maximales à 90°/sec.



Figure 22 : vue globale de l'expérimentation (ici à l'échauffement)

4.5 Analyse des données

Les signaux mécaniques et électromyographiques ont été traités grâce au logiciel Biopac Student Lab Pro 3.7. Lors des contractions volontaires, les variables analysées étaient l'amplitude du moment de force maximale (isométrique et concentrique), l'amplitude de la surimposition ainsi que l'amplitude des secousses et doublet. Le niveau d'activation a été calculé à l'aide la formule d'Allen (1995) :

$$1 - \frac{\text{Surimposition}}{\text{Amplitude doublet post}}$$

Au niveau électromyographique, la root mean square (RMS) était mesurée sur une durée de 500 ms au niveau du moment de force maximal de la contraction (Martin & Pensini, 2004) et était normalisée par l'amplitude pic à pic de l'onde M. Les données liées aux tests de détente (temps de vol et hauteur) ont été analysées à l'aide du logiciel OptojumpNext.

4.6 Analyse statistique

Pour chaque paramètre étudié, nous avons calculé les statistiques descriptives classiques (moyenne et erreur standard). Une analyse de la variance (ANOVA) à deux facteurs (Groupe \times Temps) à mesures répétées a été utilisée pour déterminer les effets de la période d'entraînement en fonction des groupes, suivie par des comparaisons post hoc (LSD de Fisher) en cas de significativité, avec un test post hoc.

5. Résultats

Durant le protocole d'entraînement, un sujet du groupe entraîné s'est blessé tandis que deux autres sujets du groupe contrôle ont du stopper l'étude pour des raisons personnelles. Leurs résultats n'ont donc pas été pris en compte. Le groupe entraîné était donc composé de 8 sujets et le groupe contrôle de 4 sujets. Dans un premier temps, nous allons nous intéresser aux effets de l'expérimentation sur la force explosive des badistes.

5.1 Les tests fonctionnels

5.1.1 Le sprint

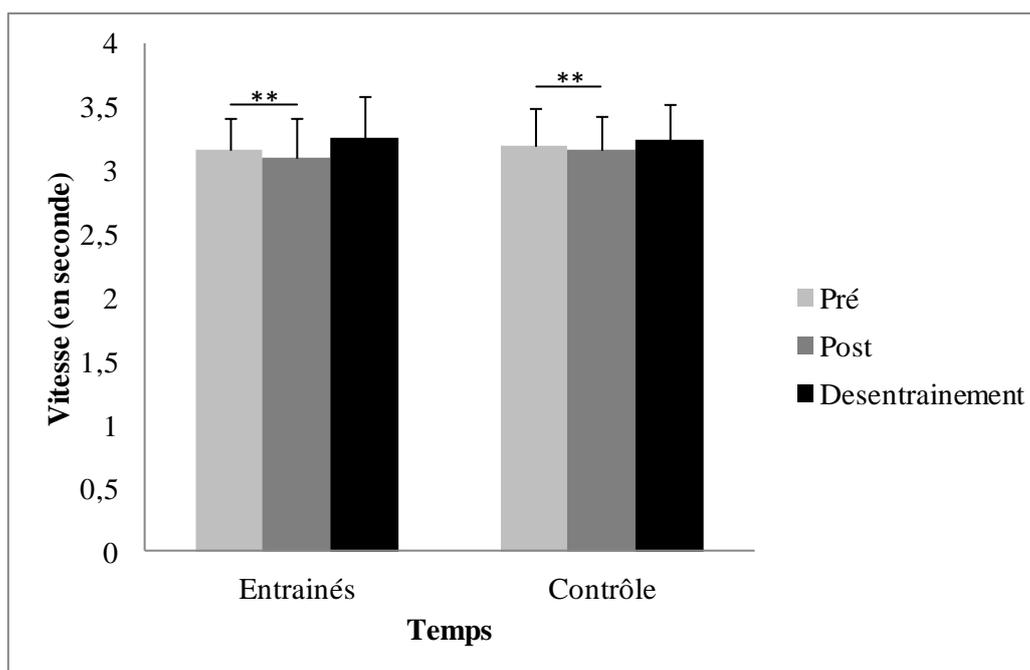


Figure23 : Evolution des temps en sprint sur 20 mètres à Pré, Post et Désentrainement pour le groupe entraîné et contrôle. ** indique que les valeurs à Pré sont significativement supérieures par rapport à Post pour $p < 0.05$.

La figure 23 nous montre une augmentation significative de la vitesse pour les deux groupes entre les périodes Pré et Post. Celle-ci est d'ailleurs plus importante pour le groupe entraîné (+2,7 %). Néanmoins, aucune différence n'apparaît avec le groupe contrôle.

5.1.2 La détente

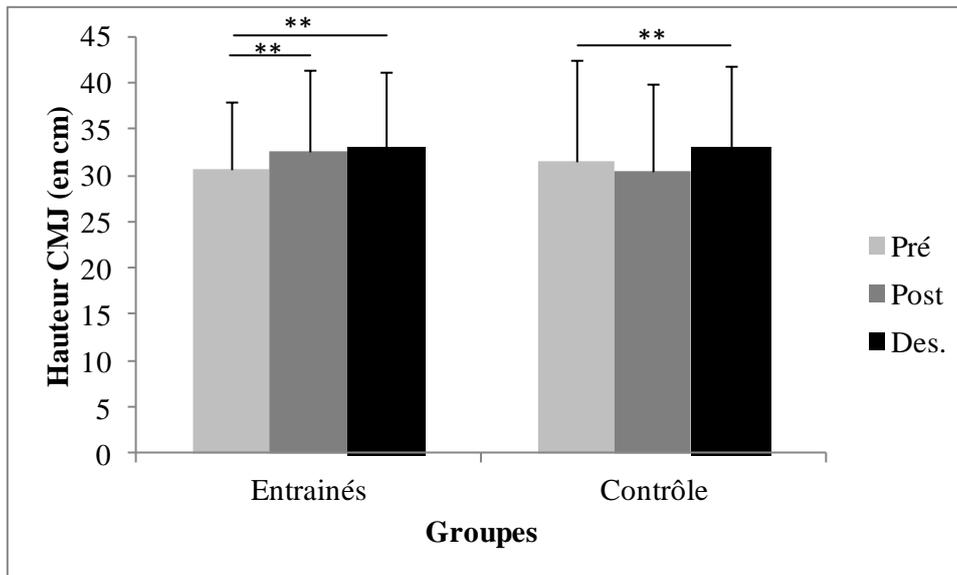
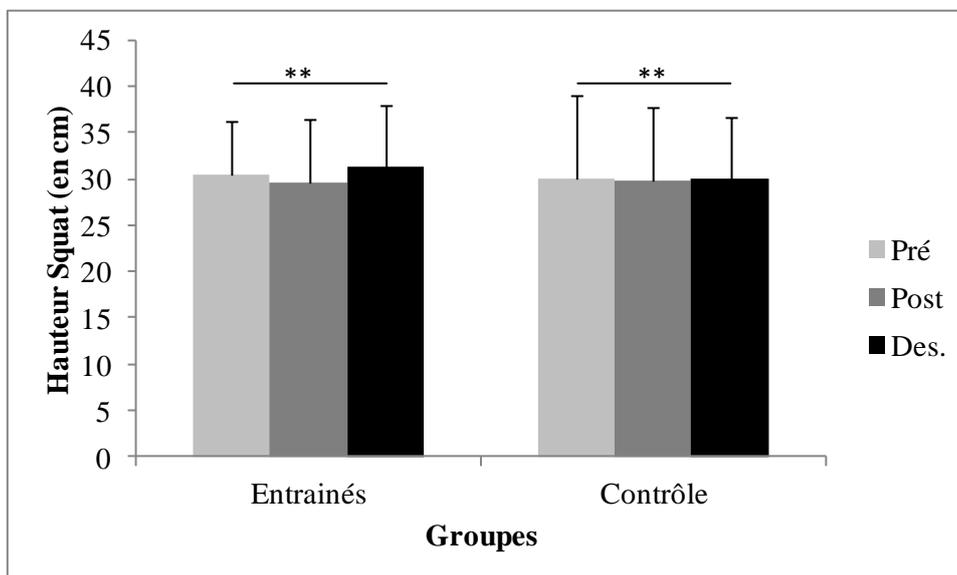


