



UNIVERSITÉ DE NANTES

UFR Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives

Année universitaire 2015-2016

Master 2 « Expertise-Performance-Intervention »

**INFLUENCE DE LA FATIGUE SUR LES PARAMETRES DE
PERFORMANCE DU SMASH EN BADMINTON**

Présenté par :

PEREZ Jérôme

Directeur de mémoire : M. JUBEAU



Je tiens en premier lieu à remercier l'ensemble des joueurs des pôles France et Espoirs de Badminton de Strasbourg et Bordeaux pour leur implication et leur sérieux tout au long des manipulations ainsi que leurs coachs respectifs (Thomas, Thibault et Patrice) pour leur accueil et leur organisation.

Merci à la ligue Régionale de Badminton et son président M. POTTIER ainsi qu'au pôle et son entraîneur M. AMRANI pour le prêt de la machine lanceur de volant dans un premier temps puis à la société BADENKO et son directeur M. BLATGE pour le prêt sur la deuxième partie.

Je remercie également la F.F.Bad et le laboratoire MIP de Nantes pour m'avoir donné la possibilité de mener les expérimentations et plus particulièrement Marc JUBEAU pour son suivi tout au long de mon mémoire et Yann LE MANSEC pour ses nombreux conseils et aides. Je n'oublie pas non plus Julie DORON et mon collègue Quentin ROUAULT pour la bonne humeur et l'aide lors de ce projet.

Enfin, merci au STAPS de NANTES et à l'ensemble des intervenants, responsables et collègues du master EPI qui m'ont donné la possibilité de reprendre mes études et ainsi pouvoir compléter mes compétences en vu de mon projet professionnel futur.



UNIVERSITÉ DE NANTES

Charte anti-plagiat de l'Université de Nantes

Approuvée par le Conseil d'administration de l'Université de Nantes en date du 21 octobre 2011

Préambule

L'Université de Nantes est engagée contre le plagiat, afin de garantir la qualité de ses diplômes et l'originalité des publications pédagogiques et scientifiques de ses personnels enseignants et/ou chercheurs. Les travaux quels qu'ils soient (devoirs, compte-rendu, mémoire, cours, articles, thèses), réalisés aussi bien par les étudiants que par les personnels universitaires, doivent toujours avoir pour ambition de produire un savoir inédit et d'offrir une lecture nouvelle et personnelle d'un sujet. La présente charte définit les règles à respecter en la matière, par l'ensemble des étudiants et universitaires.

Article 1

Les étudiants et les personnels sont informés que le plagiat constitue la violation la plus grave de l'éthique universitaire. Le plagiat consiste à reproduire un texte, une partie d'un texte, toute production littéraire ou graphique, ou des idées originales d'un auteur, sans lui en reconnaître la paternité, par des guillemets appropriés et par une indication bibliographique convenable.

Article 2

Les étudiants et les personnels s'engagent à ne pas commettre de plagiat dans leurs travaux, quels qu'ils soient : devoirs et compte-rendu remis par les étudiants à un enseignant, mémoire, cours, articles de recherche, thèse. Le fait de commettre un plagiat en vue d'obtenir indûment une note, un diplôme ou un grade universitaire est une circonstance aggravante. Le fait de commettre un plagiat dans un document destiné à être publié, mémoire de master ou de thèse, article à paraître dans une revue, est aussi une circonstance aggravante. La reproduction d'une oeuvre originale sans le consentement de l'auteur est de plus qualifiée juridiquement de contrefaçon (articles L. 335-2 et L. 335-3 du code de la propriété intellectuelle).

Article 3

Les étudiants et les personnels s'engagent à citer, en respectant les règles de l'art, les travaux qu'ils utilisent ou reproduisent partiellement. Les reproductions de courts extraits en vue d'illustration, ou à des fins pédagogiques sont en effet autorisées sans nécessité de demander le consentement de l'auteur. Néanmoins, la méthodologie d'un travail universitaire, quel qu'il soit, implique que les emprunts soient clairement identifiés (guillemets) et que le nom de l'auteur et la source de l'extrait soient mentionnés. Les travaux universitaires ne consistent pas en la reproduction d'une ou de plusieurs sources, mais doivent toujours avoir pour ambition de produire un savoir inédit et d'offrir une lecture nouvelle et personnelle du sujet.

Article 4

L'Université de Nantes se réserve le droit de rechercher systématiquement les tentatives de plagiat par l'utilisation d'un logiciel de détection de plagiat. Les étudiants et les personnels s'engagent à communiquer, sur simple demande de l'Université, une version numérique de leur document avant publication, afin de permettre cette détection.

Article 5

Les manquements à la présente charte sont passibles de sanctions disciplinaires : avertissement, blâme, annulation du diplôme préparé, exclusion de l'Université pour une durée limitée, exclusion définitive de l'Université, exclusion de tout établissement public d'enseignement supérieur pour une durée limitée, exclusion définitive de tout établissement d'enseignement supérieur. Les auteurs présumés de plagiat seront systématiquement traduits devant la section disciplinaire compétente. La procédure disciplinaire ne présage pas d'éventuelles poursuites judiciaires dans les cas où le plagiat est aussi caractérisé comme étant une contrefaçon.

Toute information complémentaire sur les textes législatifs et réglementaires en vigueur et les règles de l'art pour la citation, peut être consultée dans le dossier plagiat sur le site de l'Université de Nantes : <http://www.univ-nantes.fr/charte-antiplagiat>.