Figure 24. ** indique que les valeurs à Pré sont significativement inférieures par rapport à Post et à Des pour $p < 0.05$.



Figures 24 et 25: Hauteur lors des tests en CMJ et squat en fonction du temps. ** indique que les valeurs à Pré sont significativement inférieures par rapport à Des pour $p < 0.05$.

Comme nous le montre les figures 24 et 25, le groupe qui s'entraîne avec l'ergomètre expérimental voit ses performances en détente augmenter en fonction du temps. En effet, des augmentations significatives (effet temps, $P < 0.05$) de l'ordre de + 7,6 % ont été perçues sur le test de CMJ. Ces augmentations sont exponentielles en fonction du temps. Sur le test en squat, une amélioration significative de 2,4 % est également observée chez le groupe entraîné. Leur hauteur s'est améliorée entre les périodes de pré et de désentraînement. Malgré ces augmentations, aucune différence n'est perçue avec le groupe contrôle, que ce soit sur le test en CMJ ou en squat.

5.1.3 La vitesse spécifique en badminton

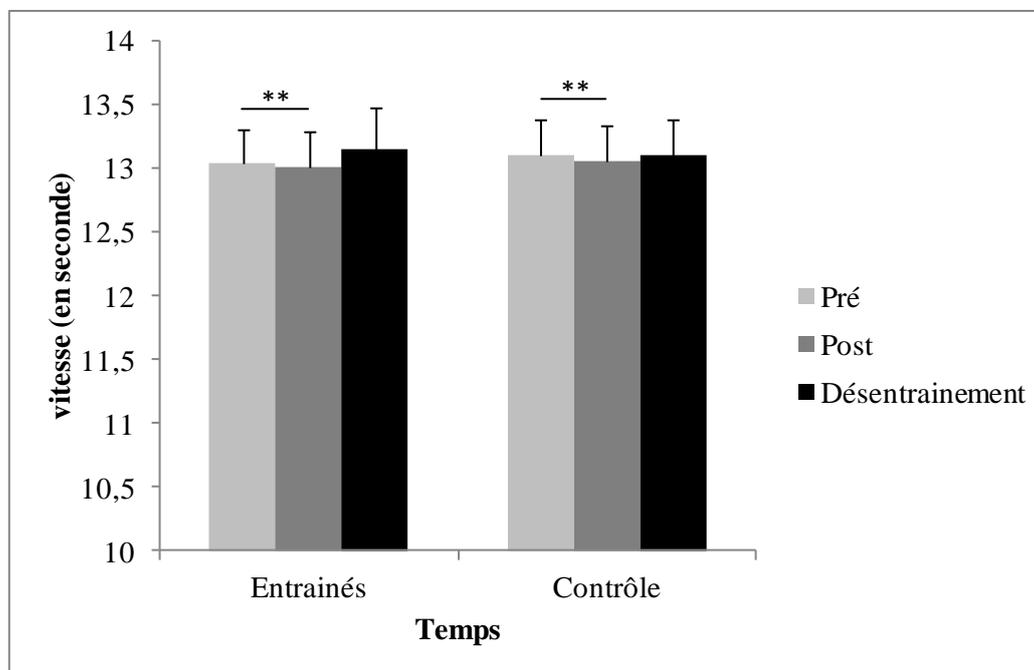


Figure 26 : Evolution de la vitesse durant le protocole d'entraînement. ** indique que les valeurs à Pré sont significativement supérieures par rapport à Post pour $p < 0.05$.

Ce test spécifique de vitesse nous démontre, à travers la figure 26, que les sujets entraînés augmentent leur performance sur une courte durée. Pour cause, entre les périodes de pré et post tests, le groupe s'entraînant avec l'ergomètre améliore leur performance de 0,21 %, ce qui atteste d'un effet temps ($p < 0.05$) suite au protocole d'entraînement. Le groupe contrôle perçoit également des améliorations sur la même période. Nous constatons donc qu'aucune différence significative n'est observée entre les deux groupes.

Lors de ces différents tests fonctionnels, nous venons de mettre en avant un effet du temps sur les performances du groupe entraîné.

5.2 Les tests neuromusculaires

La figure 27 illustre le moment de force maximal enregistré lors des contractions maximales des muscles extenseurs du genou pour le groupe entraîné et le groupe contrôle, durant les trois périodes de tests.

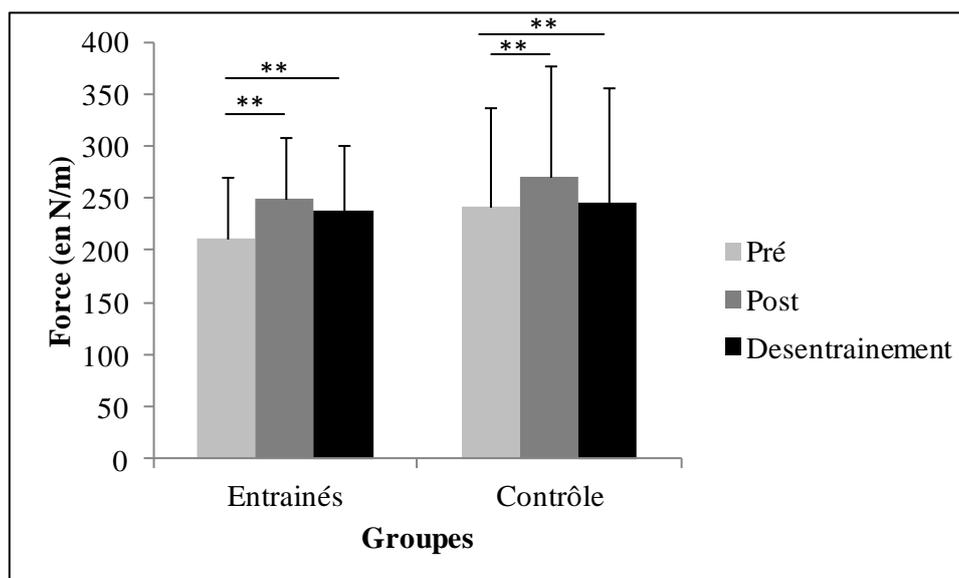


Figure 27 : Evolution des CMV des groupes selon les périodes de tests. ** indique que les valeurs à Pré sont significativement inférieures par rapport à Post et à Des pour $p < 0.05$.

Comme nous pouvons l'observer sur la figure 27, les sujets des deux groupes ont augmenté significativement (effet temps, $P < 0.05$) leur capacité de production de force suite à la période d'entraînement. Aucune différence significative n'est observée entre les deux groupes. En dépit d'une légère perte suite au désentraînement, nous constatons malgré tout que cette force reste supérieure à celle produite au début du protocole. La perte est légèrement plus faible pour le groupe qui s'entraîne avec l'ergomètre « badlastic ».

Une augmentation significative est également perçue lorsque nous regardons les résultats des muscles fléchisseurs de la jambe (effet temps, $P < 0.05$). En effet, le groupe entraîné à sa force qui augmente à nouveau durant le protocole d'entraînement. Celle-ci est exponentielle en fonction du temps. Cependant, en dépit des augmentations observés sur ces CMV, il n'y aucune différence significative avec le groupe contrôle.

Nous voyons que les CMV du groupe entraîné se sont améliorés, qu'elles attestent elles aussi d'un effet temps. Ainsi, intéressons nous aux facteurs nerveux et/ou musculaires à l'origine de ces évolutions.

5.3 Les adaptations nerveuses et musculaires

Les résultats sont présentés à partir du tableau 3. Il fait état des évolutions du niveau d'activation, de la RMS normalisée et de l'amplitude des doublets, au cours des différents tests. Pour chaque paramètre, la moyenne et l'écart-type des groupes entraînés et contrôle sont présentés. Pour des raisons médicales, deux sujets (un de chaque groupe) n'ont pas eu d'électrostimulation.

	Entraînés			Contrôle		
	Pré	Post	Des.	Pré	Post	Des.
Niveau d'Activation						
<i>Moyenne</i>	86,96	92,22	90,62	92,4	96,6	96,17
<i>Ecart-type</i>	10,69	4,67	13,89	8,6	1,7	3,85
RMS Normalisée						
<i>Moyenne</i>	0,054	0,047	0,062	0,047	0,044	0,061
<i>Ecart-type</i>	0,035	0,022	0,023	0,019	0,01	0,035
Amplitude Doublets						
<i>Moyenne</i>	54,79	65,84	63,55	57,32	66,62	61
<i>Ecart-type</i>	15,47	31,88	27,5	34,36	42,14	40,38

Tableau 3 : Evolution des paramètres neuromusculaires des deux groupes

On observe sur le tableau 3 que les deux groupes ont augmentés significativement (effet temps, $P < 0.05$) leur niveau d'activation suite à l'entraînement. Cette amélioration est d'ailleurs plus importante chez le groupe entraîné, + 7,8 % contre + 5,9 % pour le groupe entraîné. Néanmoins, il n'y a aucune différence significative observée entre les deux groupes. Malgré une perte suite à la période de désentraînement, le niveau d'activation chez le groupe entraîné reste supérieur à celui produit en début de protocole. Ce processus d'augmentation à court terme pour le groupe entraîné se retrouve également lorsque l'on regarde le paramètre d'amplitude du doublet (+ 21,1 % entre pré et post). D'ailleurs, cette amélioration est similaire à celle observée pour l'amplitude des secousses pré CMV. Les valeurs de RMS normalisée sont plus importantes suite au protocole d'entraînement (+ 5,1 % entre pré et désentraînement). Pour autant, aucune différence n'est également perçue avec le groupe contrôle pour ces deux facteurs.

6. Discussion

L'objectif de cette étude était de mettre en place un programme d'entraînement avec l'ergomètre badlastic afin de valider l'utilisation de ce dernier dans l'activité badminton. En effet, cette méthode d'entraînement reste innovante et peu d'études en ont démontré les effets.

Cette recherche adaptée au terrain a permis de sortir plusieurs résultats, caractérisés par les tests fonctionnels et neuromusculaires. On a constaté que le groupe entraîné avait augmenté ses performances de vitesse et de détente, et que des facteurs nerveux et musculaires sont à l'origine de ces gains. Cette tendance se retrouve également à travers des travaux de Girard (2005), qui avait mis en place un protocole d'entraînement de 6 semaines visant l'amélioration des qualités physiques (vitesse, endurance et explosivité) chez des tennismen. Il avait mis en évidence l'augmentation des qualités de détente, d'endurance et de course sur courte distance pour le groupe entraîné en en course et en pliométrie. Ici, nous avons souligné que ces augmentations étaient liées à un effet temps ($P < 0.05$) mais que malgré tout, aucune différence significative n'apparaissait avec le groupe entraîné.

6.1 Les gains observés

Les résultats ont démontré que ce protocole d'entraînement avec un ergomètre à élastiques était réalisable, et était efficace dans l'amélioration de la plupart des indices neuromusculaires testés (Barber-Westin *et al.* 2010). Nous allons donc nous intéresser dans un premier temps aux gains des facteurs nerveux, en justifiant l'origine de ces adaptations, pour dans un second temps porter notre intérêt sur les facteurs musculaires.

6.1.1 Les adaptations neuromusculaires

Les valeurs de CMV montrent un effet temps du protocole d'expérimentation sur la performance des sujets. Cet effet concerne les muscles agonistes et antagonistes des sujets. Les résultats nous montrent que ces gains sont plus importants sur le groupe entraîné, ce qui justifie une nouvelle fois l'effet de l'entraînement avec l'ergomètre « badlastic ». Ces augmentations de la force isométrique (+ 20,7 %) sont donc dues à l'entraînement en résistance qu'à eu ce groupe (Spurrs *et al.*, 1997 ; Toumi *et al.*, 2004). D'autres auteurs ont également montrés des gains de force suite à la mise en place d'un protocole d'entraînement de la force. Des améliorations du moment de force de l'ordre de 21% ont été perçues par Toumi et al. en 2004, tandis que Fukunaga (1976) avait observé une

augmentation de la force de 60% suite à un entraînement isométrique. Par ailleurs, ces gains observés sur les CMV perdurent dans le temps, car malgré une diminution de performance entre les posts-tests et ceux effectués en période de désentraînement, les valeurs après le protocole sont supérieures à celles du début. Il y a donc un effet de l'entraînement avec élastiques sur les contractions maximales volontaires des sujets entraînés.

Nous savons qu'il est difficile d'isoler des mécanismes responsables des gains de force (Phillips, 2000). En effet, les résultats dépendent des conditions méthodologiques (méthode d'investigation) et des caractéristiques du protocole d'entraînement (liés aux caractéristiques des sujets, aux procédés d'entraînement, au statut nutritionnel...) (Staron *et al.*, 1994). Cependant, nous pouvons, à l'aide de nos méthodes avancer quelques mécanismes physiologiques.