Introduction	1
Analyse de l'activité	2
1 - Les caractéristiques techniques du badminton	2
1.1 – Caractéristiques générales.....	2
1.2 - Structures temporelles et évènementielles.....	2
1.3 – Déplacements dans l'aire de jeu.....	5
2 – Caractéristiques physiologiques du badiste.....	5
2.1 – Filières énergétiques et paramètres de la performance	5
2.2 – La fréquence cardiaque	6
2.3 – La consommation d'O ₂	6
2.4 – La lactatémie	7
3 – Fatigue et performance sportive en sport de raquette	7
Objectif de l'étude et hypothèses	9
Matériel et méthode	10
1 – Participants.....	10
2 – Protocole expérimental	10
3 – Protocole de fatigue	11
4 – Test de performance en smash	12
4.1 - Paramètres étudiés	12
4.1.1 - <i>Vitesse du volant</i>	13
4.1.2 - <i>Précision du volant</i>	13
4.1.3 - <i>Indice de performance</i>	14
4.2 - Validation du protocole	14
5 – Analyse statistique	15
Résultats	16
1– Impact de la fatigue.....	16
1.1 - RPE.....	16
1.2 - Performance en CMJ	16
2 – Paramètres de la performance en smash	18
2.1 - Evolution de la vitesse du volant.....	18
2.2 - Evolution de la précision	18
2.3 - Evolution de l'indice de performance.....	19
2.4 - Corrélations entre les différents deltas	20
Discussion	21
1 –Paramètres de performance du smash en pre-fatigue.....	21
2 - Influence du protocole de fatigue	22
3 - Influence de la fatigue sur la performance en smash.....	23
4 - Analyse critique et perspectives	25
5 - Applications pratiques	26
Conclusion	28

Introduction

Le badminton, un sport en pleine expansion.

Sport Olympique depuis 1992, le badminton est une activité éminemment populaire à l'échelon mondial (plus de 200 millions de pratiquants ; Phomsoupha & Laffaye 2015) et en constante augmentation en France, avec un nombre de licenciés qui a triplé dans les quinze dernières années (source FFBad), 15ème sport olympique au vue de son nombre de licencié en 2015 (185 000 ; source FFBad). Il peut être facilement pratiqué à tout âge et à tous niveaux (1er sport pratiqué au niveau scolaire).

Sport phare dans les pays Asiatiques dont les joueurs occupent aujourd'hui la majorité des TOP 10 mondiaux, le badminton a pourtant été créé sur le continent Européen et plus particulièrement en Angleterre (Guillain JY, 2002). Le Danemark, l'Angleterre ou l'Espagne constituent de nos jours les représentants moteurs du badminton européen sur la scène internationale. Fort de son succès national, le badminton français se lance aujourd'hui à la conquête du badminton européen et mondial. Pour cela, la fédération organise des évènements majeurs au niveau international (Internationaux de France de Badminton) et Européen (Championnat d'Europe 2016 au Vendée Space). Elle se préoccupe également de la formation de ses joueurs et joueuses. Le badminton fait ainsi parti intégrante de l'INSEP (Institut National du Sport, de l'Expertise et de la Performance) depuis 1990. Les 20 meilleurs joueurs français s'y entraînent quotidiennement et bénéficient des infrastructures. Pour la formation des jeunes joueurs, la fédération a mis en place 2 pôles France Jeunes (Bordeaux et Strasbourg) et 7 pôles Espoirs répartis un peu partout sur le territoire. Bien que le badminton français continue à se structurer et à se développer, l'état de la recherche montre cependant un certain retard et de nombreuses questions concernant la performance dans ce sport restent en suspens.

Cette étude se propose d'analyser l'effet de la fatigue sur les paramètres de performance (vitesse et précision du volant) d'un coup décisif comme le smash. Celui-ci est souvent utilisé en jeu afin de finir un point ou du moins de mettre en difficulté l'adversaire. Ainsi, évaluer les effets de la fatigue générée par les efforts en match permettra d'établir des programmes d'entraînement en vue de limiter ces effets et de rendre ce coup plus décisif.

Analyse de l'activité

1 - Les caractéristiques techniques du badminton

1.1 – Caractéristiques générales

Le badminton est depuis longtemps considéré comme le sport de raquette le plus rapide avec des vitesses maximales pouvant aller jusqu'à 400 km/h en sortie de raquette et une moyenne autour de 220 km/h. Il se joue en intérieur sur un terrain de jeu qui varie selon que l'on joue en simple ou en double, avec un filet d'une hauteur de 1,55 m séparant les adversaires. Les matchs se jouent depuis 2006 en 2 sets gagnants de 21 points (anciennement 3 sets gagnants de 15 pour les hommes et 11 points pour les femmes) afin de mieux maîtriser la durée d'un match (Ooi and al., 2009). Ainsi, Chen et Chen (2008) montrent une diminution de 30% entre la durée de matchs joués par les mêmes joueurs avec le nouveau système de scoring.

Des analyses de l'activité ont déjà été effectuées concernant le badminton, et notamment des analyses de la structure temporelle et/ou événementielle. La revue de la littérature récente effectuée par Phomsoupha et Laffaye (2015) a permis de mieux cerner les caractéristiques du badminton moderne.

1.2 - Structures temporelles et événementielles

Un match de badminton dure en moyenne, et selon les auteurs, entre 20 mn et 1 h (Abian-Vicen et al., 2012 ; Chen et Chen, 2008 ; Abian et al., 2014). Il convient cependant d'analyser plus précisément l'ensemble du match afin de se rendre compte des caractéristiques du jeu. La durée moyenne d'un échange, c'est à dire le temps entre le service (ou la mise en jeu) et l'arrêt du jeu (impact du volant au sol ou dans le filet) est selon Faude (2007) de 5.5 ± 4.0 s. Zekan et Ciliga (2002) montrent l'influence du niveau d'expertise sur la durée des points. Ainsi, plus un joueur est expert plus le point a tendance à durer. Le repos entre deux points joués est en moyenne de $11,4 \pm 6,0$ s soit un ratio durée d'un point / repos de 0,5. Le temps de jeu effectif (somme de la durée des points divisée par la durée totale du match multipliée par 100) ne dépasse pas lui 32,1%. Toujours selon Faude (2007), les échanges longs (supérieurs à 6 s) représentent 30% du total des points joués. Le nombre de coup par point est environ de $7,0 \pm 0,7$ (Abian-Vicen, 2012 ; Chen et Chen, 2008 ; Faude, 2007).

Abian-Vicen et al. (2014) ont récemment comparé le jeu et ses évolutions, à l'aide de l'analyse vidéo, entre les deux derniers Jeux Olympiques (Pekin 2008 et Londres 2012). Ils ont ainsi pu remarquer que le temps de jeu était supérieur aux JO de Londres ($p < 0,05$), tout comme le temps de jeu réel ou par point ($p < 0,05$). En revanche, les temps de récupération étaient plus importants et tendaient vers la limite autorisée par le règlement. De manière quasi similaire, Chen et Chen (2008) ont noté des différences significatives entre le 1^{er} et les 2 derniers sets. Les auteurs ont suggéré que la fatigue était responsable de ce changement tactique.

Concernant l'étude précise des coups au badminton, Phomsoupha et Laffaye (2015) en définissent 6 : le smash, le dégagement, l'amorti, le contre-amorti, le lob, le kill et le drive. Le smash (trajectoire descendante) et le kill (trajectoire tendue de mi-court), qui sont considérés comme des coups d'attaque, sont les plus souvent utilisés dans les dernières frappes du point. D'autre part, les joueurs utilisent majoritairement des coups d'attaque (Oswald, 2006). Quant à la localisation des coups effectués, elle varie en fonction du sexe : les hommes frappent le volant majoritairement dans une zone proche du filet alors que les femmes frappent plus en fond de court. Bien évidemment, le style de jeu du joueur et/ou le nombre de joueur sur le terrain (simple ou double) sont aussi des variables qui modifient les différents paramètres. Ici, les caractéristiques analysées ne concerne que le jeu en simple.

Variables	Conditions (Sujets)	Résultats hommes	Résultats femmes	Auteurs
Durée de match (min)	Jeux Olympiques (20)	39,6 ± 6,5	28,3 ± 2,8	Abian-Vincen et al. (2013)
	International (16)	32,5 ± 2,5	NS	Chen et al. (2008)
	Jeux Olympiques (40)	20,1 ± 4,5	NS	Abian et al. (2014)
Temps effectif de jeu (%)	International (12)	31,2 ± 2,8	NS	Faude et al. (2007)
	Jeux Olympiques (40)	Set 1 : 27.7 ± 2.9	31.4 ± 2.6	Abian et al. (2014)
		Set 2 : 28.0 ± 2.7	31.3 ± 2.1	
Fréquence des frappes (s-1)	International (11)	0.93 ± 0.11	NS	Cabello Manrique et al. (2003)
	Jeux Olympiques (20)	Set 1: 1.08 ± 0.04	0.91 ± 0.04	Abian-Vincen et al. (2013)
		Set 2: 1.09 ± 0.03	0.92 ± 0.06	

Tableau 1. Bilan des structures temporelles et événementielles relevées dans la littérature internationale

Comme nous l'avons vu, le smash constitue le coup le plus fréquemment utilisé surtout dans le but de finir le point. Ainsi de nombreuses études se sont intéressées à analyser plus particulièrement les spécificités techniques et physiques de ce geste. Les premiers à s'être attardé sur ce geste sont Gowitzke et Waddle en 1979. Ils avaient alors décrit de manière biomécanique le smash en le décomposant en trois phases : une phase d'ajustement et d'armé (1), une phase d'élévation du bras durant laquelle il va se produire une accélération du geste (2) et enfin la phase de décélération après impact (3). Les différentes phases sont caractérisées par une biomécanique et des activations musculaires précises qui permettent d'optimiser le geste. Outre l'étude physique et biomécanique du smash, Phomsoupha et Laffaye (2014) se sont quand à eux intéressé plus particulièrement à la

vitesse du smash. Ainsi, leurs travaux ont montré que la vitesse du volant, calculée à la sortie de la raquette à l'aide d'un radar, évolue de façon linéaire avec le niveau de performance. Ils remarquent d'autant plus une différence entre les joueurs expérimentés et les élites. Ils rappellent, tout comme Kwan et al. (2010), l'importance des caractéristiques de la raquette (déflexion) dans la transmission finale de la force.

La vitesse du volant est importante dans une optique de laisser le moins de temps possible à l'adversaire de réagir. Celui-ci va donc se retrouver en retard et être dans l'incapacité de réagir correctement voire dans l'impossibilité de retourner le volant car le temps de réaction sera trop important.

La vitesse n'est cependant pas le seul paramètre important du smash, la précision du volant est elle aussi une caractéristique essentielle. En effet, les études ont montré par exemple que les joueurs de Haut-niveau ne faisaient que peu de fautes directes et que celles-ci affectaient directement le résultat final (Cabello, 2003 ; Chen et Chen, 2011). Sakurai et Ohtsuki (2000) ont montré dans l'une de leur expérimentation l'effet de l'expertise sur la précision et la capacité à la répéter tout au long des différentes évaluations. Cette expérimentation n'était cependant pas très écologique puisque les joueurs visaient une cible carrée de 45 cm située sur un mur à 4 m du joueur sans filet ce qui ne correspond pas aux contraintes spatiales rencontrées lors d'un match.