6.1.2 Les adaptations nerveuses

Comme vu dans la partie précédente, des gains de force ont été observés. Ces gains peuvent s'expliquer en partie par des facteurs d'origine nerveuse. En effet, l'activité RMS normalisée calculée notamment à partir de l'amplitude de l'onde M, a montré des gains au cours du temps. Cela s'explique en partie par une augmentation du nombre d'unités motrices recrutées (Moritani, 1993). Ensuite, le niveau d'activation a été significativement augmenté à la suite du protocole d'entraînement. Ceci caractérise des adaptations nerveuses prédominantes (Patten *et al.*, 2013). Ces résultats montrent une augmentation du recrutement et de la fréquence de décharge des UM (Pucci *et al.*, 2006). Il est possible qu'une meilleure synchronisation des UM (Pensini *et al.*, 2002). Ces modifications électro-physiologiques marquent donc une adaptation de la commande nerveuse (Carroll *et al.*, 2002)

6.1.3 Les adaptations musculaires

Suite à l'entraînement de la force, les amplitudes de la secousse et du doublet ont augmenté. L'amplitude maximale de la secousse et du doublet est liée au nombre de ponts actine-myosine fonctionnels, à la force développée par ces derniers et à la sensibilité des protéines contractiles au calcium. Les gains observés se justifient donc par une adaptation de la fonction contractile (Lepers *et al.*, 2007). Ces augmentations semblent plus marquées (même si non significatifs) chez les entraînés, ce qui prouve l'effet de l'entraînement avec élastiques. Cela valorise ainsi l'entraînement avec résistance dans le développement des facteurs neuromusculaires (Lephart *et al.*, 2005). Néanmoins, ces adaptations ne perdurent pas dans le temps, les valeurs en période de désentraînement étant inférieures à celles recueillies lors des post-tests. Un protocole plus long aurait pu permettre à ces adaptations d'être maintenues dans le temps (Cormie, McGuigan &

Newton, 2011). Dans la littérature, peu d'études ont montré des adaptations musculaires induites par un protocole de courte durée. Il n'est donc pas étonnant que notre étude ne soit pas significative concernant les modifications périphériques. Pour autant, Fukunaga en 1976, avec un protocole d'entraînement isométrique de 20 jours, a montré une augmentation du moment de force de l'ordre de 60 %, sans modification de la taille du muscle. Une augmentation de la taille des fibres du triceps sural (notamment de type II) a également été montré par Cabric *et al.* (1987) à travers un entraînement d'électromyostimulation de 19 jours.

6.1.4 Adaptations des qualités physiques

Il existe dans la littérature un consensus selon lequel la détente verticale et la vitesse lors de sprints ne peuvent pas être modifiées par la simple pratique de son sport de raquette (Kraemer *et al.* 2003). Mon étude a donc permis, dans une certaine mesure, de déterminer l'efficacité de mon programme d'entraînement sur les qualités physiques des badistes. Suite à la présentation des résultats, il est admis que ce protocole et plus généralement cette étude à améliorer à court terme certaines qualités physiques chez les badistes. En effet, les performances en sprint et sur le test spécifique badminton se sont améliorées entre les périodes de pré et post-tests pour le groupe entraîné. De plus, ce dernier a également observé des gains sur le test de counter movement jump (CMJ). Ces résultats sont en accord avec les travaux de Spurrs *et al.* (2003), qui démontre l'influence de l'entraînement en force sur les performances en CMJ. Cet argument est également repris par Impellizzeri *et al.* dans leurs recherches de 2008. Ces gains témoignent d'adaptations spécifiques des structures musculaires et tendineuses (Cornu *et al.*, 1997). Grâce à ce type d'entraînement, ces dernières utilisent mieux l'énergie élastique. L'ensemble muscle-tendon s'est adapté, la raideur musculo-articulaire a diminué tandis que la raideur musculo-tendineuse a elle augmenté (Pousson *et al.*, 2009). Cela a ainsi permis de stocker plus d'énergie potentielle (augmentation de la compliance au niveau du muscle et de l'articulation) et de mieux transmettre la force en périphérie (augmentation de la raideur du tendon). Le protocole pliométrique a donc permis d'augmenter les performances sur certains tests fonctionnels et a créé des adaptations sous jacentes (Markovic, 2004). Cependant, ces adaptations ne sont qu'à court terme puisque les gains ne sont plus perçus lors du désentraînement. Un protocole plus long est nécessaire si l'on veut que ces adaptations et ces qualités physiques perdurent dans le temps (Kraemer, 2003).

Ainsi, les tests d'évaluation de la force (ergomètre isocinétique), de la puissance (tests de détente), et de la vitesse ont principalement montré des adaptations d'origine centrale. La caractérisation de l'état de la fonction neuromusculaire est donc en partie validée. Néanmoins, les statistiques non significatives modèrent leur validité externe, c'est à dire que leur relation avec la performance sur le

terrain n'est pas éloquent. Malgré tout, plusieurs travaux ont fait le même constat. Les moments de force maximaux d'extension et de flexion du genou évalués en laboratoire étaient inversement corrélés à la précision des coups sur un terrain de tennis (Perry *et al.*, 2004). Egalement, malgré des qualités physiques impliquées dans l'efficacité des coups, Signorille *et al.* (2005) ont démontré que la consommation maximale d'oxygène (VO₂max) n'était pas impliquée dans cette efficacité. Pourtant, il est assez probable qu'un sportif ayant une faible VO₂max effectuera des coups moins efficaces suite à une apparition précoce de la fatigue. Ainsi, afin de justifier le caractère non significatif des gains observés par le groupe entraîné, nous allons nous pencher sur les aspects méthodologiques de cette expérimentation.

6.2 Les considérations méthodologiques

Dans un premier temps, nous voyons que le protocole mis en place s'est avéré efficace puisque des adaptations neuromusculaires sous jacentes à l'entraînement avec élastiques ont été observées, et que les qualités physiques du groupe entraîné se sont améliorées. Nous pouvons donc admettre que l'effet temps perçu correspond à l'effet de l'ergomètre « badlastic ». De plus, ces gains qu'on observe aussi sur le groupe contrôle, ont été acquis plus rapidement chez le groupe entraîné (performances et adaptations perçues dès les posts-tests fonctionnels et neuromusculaires). Cette acquisition plus précoce montre donc que l'entraînement avec élastiques favorise l'acquisition d'adaptations nerveuses (Ploutz *et al.* 1994). D'autre part, grâce à la jauge de contrainte installée sur l'ergomètre « badlastic », nous avons pu prouver que durant ce protocole, augmenter le nombre d'élastiques sur les situations amplifiait la résistance (cf travaux M1 EPI). Autrement dit, le nombre d'élastiques permet de quantifier la charge d'entraînement. Cette notion nourrit le projet de poursuivre des investigations sur l'ergomètre, afin d'établir une programmation spécifique de l'entraînement en badminton. Cela permettrait par exemple d'indiquer un niveau de résistance en fonction du nombre d'élastiques, pour un sujet donné. Ainsi, nous pourrions créer une collaboration et une congruence entre la recherche et le terrain. En somme, cette méthode ludique et innovante de l'entraînement suggère comme intérêt pour ce sport, d'orienter sa méthodologie de l'entraînement vers un travail de résistance (Cabello & Gonzalez, 2003), et notamment à l'aide d'élastiques.

Malgré tout, et en dépit de ces gains, les résultats nous ont également montré que le groupe contrôle avait lui aussi eu des adaptations. Cela valide l'idée que différentes méthodologies de l'entraînement en badminton existent afin d'améliorer la performance (O'Donoghue, 2007). Mais cela montre également que le profil des joueurs évoluant dans le groupe contrôle est critiquable. En effet, les joueurs qui composent ce groupe sont considérés comme sportifs de haut-niveau ; ils pratiquent le badminton 7,8 h/semaine \pm 2,1 heures, ce qui fait un volume d'entraînement important.

Ces joueurs sont donc susceptibles de progresser à travers les entraînements qu'ils perçoivent en dehors du protocole expérimental. D'un point de vue statistique, le faible nombre de joueurs « contrôle » est également critiquable. En effet, avec quatre joueurs (et un blessé) dont la variabilité des résultats est importante, il devient plus difficile de percevoir des différences significatives suite à un protocole de 6 semaines. Et justement, durant ces 6 semaines, 10 séances d'1h30 ont eu lieu, ce qui représente un volume d'11h30 d'entraînement. Ici, deux choses peuvent ainsi être critiquées : le temps et le volume. Premièrement le temps ; étant donné que le groupe entraîné a observé des gains de manière plus précoce, nous admettons l'hypothèse qu'un protocole plus long en aurait provoqué d'avantages (Kraemer, 2003). Deuxièmement, le volume ; partant du postulat que durant un entraînement en résistance, le volume est plus important que la fréquence afin de créer des adaptations neuromusculaires (Burke & Candow, 2007), réduire le nombre de séances en augmentant le volume de chacune d'elles aurait pu être cohérent. Ainsi, cela aurait permis d'induire un stress plus important aux groupes qui sont homogènes. En somme, le manque de validité pourrait provenir d'un manque de puissance de la part de ce protocole. En perspective, nous aurions donc intérêt à mieux contrôler le volume d'entraînement des groupes. Cela permettrait premièrement d'induire un stress plus important à ces sportifs de haut niveau, et d'être certain que les adaptations sous-jacentes proviennent bien du protocole d'entraînement mis en place. De plus, augmenter le nombre de participants permettrait d'établir une approche statistique plus efficace. De manière générale, on s'aperçoit que l'utilisation de l'ergomètre « badlastic » dans l'entraînement en badminton s'avère légitime, qu'elle permet d'augmenter des qualités physiques de créer des adaptations neuromusculaires intéressantes. Il serait donc intéressant de poursuivre les recherches sur cet outil innovant, afin d'apporter des nouvelles connaissances dans le domaine de l'entraînement.

6.3 L'approche professionnelle

Ce mémoire présente la caractéristique d'être à double finalité: recherche et professionnelle. L'objectif de recherche était d'observer de possibles adaptations neuromusculaires suite à un entraînement avec élastiques. L'approche professionnelle est tout autre : elle consiste à tenter d'insérer cet ergomètre dans une programmation d'entraînement, au sein d'une structure de haut niveau. Cette démarche répond à la volonté d'apporter un versant professionnel à cette recherche, d'adapter mes investigations au terrain.

6.3.1 Intérêts à court terme

Pour ce second stage, la structure d'accueil était le Comité Départemental de Badminton de Loire Atlantique. Elle encadre les collectifs jeunes du département, de la catégorie poussin à cadet, et donc les meilleurs jeunes joueurs ligériens. Sachant que des regroupements collectifs avaient lieu toutes les semaines, mon objectif était de faire découvrir une nouvelle méthode d'entraînement en insérant l'ergomètre « badlastic » dans leur programmation. Etalée sur six semaines, cette démarche représentait l'opportunité d'apporter une autre approche de l'entraînement, d'éveiller la curiosité et l'interrogation des différents acteurs de la structure. J'ai commencé avec l'idée de mettre en place un protocole d'entraînement incluant la machine, de constituer deux groupes (contrôle et entraînés), avec des tests fonctionnels effectués en pré, post et désentraînement (Girard, 2005). En plus de professionnaliser mon approche, ce stage me permettait d'observer de susceptibles effets de la machine sur les qualités physiques des jeunes (Hughes, 1998). Malheureusement, les joueurs, pour diverses raisons notamment scolaire et logistique, n'ont pu être présents à toutes les séances. Le suivi longitudinal de ce protocole étant difficile à mettre en place, c'est ainsi que ma démarche s'est vue orientée vers une présentation et une démonstration de l'ergomètre artisanal. Ce stage professionnel a permis de présenter cette nouvelle méthode d'entraînement, les différents exercices réalisables, avec les effets qu'ils produisent (résistance quantifiable, sollicitation de différents régimes de contraction etc.). S'en est suivi un recueil de témoignages, basé sur des entretiens, afin de découvrir les avis des joueurs, entraîneurs, dirigeants. Cette initiative a eu pour but d'acquérir diverses informations sur l'ergomètre, et de nécessairement en prendre compte dans l'optique de le développer. Lorsque nous regroupons les avis des joueurs, la plupart ont été surpris par la machine ; ils se sont interrogés et étaient parfois même intimidés voir réticents pour s'essayer. Pour autant, la totalité des joueurs présents ont effectué deux situations différentes à faible résistance afin de primer la découverte au travail. Suite à ces essais, ils ont été agréablement surpris, relevant le travail et la résistance induits sur les membres inférieurs. Ces propos sont en accord avec les études de Sale (2002), qui a démontré qu'un entraînement à faible résistance sollicitait de manière plus significative les membres inférieurs et améliorerait les qualités physiques. Pour ces jeunes, cette méthode d'entraînement s'intégrerait parfaitement comme une démarche ludique pour travailler le déplacement et l'orientation des appuis sur le terrain. Cette idée nourrit les recherches effectuées par Chin en 1995, qui avait mis en évidence l'intérêt du travail en résistance pour améliorer les qualités de déplacement chez des badistes élites. En plus de leur vision technique, certains joueurs ont partagé leur vision ergonomique de l'outil, en amenant l'idée de modifier le système de ceinture accroché au sujet, le remplacer par un accessoire plus sécurisant, comme un baudrier. Cette idée permettrait par exemple de mieux répartir les forces, en sollicitant le bassin et les membres

inférieurs. Les deux entraîneurs ont quant à eux porté leur attention sur les résistances créées par l'ergomètre, ainsi qu'à l'énergie élastique emmagasinée par ce dernier. Ils ont imaginé ce comportement mécanique par la nécessité pour leurs joueurs, de se replacer tout de suite après un coup. Cette vision pédagogique de l'ergomètre a ainsi servi de feedback pour les jeunes, dans leur entraînement axé sur les déplacements. A court terme, nous remarquons que la présentation de cet ergomètre a permis la découverte d'une méthode innovante de l'entraînement en badminton. Partager les avis, s'exercer en situations avec la machine a amené les entraîneurs et les dirigeants à élargir leur réflexion et leur approche sur l'entraînement en badminton. A ce jour, l'intégration de bandes élastiques dans le contenu des séances est étudiée.