Le but étant de mettre l'adversaire dans des situations difficiles avec le moins de temps possible, il apparaît normal de jouer dans des zones où il ne se situe pas et/ou le déplacement qu'il va devoir faire le mettra en difficulté. La capacité à viser des zones précises nécessite des qualités de contrôle moteur. Celui-ci peut être séquencé en trois phases : perception – prise de décision – action motrice. Il est donc impensable de dissocier la qualité gestuelle (action motrice), en tant que finalité, des capacités cognitives de perception/analyse (Blomqvist et al., 2001). Cette perception provient de stimuli visuels. Ainsi, le joueur de badminton doit analyser visuellement avant de frapper la trajectoire du volant et en même temps le placement de son adversaire dans un objectif de définir des zones cibles. Hughes et al. (1993) démontrent par exemple chez les pongistes élites une acuité visuelle plus développée, un champ de vision agrandi et une meilleure reconnaissance des éléments périphériques. Cela démontre l'importance de cette caractéristique dans les sports de raquettes à haut-niveau.

Il n'existe aujourd'hui aucune étude qui ne s'est intéressée à la mise en place de tests valides afin d'évaluer simultanément la vitesse et la précision des smashes en badminton contrairement à d'autres sports des raquettes comme le tennis (Vergauwen et al., 1998 ; Rota et al., 2014). Ceux-ci permettraient par exemple de pouvoir évaluer l'effet de la fatigue créée par un match ou une compétition sur l'efficacité du smash.

1.3 – Déplacements dans l'aire de jeu

Kuntze et al. (2010) ont analysé les déplacements de 18 joueurs de badminton élités et 16 joueurs confirmés. Ils ont ainsi pu répertorier 5 types de déplacements bien définis : course, pas chassés, saut latéral, saut et fente. Ce dernier représente le mouvement le plus fréquent (15%), il regroupe 5 phases : l'attaque initiale (attaque du talon), pied à plat (second impact), la phase d'amortissement (réduction de la force), phase de stabilisation (équilibre corporel) et la phase de poussée inverse pour repartir. Deux types de fentes peuvent être exécutées : demi-fente (le mouvement antérieur du genou ne dépasse pas les orteils) et fente complète (le mouvement antérieur du genou dépasse les orteils). Cette décomposition du mouvement est due à l'influence sur l'impact musculaire et ses dommages que telle ou telle fente va pouvoir produire (Cronin et al., 2003 ; Jönhagen et al., 2009). La répétition de ces mouvements excentrique / concentrique produit ainsi de la fatigue au niveau des membres inférieurs (ischio-jambiers, fessiers, quadriceps) surtout du côté dominant (celui du côté de la raquette). Ainsi Lin (2014) montre une diminution de la force musculaire des extenseurs et fléchisseurs du genou côté dominant significative ($p < 0,05$) immédiatement et une heure après un match de badminton. De plus, cette diminution est corrélée au nombre de fentes exécutées durant le jeu. Il note également une diminution moindre du côté opposé. Aucune différence n'est cependant observée 24 h après le match montrant ainsi des dommages musculaires limités chez des joueurs experts.

2 – Caractéristiques physiologiques du badiste.

Après avoir examiné globalement le jeu et les composantes événementielles et temporelles, il convient de définir plus précisément les caractéristiques physiologiques associées à ce sport. Il est évident que des qualités psychologiques et mentales dues aux spécificités du sport (rapidité, contrainte spatiale et temporelle, stress...) sont aussi à prendre en compte. Ainsi, comme tout sport de raquette, le badminton nécessite le traitement des informations dans un temps imparti réduit (Williams, 2011) avec une qualité d'anticipation importante (Triolet, 2013). L'expérience et l'entraînement permettent ainsi d'optimiser ses capacités et d'utiliser rapidement ces informations (Huys 2008). Au regard de la thématique de ce mémoire, nous ne détaillerons cependant pas les caractéristiques psychologiques par la suite.

2.1 – Filières énergétiques et paramètres de la performance

Le badminton est décrit comme l'un des sports les plus épuisants (Cabello, 2004 ; Raman, 2013). Il se caractérise comme nous l'avons vu précédemment par des actions intermittentes explosives

(environ 7 s) entrecoupées de repos (environ 15 s), le temps effectif étant seulement de 30%. La demande énergétique se découpe donc entre 60-70% pour la filière aérobie et 30% pour la filière anaérobie avec une grande part à l'anaérobie alactique (Cabello, 2004). La filière aérobie doit être suffisante afin de produire l'énergie mais surtout faciliter la récupération entre les points (re-synthèse ATP et PCr). Le succès dans les points décisifs à la fin de longs matchs peut être déterminé par la capacité à répéter les périodes de haute intensité (Girard et Millet 2008) tout en minimisant le développement de la fatigue même si les facteurs influençant l'apparition de celle-ci sont encore mal connus dans le badminton. L'entraînement du badiste devra donc inclure des exercices à visée aérobie et anaérobie afin d'améliorer les capacités physiologiques.

La flexibilité, l'endurance musculaire, la force et la puissance sont des caractéristiques générales nécessaires dans les qualités d'un sportif de haut niveau mais les sports de raquette nécessitent d'autres qualités physiologiques comme l'accélération, l'agilité, l'équilibre et le temps de réaction (Lees, 2003 ; Girard et Millet, 2008 ; Faude, 2007 ; Jeyaraman, 2012). A haut-niveau, les déplacements doivent être rapides avec une force explosive afin de se placer au mieux pour avoir des frappes effectives.