6.3.2 Intérêts à long terme

Le témoignage des différents acteurs de la structure a permis d'envisager l'amélioration et le développement de l'ergomètre. A court terme, cela apporte un nouveau regard sur l'activité des badistes, et implique le développement de nouvelles ressources réflexives. De nouvelles procédures d'entraînement pourraient voir le jour par exemple. Sur le long terme, on peut supposer que cette entente entre recherche et terrain va favoriser la production de nouvelles connaissances, l'enrichissement des contenus sur l'activité, qui seront susceptibles d'être intégrées dans les plans de formation des entraîneurs. Grâce à ces apports pratiques, nous pouvons qualifier cet outil comme une réelle conception d'aides à la performance et à l'entraînement en badminton (Schön, 2012).

7. Conclusion et perspectives

Cette étude s'est donc caractérisée comme un processus de production de connaissances suivant une démarche originale. Elle a évalué l'efficacité d'un programme d'entraînement spécifique au badminton, ainsi que l'adaptation des indices neuromusculaires chez des joueurs de haut niveau. Pour rappel, le badminton est un sport exigeant, où la vitesse, l'agilité, la puissance explosive et les capacités aérobiques sont déterminantes. Tout comme la capacité à réagir et anticiper rapidement (Fernandez, 2006). Peu d'études ont évalué les adaptations sous jacentes à un entraînement avec élastiques. Le protocole mis en place ici était en accord avec ceux déjà publié. (Girard *et al.*, 2005). Il a permis en outre d'améliorer les qualités de vitesse, de détente et de force, preuves d'adaptations spécifiques, quelles soient nerveuses ou musculaires (De Vries & Moritani, 1980). Les résultats ont donc démontré que cette démarche était réalisable, et semble être efficace dans l'amélioration de la plupart des indices neuromusculaires testés (Barber-Westin SD, Hermeto AA, & Noyes FR., 2010). Des investigations restent à faire, avec un protocole plus puissant, afin de valider cet ergomètre « badlastic ». A court terme, ces tests ont permis d'identifier différents profils musculaires, différents « styles » de joueurs. Cela permet donc à l'entraîneur d'avoir des informations intrinsèques sur ses joueurs ; il va pouvoir orienter, de manière spécifique, ses séances et le travail de renforcement musculaire. Cette individualisation de l'entraînement permettra à chaque joueur de progresser le plus efficacement possible. En outre, cette saison 2012/13 a été la plus prolifique pour les membres de la Section Sportive Universitaire. Leurs performances en compétitions sont les meilleures depuis la création de la section avec notamment des titres et des médailles aux championnats nationaux séniors, jeunes et universitaires. La plupart des médaillés sont des membres du groupe entraîné, il est donc admis d'hypothéquer un effet positif de l'entraînement avec ergomètre sur la performance des joueurs in situ (Cabello & Gonzalez, 2003). Le versant professionnel de ma démarche m'a permis en somme de faire de la recherche d'une manière particulière. En effet, cette dernière étant adaptée au terrain, elle a ouvert la discipline à de nouvelles connaissances concernant l'activité badminton. La démarche m'a également permis d'entrevoir de nouvelles dimensions sur la méthodologie de l'entraînement. Ce réel enrichissement permet en somme d'intégrer ce contenu dans la formation des entraîneurs, de créer ainsi des passerelles entre recherche et entraînement, entre formation et enseignement, problématique particulièrement adaptée au champ des STAPS actuellement.

8. Bibliographie

- Aagaard, P, et al. (2000). Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: effects of resistance training. *J Appl Physiol.* (89):2249-2257.
- Aagaard, P. et al. (2002). Neural adaptation to resistance training : changes in evoked V- Wave and H-reflex responses. *J.Appl. Physiol.* (92):2309-2318.
- Abe, K. et al. (1990). The work intensity of a badminton match in Japanese top male players. *Bulletin of Institute of Health and Sports Sciences.* 13:73.
- Barber-Westin, SD., Hermeto, AA., et Noyes, FR. (2010). A six-week neuromuscular training program for competitive junior tennis players. *J Strength Cond Res.* (9):72-82.
- Borst, SE. et al. (2001). Effects of resistance training on insulin-like growth factor-I and IGF binding proteins. *Med Sci Sports Exerc.* (4):648-53.
- Bottinelli, R. et al. (1996). Force-velocity properties of human skeletal muscle fibres: myosin heavy chain isoform and temperature dependence. *J Physiol.* (2) :573-86.
- Bouisset, S. & Maton, B. (1972). Quantitative relationship between surface EMG and intramuscular electromyographic activity in voluntary movement. *Am J Phys Med* 51, 285-295.
- Burke, DG. & Candow, DG. (2007). Effect of short-term equal-volume resistance training with different workout frequency on muscle mass and strength in untrained men and women. *J Strength Cond Res.* (1) :204-7.
- Cabello & Carazo (1995). Analisis de las capacidades fisicas del badminton y su desarrollo a traves del entrenamiento. *Congreso mundial de badminton. Procedimiento del IV IBF World Coaches Conference.* (pp. 237-252). Seville.
- Cabello Manrique D. & Gonzalez-Badillo JJ. (2003). Analysis of the characteristics of competitive badminton. *Br J Sports Med.* (1):62-66.
- Cabric, M. & Appell, HJ. (1987). Effect of electrical stimulation of high and low frequency on maximum isometric force and some morphological characteristics in men. *Int J Sports Med.* (4) :256-60.
- Carolan, B. & Cafarelli, E. (1992). Adaptations in coactivation after isometric resistance training. *J. Appl. Physiol.* (73):911-917.

- Caroll, T.J., Riek, S. & Carson, R.G. (2002). The sites of neural adaptation induced by resistance training in humans. *J. Physiol.* (544):641-652.
- Chin et al. (1995). Sport specific fitness testing of elite badminton players. *Br J Sports Med.* (3):153-7.
- Cormie, P., McGuigan, MR., et Newton, RU. (2011). Developing maximal neuromuscular power: part 2 - training considerations for improving maximal power production. *Sports Med.* (2):25-46.
- Cornu, C., Almeida Silveira, MI. & Goubel, F. (1997). Influence of plyometric training on the mechanical impedance of the human ankle joint. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* (3) :282-8.
- De Luca, C. J. (1997). The use of surface electromyography in biomechanics. *J Appl Biomech* 13, 135-163.
- Desmedt, JE. (1958). Méthodes d'études de la fonction neuromusculaire chez l'homme : myogramme isométrique, électromyogramme d'excitation et topographie de l'innervation terminale. *Acta Neurol. Psychiat. Belg.* (58):977-1017.
- Duchateau, J. & Enoka, RM. (2002). Neural adaptations with chronic activity patterns in able-bodied humans. *Am J Phys Med Rehabil.* (11 Suppl):S17-27.
- Elliott, KJ., Sale, C., et Cable, NT. (2002). Effects of resistance training and detraining on muscle strength and blood lipid profiles in postmenopausal women. *Br J Sports Med.* 340-4.
- Enoka, RM. (1997). Neural adaptations with chronic physical activity. *J Biomech.*(5):447-55.
- Faccini, P. & Dai Monte, A. (1996). Physiologic demands of badminton match play. *Am J Sports Med.* S64-6.
- Faude, O. et al (2007). Physiological characteristics of badminton match play. *Eur. J. Appl. Physiol.* 100: 479-485.
- Ferly, B., Gallet, B. et Papelier, G. (1998). *Les fondamentaux du badminton.*
- Fernandez, J. (2005). Specific field tests for tennis players. *Medicine and science in tennis* 10, 22-23.
- Fernandez, J., Mendez-Villanueva, A., et Pluim, B. (2006). Intensity of tennis match play. *Br J Sports Med* 40, 387-391.
- Fernandez, J. et al. (2012). Gender differences in game responses during badminton match play. *J Strength Cond Res.*