2.2 – La fréquence cardiaque

L'analyse de la fréquence cardiaque (FCmax et moyenne) démontre l'utilisation importante de la puissance aérobie chez le joueur (Cabello et al., 2004 ; Faude, 2007 ; Wonisch, 2003). La littérature rapporte une fréquence cardiaque maximale moyenne de 191,0 batt/minute chez les hommes et 197,6 batt/min chez les femmes soit des valeurs supérieures à 90% de la FCmax théorique. Phomsoupha et Laffaye (2015) montrent un effet de l'expertise sur la fréquence cardiaque moyenne : 188,0 batt/min chez des badistes experts vs 194,0 batt/min chez des badistes confirmés.

2.3 – La consommation d'O₂

Girard et Millet (2008) ont comparé les profils physiologiques des athlètes sur les quatre sports de raquettes majeurs (tennis, squash, tennis de table et badminton) et ils ont rapporté que la consommation maximale (VO₂max) était plus élevée chez les joueurs de squashes (> 60 ml·min⁻¹·kg⁻¹) que chez les badistes (55 – 60 ml·min⁻¹·kg⁻¹), ou que chez les tennismens et pongistes (50 – 55 ml·min⁻¹·kg⁻¹).

Pour Alcock (2009), on peut aussi distinguer la VO₂max entre les joueurs de simple (50,6 ml·min⁻¹·kg⁻¹) et les joueurs de double (45,5 ml·min⁻¹·kg⁻¹). Comme pour la fréquence cardiaque, les élites ont une VO₂max plus importante que les confirmés.

2.4 – La lactatémie

Comme le rapportent Phomsoupha et Laffaye (2015), les valeurs de lactatémie varient considérablement d'une étude à l'autre en fonction des protocoles réalisés (site et timing de prélèvement). Ainsi on dénombre 2 types d'analyse : par les bandes de lactatémie et le photomètre ACCUSPORT® (Bishop, 2001 ; Cabello, 2004 ; Heller, 2010) ou par prélèvement sanguin (Ooi, 2009 ; Fuchs, 2014). Les différentes études montrent des valeurs très larges allant de 2,9 à 12,2 mmol.l⁻¹, la moyenne se situant aux alentours de 4,4 mmol.l⁻¹. Ces valeurs peuvent paraître assez faibles au vu de l'activité mais traduisent l'importance des pauses entre les points (temps de jeu effectif environ 30%, Abian, 2014) et donc de la récupération possible.

Sexe	Type de Sujets (Nb)	Lactatémie (mmol.L ⁻¹)	VO ₂ (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	FC max (batt.min ⁻¹)	Auteurs
Hommes	Elites (41)	3,9 ± 2,2	NS	191 ± 9	Cabello et al. (2004)
	Elites (54)	10,6 ± 2,4	63,2 ± 3,7	186,6 ± 9,2	Heller (2010)
	Elites (12)	NS	56,9 ± 3,7	NS	Ooi et al. (2009)
	Elites (4)	1,9 ± 0,1	46 ± 4,5	NS	Faude et al. (2007)
Femmes	Elites (38)	2.4 ± 1.0	NS	193 ± 9	Cabello et al. (2004)
	Elites (26)	11.5 ± 2.0	55.2 ± 2.6	193.8 ± 7.9	Heller (2010)

Tableau 2. Bilan des paramètres bioénergétiques relevés dans la littérature internationale

La part de la composante physique dans le niveau de performance reste cependant relativement floue. Ainsi, une étude de Ooi et al. (2009) ne montre pas de différences significatives lors des tests physiques entre des joueurs élite et sous-élite en badminton. Ce résultat tend à montrer que d'autres facteurs (technique, tactique, psychologique) interviennent dans la performance et l'expertise.

Les analyses structurelles et physiologiques nous montrent que le badminton est un sport bref mais très intense ce qui a pour effet d'induire une fatigue au cours de la pratique. On note toutefois que l'effet de cette fatigue n'a été étudié que sur des paramètres physiques et aucune étude ne s'est intéressée à l'effet de la fatigue sur la composante technique (smash par exemple).

3 – Fatigue et performance sportive en sport de raquette

La pratique du sport induit une fatigue, processus commun, complexe mais controversé par la multitude de ses définitions, dont une de ses composantes est la fatigue neuromusculaire. Williams et Ratel (2009), la définissent selon trois points clés :

- le déclin d'un ou de plusieurs paramètres tels que la force, la puissance ou la vitesse.

- une diminution réversible des capacités
- cette diminution de capacité peut ou non se produire avant une diminution notable de la performance ou un échec de la tâche.

La fatigue peut être de différente sorte et s'accumuler. Ainsi, on peut distinguer une fatigue aigue (sur le moment) et une fatigue chronique qui peut être due à l'enchaînement des matchs sur une compétition, l'enchaînement des entraînements... Reid et al. (2014), estiment par exemple que la quantification de l'effet de la fatigue sur un match de tennis reste ambiguë et dépend de plusieurs facteurs : surface de jeu, style de jeu du joueur et de celui de l'adversaire... Un jeu offensif, par exemple, est plus couteux d'un point de vue physiologique et peut induire de la fatigue plus rapidement. La durée du match est aussi un facteur important de fatigue, Phomsoupha et Laffaye (2015) dans leur revue ont par exemple montré que la durée des pauses entre les points était quasiment doublée entre le premier et le troisième set au badminton. L'apparition de la fatigue peut induire une perturbation des schémas moteurs et donc une perturbation gestuelle. Cependant, il apparaît difficile de distinguer le changement de ces schémas moteurs au cours du match contrairement aux résultats des différents paramètres de la frappe.

Comme dans les autres sports de raquette (tennis, tennis de table, squash) (Lees, 2003 ; Girard et Millet, 2008 ; Hornery et al., 2007), Lin (2014) a montré, après un match simulé à des intensités proches de la compétition, l'apparition d'une fatigue centrale et périphérique (diminution de la Contraction Maximale Volontaire Isométrique des fléchisseurs / extenseurs du genou et des doublets) ainsi que des dommages musculaires modérés au niveau des quadriceps en lien avec la répétition des fentes (déplacement majoritaire dans le badminton). Lors de son étude, la fatigue et les dommages musculaires étaient corrélés au nombre de fentes effectuées lors du match simulé. Il retrouve toutefois des valeurs normales 24 h après l'effort montrant l'effet modéré de cette fatigue. A contrario, Abian et al. (2015) notent, eux aussi après un match simulé, une modification des paramètres hématologiques (augmentation concentration sanguine en myoglobine et créatine kinase) sans diminution de la force isométrique des membres inférieurs ni de la performance au test d'agilité (Agility T-test).

Ainsi, dans les sports de raquette comme le tennis, la fatigue peut se manifester par des perturbations des capacités techniques (fautes directes, frappe avec une vitesse lente,...), des déplacements altérés (vélocité, mauvais positionnement par rapport à la balle,..) ou des choix tactiques ou techniques inadéquats (Davey et al., 2002 ; Girard et Millet, 2008 ; Hornery et al., 2007) La capacité à limiter ou détourner les effets de cette fatigue apparaît donc comme une clé dans la réalisation de la performance et ce d'autant plus dans le sport de haut-niveau.

En revanche, peu d'études se sont intéressées à l'évolution des paramètres de la frappe au cours d'un match de badminton et ainsi évaluer l'impact de la fatigue sur celle-ci. Des résultats

comparables ont été retrouvés au tennis après une tâche fatigante : diminution de la vitesse de (-4,5%) et diminution de la précision (-11,7%) lors du service (Rota et al., 2014). En ce servant de ce type de protocole, il serait intéressant de faire une évaluation appliquée au smash en badminton.

L'apparition de la fatigue que ce soit localisée ou générale nécessite un changement de stratégie pour l'individu afin de rester le plus performant possible dans sa tâche. Ces stratégies sont personnelles et plus ou moins efficaces (expertise, facteurs personnels,...).

Objectif de l'étude et hypothèses

A ce jour, aucune étude ne s'est intéressée à l'impact de la fatigue sur les paramètres de performance (vitesse et précision) du smash chez le badiste.

L'objectif de notre étude était donc d'évaluer l'effet de la fatigue en badminton sur les paramètres de performance (vitesse et précision) en smash.

Nous émettons l'hypothèse que la vitesse et la précision du volant seront impactées en condition de fatigue induisant ainsi une diminution de la performance en smash.

Matériel et méthode

1 – Participants

Dix sept jeunes badistes des pôles France (Strasbourg et Bordeaux), six filles (âge : $17,0 \pm 0,9$ ans ; taille : $169,0 \pm 5,9$ cm ; poids : $61,7 \pm 3,8$ kg) et onze garçons (âge : $16,7 \pm 0,8$ ans ; taille : $180,2 \pm 5,5$ cm ; poids : $66,7 \pm 4,2$ kg), de niveau national (joueurs et joueuses parmi les 100 premiers français selon le classement national de la FFBad) ont participé à cette étude. Ces joueurs pratiquaient le badminton depuis plus de 9 ans ($9,2 \pm 1,0$ ans) et présentaient un volume d'entraînement de 15,5 heures ($\pm 1,8$ h). Les caractéristiques principales des sujets sont présentées dans l'annexe 1.

Tous les sujets ont été informés avant l'étude de la teneur de l'expérience et du caractère volontaire et non obligatoire de leur participation. Un formulaire explicatif a été transmis aux sujets ainsi qu'une autorisation parentale pour les sujets mineurs. Les documents devaient être retournés signés pour consentement.

2 – Protocole expérimental

Un test de performance en smash a été créé en préambule du protocole expérimental afin de valider la sensibilité et la spécificité de celui-ci (voir partie 4.2). Chaque sujet a réalisé une session de test (durée : 45 mn) dans son pôle respectif. La session se déroulait dans la salle d'entraînement habituelle pour chacun des pôles, sur deux terrains de badminton homologués : un terrain servait à la mesure de la performance en smash (vitesse / précision) et un autre au protocole de fatigue. La session comprenait un test de performance en smash (voir détails partie 4) réalisé avant et immédiatement après un protocole de fatigue (voir détails partie 3).

Avant chaque test, l'ensemble du protocole était expliqué et démontré puis chaque joueur effectuait un protocole standardisé d'échauffement comprenant :

- 5' libre d'échauffement sans volant type course, mouvements articulaires, étirements
- 5' libre sur terrain avec volant type : dégagement, drive, lob, amorti
- 5' type attaque/défense avec smashes

Suite à cet échauffement et avant de commencer le protocole de test, le joueur avait la possibilité de s'hydrater. Le joueur possédait 5 volants de familiarisation avant de commencer le test.