- Fukunaga, T. (1976). Die absolute muskelkraft und das muskelkrafttraining. *Sportartz und Sportmed.* (11):25-265.
- Ghosh, AK. et al. (1993). Evaluation of a sports specific training programme in badminton players. *Indian J Med Res.* 98:232-6.
- Ghosh, AK., Goswami, A., et Ahuja, A. (1995). Evaluation of a sports specific training programme in badminton players. *Indian J Med Res.* 98:232.
- Ghosh, AK. & Mazumbar, P. (1997). Heart rate and blood lactate response in competitive badminton. *Annals of Sports Medicine.* 5:85.
- Ghosh, AK. et al. (2002) Physiological analysis of some specific badminton strokes. *J. of Sports and Sports Sciences.* (2): 5-10.
- Girard, O., Vaseux, D., et Millet, G. P. (2005). Comparison of efficiency of three training programs in tennis players. *Science & Sports* 20, 45-47.
- Grice, T. (2001). *Badminton vers le succès.*
- Groppel, J. L., et Roetert, E. P. (1992). Applied physiology of tennis. *Sports Med* 14, 260-268.
- Guilhem G. (2010). Le badminton « high tech ». *100% badminton*, 16, 12-15.
- Guillain, J.Y (2002). *L'histoire du badminton : du jeu de volant au sport olympique.*
- Häkkinen K. (1994). Neuromuscular adaptation during strength training, aging, detraining and immobilization. *Critical Reviews in Physical and Rehabilitation Medicine*, 6(3) : 161-198.
- Harridge, SD. et al. (1996). Whole-muscle and single-fibre contractile properties and myosin heavy chain isoforms in humans. *Pflugers Arch.* (5) :913-20.
- Hauswirth C. et al. (2002). Détermination d'un test spécifique en badminton chez les joueurs de haut niveau : comparaison avec un test progressif de course à pied, *Les sports de raquettes. Les cahiers de l'INSEP* (p. 239).
- Hermetto, AA., Barber-Westin, SD., et Noyes, FR. (2010). A six-week neuromuscular training program for competitive juniors tennis players. *J Strength Cond Res.* (9):2372-82.
- Herzog, W. et Suter, E. (1997). Extent of muscle inhibition as a function of knee angle. *J Electromyogr Kinesiol.* (2):23-30.
- Hortobagyi, T. et al. (1999). Cross-education of muscle strength is greater with stimulated than voluntary contractions. *Motor Control.* (3):205-219.
- Hughes, M.G. (1998). Physiological demands of training in elite badminton players. *Science and Racket Sports I* (p. 32-37).

Impellizzeri, FM. et al. (2008). Effect of plyometric training on sand versus grass on muscle soreness and jumping and sprinting ability in soccer players. *Br J Sports Med.* (1):42-6.

Isreatel, MA. et al. (2010). Kinetic and kinematic differences between squats performed with and without elastic bands. *J Strength Cond Res.* (1):190-4.

Jensen, J. et al. (2012). Eccentric strengthening effect of hip-adductor training with elastic bands in soccer players: a randomised controlled trial. *Br J Sports Med.*

Joy, JM. et al. (2013). Elastic Bands as a Component of Periodized Resistance Training. *J Strength Cond Res.*

Komi, P. V., & Bosco, C. (1978). Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Med Sci Sports* 10, 261-265.

Kraemer, WJ., et al. (2003). Physiological changes with periodized resistance training in women tennis players. *Med Sci Sports Exerc* 35, 157-168.

Lavender, AP. & Nosaka, K. (2008). A light load eccentric exercise confers protection against a subsequent bout of more demanding eccentric exercise. *J Sci Med Sport.* (3):291-8.

Lepers, R., et al. (2007). Assessment of the reliability of central and peripheral fatigue after sustained maximal voluntary contraction of the quadriceps muscle. *Muscle Nerve.* (4):86-95.

Lephart, SM., et al. (2005). Neuromuscular and biomechanical characteristic changes in high school athletes: a plyometric versus basic resistance program. *Br J Sports Med.* (12):2-8.

Limouzin, P. & Wright, I. (2000). *Badminton vers le Haut-Niveau.*

Maffiuletti, NA. et al. (2001) Electrical and mechanical H(max)-to-M(max) ratio in power- and endurance-trained athletes. *J Appl Physiol.* (90): 3-9.

Maffiuletti, N.A., Pensini M. & Martin A. (2002). Activation of human plantar flexor muscles increases after electromyostimulation training. *J. Appl. Physiol.* (92):1383-1392.

Markovic, G. & Jaric, S. (2004). Movement performance and body size: the relationship for different groups of tests. *Eur J Appl Physiol.* (1-2) :139-49.

Martins, WR. et al. (2013). Elastic resistance training to increase muscle strength in elderly: A systematic review with meta-analysis. *Arch Gerontol Geriatr.* 57(1):8-15.

Mikkelsen, F. (1979). Physical demands and muscle adaptation in elite badminton players. *Science in Racket Sports II.* 55-67.

Merton, P. A. (1954). Voluntary strength and fatigue. *J Physiol* 123, 553-564.

Moritani, T. & De Vries, HA. (1979). Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am. J. Phys. Med.* (58):115-130.

- Muktamath, U. et al. (2010). Effects of two modes of resistance training on speed leg explosive power and anaerobic power of college men students. *Br J Sports Med.* 23-44.
- Navarro, E. et al. (1996). Aplicacion e seguimiento mediante analisis biomecânico del entrenamiento de la fuerza explosiva. In Vasquez JLH (Eds.) *Rendimiento deportivo: parâmetros electromiograficos (EMG), cinemáticos y fisiológicos.* Ministerio de Educacion y Cultura – Consejo Superior de Deportes (p. 55-105). Madrid.
- O'Donoghue, P. et al. (2007). Effective speed and agility conditioning methodology for random intermittent dynamic type sports. *J Strength Cond Res.* (4):93-100.
- Pensini, M., Martin, A., et Maffiuletti, N. A. (2002). Central versus peripheral adaptations following eccentric resistance training. *Int J Sports Med* 23, 567-574.
- Perry, AC. et al. (2004). Can laboratorybased tennis profiles predict field tests of tennis performance? *J Strength Cond Res* 18, 136-143.
- Phillips, SM. (2000). Short-term training: when do repeated bouts of resistance exercise become training?. *Can J Appl Physiol.* (3) :185-93.
- Ploutz, LL. et al. (1994). Effect of resistance training on muscle use during exercise. *J Appl Physiol.* (4) :1675-81.
- Pousson, M. et al. (2009). Behavior of fascicles and the myotendinous junction of human medial gastrocnemius following eccentric strength training. *Muscle Nerve.* (6) :819-27.
- Reilly, T. & Thomas, V. (1978). Multi-station equipment for physical training: design and validation of a prototype. *Appl Ergon.* (4):201-6.
- Reilly, T. (1990). The racquet sports. *Physiology of sports.* 337-369.
- Rogers, ME. et al. (2002). Effects of dumbbell and elastic band training on physical function in older inner-city African-American women. *Women Health.* 36(4):33-41.
- Roper, P. (1985). *Badminton and the skills of the game.*
- Sale, D.G. (1988). *Neural adaptation to resistance training.* *Medicine and Science in Sports and Exercise* 20, (suppl.), S135-S145.
- Schön, M. (2012). *Le virage réflexif en education ou en sommes-nous 30 ans après.*
- Signorile, JF. et al. (2005). Correlation analyses and regression modeling between isokinetic testing and on-court performance in competitive adolescent tennis players. *J Strength Cond Res* 19, 519-526.
- Spurrs, RW. Et al. (2003). The effect of plyometric training on distance running performance. *Eur J Appl Physiol.* (1) :1-7.

- Staron, RS. et al. (1994). Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *J Appl Physiol.* (3) :1247-55.
- Stevenson, MW. et al. (2010). Acute effects of elastic bands during the free-weight barbell back squat exercise on velocity, power, and force production. *J Strength Cond Res.* (11):2944-54.
- Tobar Ortiz de Urbina, H. & Cabello, D. (2001). Methodological aspects of the training of endurance in badminton. *Congreso mundial de badminton. Procedimiento del IV IBF World Coaches Conference.* (pp. 361-379). Seville.
- Toumi, H. et al. (2004). Effects of eccentric phase velocity of plyometric training on the vertical jump. *Int J Sports Med.* (5) :391-8.
- Vanbiervliet, W. et al. (2003). Strength training with elastic bands: measure of its effects in cardiac rehabilitation after coronary diseases. *Ann Readapt Med Phys.* 46(8):545-52.
- Wallace, BJ., Winchester, JB., et McGuigan, MR. (2006). Effects of elastic bands on force and power characteristics during the back squat exercise. *J Strength Cond Res.* (2):268-72.
- Widrick, JJ. et al. (1996). Force-velocity and force-power properties of single muscle fibers from elite master runners and sedentary men. *Am J Physiol.* (2) :C676-83.
- Zehr, EP. (2002). Considerations for use of the Hoffman reflex in exercise studies. *Eur. J. Appl. Physiol.* (86):455-468.

9. Annexes

Annexe 1 : fiche expérimentale



--- Manip membres inférieurs badistes ---

Sujet	Taille	Droitier / Gaucher
Heure	Poids	
Date	Age	

<u>Réglages Biodex</u>	
Hauteur - moteur :	Position – moteur :
Hauteur - siège :	Position – siège :

<u>Préparation du sujet</u>
Préparation de la peau (rasage, nettoyage des peaux mortes, désinfection) Pose des électrodes

<u>EMG</u>
Trigger in Fréquence : 2000 Hz Voies : 1-4 CH1 : Vaste Latéral CH2 : Biceps Fémoral

Attacher le sujet

15 minutes – Vérifier les configurations

<u>Biopac</u>
Fréquence d'acquisition : 1000 Hz CH1 : Trigger CH2 : Force CH3 et CH4 : EMG sur VL et BF

Résumé : Des nouvelles méthodologies de l'entraînement sont apparues récemment. Seulement on ne connaît pas encore les adaptations neuromusculaires qui y sont liées. En parallèle, un ergomètre expérimental existe en badminton au sein de l'Université de Nantes. Ainsi, les objectifs de ce travail étaient: (1) s'intéresser aux adaptations neuromusculaires liées à l'entraînement en badminton avec l'ergomètre, (2) Justifiez son utilisation au sein de la Section Sportive Universitaire de badminton, (3) tenter d'insérer cette méthode innovante de l'entraînement dans un milieu professionnel, une structure d'entraînement de haut niveau.

Méthode : 8 sujets ont réalisé un protocole d'entraînement spécifique badminton avec l'ergomètre (2 situations), ainsi qu'un protocole isométrique et isocinétique à une vitesse angulaire de 90°/s. La force d'étirement sur le terrain a été évaluée à partir d'une jauge de contrainte. Le protocole isométrique sur Biodex s'est effectué à un angle de 60°, angle spécifique lors de la pratique du badminton.

Résultats : (1) Des augmentations ont été perçues sur différents indices, nerveux et périphériques. (2) Ces gains ont attesté d'un effet temps sur le protocole d'entraînement, et plus particulièrement d'un effet de l'entraînement avec l'ergomètre « baslastic ». (3) Aucune différence significative n'a été établie avec le groupe contrôle ce qui suggère un stress induit au groupe entraîné trop faible, et donc un protocole pas assez puissant.

Conclusion : Cette étude a permis de justifier l'utilisation de l'ergomètre artisanal dans l'entraînement en badminton, et plus généralement, à montrer l'intérêt de l'entraînement en résistance dans l'optimisation de la performance. Suite au protocole, des adaptations neuromusculaires sont apparues, cela nous informe un peu plus sur les effets induits par un entraînement avec élastiques.

Mots clés : Adaptations neuromusculaires, ergomètre innovant, méthodologie de l'entraînement, explosivité, badminton.

Abstract : New methods of training have emerged recently. Only we do not yet know the neuromuscular adaptations that are related. In parallel, an experimental badminton ergometer exists within University of Nantes. Thus, the objectives of this work were: (1) an interest in neuromuscular adaptations associated with training in badminton with ergometer (2) Justify its use in Badminton Sport's Section University (3) attempt insert this innovative method of training in a professional environment, a training high-level structure. Method: 8 subjects performed a training specific protocol with badminton ergometer (2 cases), as well as isometric and isokinetic protocol at an angular velocity of 90 ° / s. The stretching force field was assessed using a strain gauge. The Biodex isometric protocol was carried out at an angle of 60 °, specific angle when playing badminton. Results: (1) Increases were seen on different indices, nervous and peripheral. (2) These gains have attested to a time effect on the training protocol, and more specifically the effect of training with the "baslastic" ergometer.(3) No significant difference was established with the control group, suggesting a too low stress induced, at the group too, and therefore a protocol not powerful enough. Conclusion: This study used to justify the use of ergometer in the training in badminton, and more generally, to demonstrate the value of training in strength in optimizing performance. Following the protocol, neuromuscular adaptations appeared, it tells us a little about the effects induced by training with elastic.

Keywords : Neuromuscular adaptations, ergometer innovative methodology of training, explosiveness, badminton.