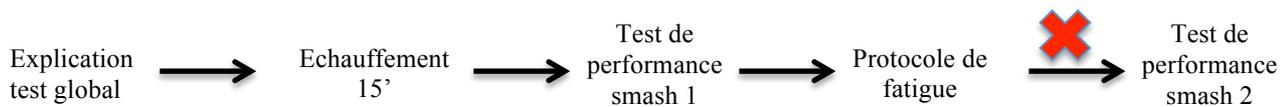


Figure 1 : Timing du protocole expérimental. La croix rouge indique que le joueur ne dispose pas de temps de repos (hydratation ou autre) et doit directement enchaîner.

3 – Protocole de fatigue

Le but du protocole était d'induire une fatigue conséquente afin de simuler celle que l'on peut rencontrer lors d'un match (Lin, 2014).

Le protocole consistait à un enchaînement de dix sauts CMJ (mains sur les hanches) avec une fréquence de un saut toutes les deux secondes. Ces sauts étaient réalisés à l'intérieur de barres de mesures Opto-Jump® afin d'enregistrer les performances de hauteur de saut. La fréquence des sauts était donnée via un métronome et un examinateur veillait au bon respect de la consigne. Il était demandé au joueur de sauter le plus haut possible sur l'ensemble des CMJ. Suite à ces dix sauts, le joueur enchaînait 8 fentes avec raquette alternativement à droite et à gauche. Lors de ces fentes, il était demandé au joueur de venir toucher le plus rapidement possible le filet avec la raquette (zone de 1 m située à partir de la ligne latérale de simple) puis de se replacer derrière un plot situé un mètre derrière l'intersection de la ligne de service avant d'enchaîner sur la fente controlatérale (voir figure 2). A la fin des huit fentes, le joueur reposait sa raquette et venait se replacer entre les barres de l'Opto-Jump® afin de continuer le protocole. Lors de son remplacement, une évaluation de la perception de la pénibilité de l'effort était effectuée à l'aide de l'échelle de Borg (6 à 20). Aucune pause n'était autorisée durant l'intégralité du protocole de fatigue.

L'ensemble du protocole comprenait 10 séries de 10 sauts CMJ entrecoupées de 9 séries de 8 fentes alternées droite / gauche. Le choix de ce protocole a été fait suite à l'analyse de l'activité qui retrouvait en grande majorité ces 2 types de déplacements. Afin de tenir compte de l'aspect psychologique inhérent à la fatigue de l'effort, des encouragements verbaux étaient prodigués par l'examineur.

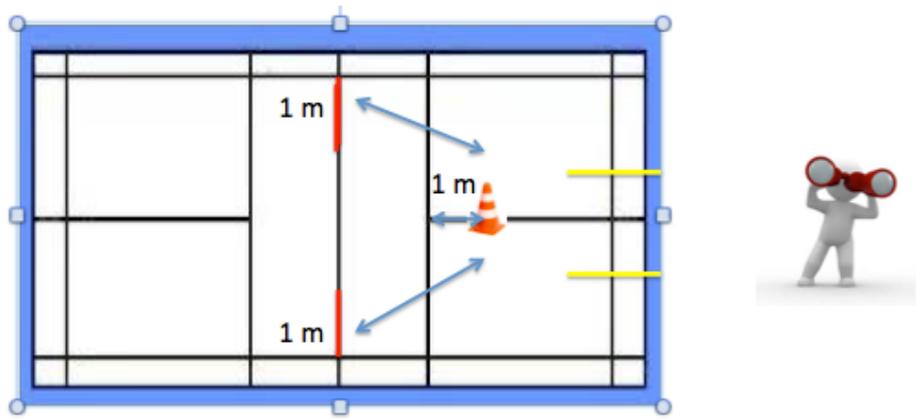


Figure 2 : Schéma du protocole de fatigue. Les traits jaunes représentent le système de mesure Opto-Jump® où le joueur effectuait les 10 sauts (CMJ). Le cône représente l'endroit où le joueur devait faire son remplacement après avoir touché le filet avec sa raquette au niveau des zones rouges.

4 – Test de performance en smash

4.1 - Paramètres étudiés

La performance consistait à frapper 20 smashes fond de court en visant des cibles tracées sur le demi terrain opposé avec une fréquence d'un smash toutes les 3 secondes en alternant droite / gauche sur chaque smash. Cette fréquence a été choisie afin de laisser le temps au joueur d'effectuer l'intégralité du geste et de pouvoir lui laisser la possibilité de se replacer entre chaque smash. Le test se veut non fatiguant afin d'évaluer l'impact seul du protocole de fatigue. Le lancer du volant était standardisé à l'aide d'un lanceur de volant (BKL, Badenko®, France) (voir figure 3). Le matériel offre la possibilité de régler plusieurs paramètres comme la puissance, la fréquence et l'angle d'éjection du volant. Afin d'être le plus reproductible possible, les réglages sont restés les mêmes durant l'intégralité des tests effectués et contrôlés par le même opérateur (position 6, puissance maximale, trajectoire lobée avec un angle de sortie de $50 \pm 3^\circ$, distance de 8,8 m). Les volants utilisés ont été les mêmes pour l'ensemble des joueurs (YONEX AS-50, Yonex®, Japon) et revérifiés après chaque série de smashes afin de remplacer les volants défectueux.

La consigne donnée était : « Frappez le plus fort et le plus précisément possible comme si vous deviez finir le point du match ». La consigne se voulait la plus neutre possible afin de ne pas influencer le joueur sur une stratégie à adopter. Dans un souci d'écologie, et suite à une analyse d'activité, il a été demandé aux garçons de sauter sur chaque smash. Cette dernière consigne n'était pas obligatoire pour les filles car le smash sauté est rare dans l'activité pour celles-ci.



Figure 3 : Lanceur de volant BKL

4.1.1 - Vitesse du volant

Afin de mesurer la vitesse de chaque smash, un examinateur était situé 3 m derrière le joueur avec une hauteur de 2,5 m (Phomsoupha et Laffaye, 2014). La mesure a été prise à l'aide d'un radar (Stalker ATS 2, Stalker Radar, Plano, Texas, USA) avec une fréquence de 50 Hz et une précision de $\pm 0.041 \text{ m.s}^{-1}$. L'ensemble des 20 smashes était enregistré sur le logiciel et était analysé puis reporté sur la grille d'évaluation du joueur (voir annexe 2).

4.1.2 - Précision du volant

Sur chaque smash, le joueur devait viser des cibles situées au sol sur le demi-terrain opposé. Celles-ci étaient matérialisées par deux rectangles divisés en 2, chacun d'une surface de $1,7 \text{ m}^2$ ($2,12 \times 0,8 \text{ m}$). Les cibles étaient placées sur les cotés du court à 1,87 m de la ligne centrale (comme indiqué sur la figure 4). Chaque zone est caractérisée par son nombre de points :

- la zone la plus latérale vaut 3 points
- la zone plus médiale vaut 2 points
- l'ensemble du reste du terrain réglementaire en simple vaut 1 point
- le reste est noté 0 point (faute)

Un examinateur fait office de scoreur et reporte le nombre de points de chaque smash sur la grille d'évaluation (annexe 2). Chaque test de mesure de la performance en smash a également été filmé (AIPTEK V5Z25S). La caméra était située à 3 m derrière la ligne de fond de court, dans le prolongement de la ligne centrale, du côté des cibles. L'ensemble des performances était analysé

ultérieurement grâce à l'enregistrement vidéo. Une comparaison entre l'enregistrement vidéo et le nombre de points rapportés par l'examineur a été réalisée. S'il existait un désaccord entre le scoreur et l'analyse vidéo, cette dernière était prise comme référence. Cette analyse comprend donc 34 performances (2 par joueur) et possède une forte corrélation avec les points observés par l'examineur ($r = 0,90$, voir annexe 7).

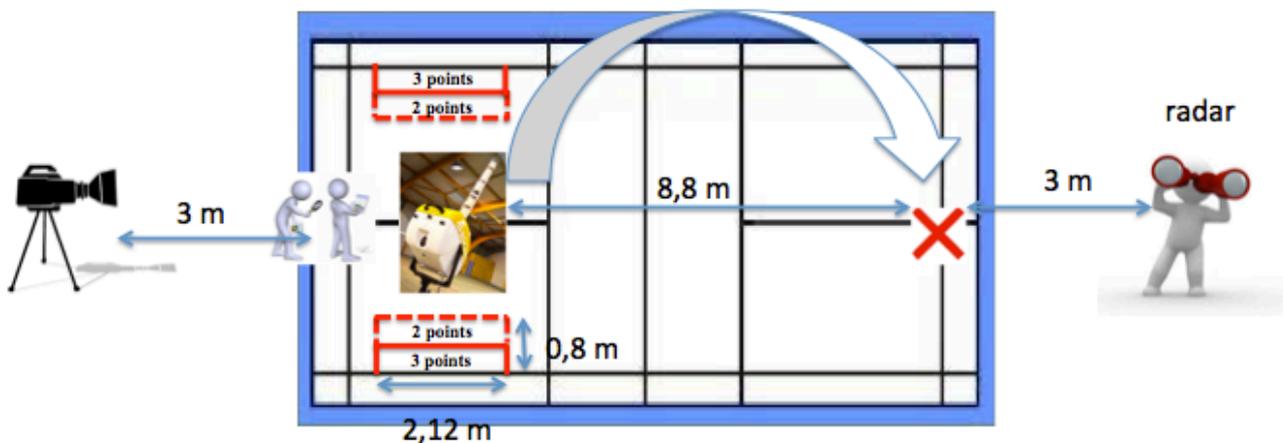


Figure 4 : Schéma descriptif du test de performance. La croix rouge représente la zone où se situe le joueur lors des smashes. Celle-ci se situait à 8,8 m de la machine, la flèche blanche représente la trajectoire des volants. Les zones cibles sont représentées en rouge : la zone en pointillée valait 2 points, celle en trait continu valait 3 points. Le reste du terrain valait 1 point. La caméra derrière permet d'enregistrer l'ensemble du test afin de vérifier les points marqués.

4.1.3 - Indice de performance

Pour prendre en compte le conflit vitesse / précision, un indice de performance (IP) a été calculé afin de relier les deux paramètres mesurés. Cet indice a été calculé à partir de la formule suivante : (moyenne de la vitesse de la série x somme des points de la série) / 100. Cet indice est celui utilisé lors d'un test similaire en tennis de table (Le Mansec et al., 2015). Ainsi, cet IP va nous permettre d'évaluer la performance du smash dans son ensemble. En effet, plus l'indice sera élevé, plus le smash sera « performant » et inversement.

4.2 - Validation du protocole

Afin d'évaluer la sensibilité et la fiabilité de notre protocole, nous l'avons testé préalablement sur quatre groupes de niveaux différents : 10 joueurs non pratiquants (licence filière STAPS), 9 joueurs de niveau départemental, 10 joueurs de niveau régional et 9 joueurs de niveau national. Cela a permis de valider la sensibilité du test que ce soit au niveau de l'IP, de la vitesse ou de la précision

avec des valeurs significativement différentes entre chaque groupe pour l'ensemble des paramètres (voir tableau annexe 3).

Pour le groupe de niveau national, qui concerne nos joueurs testés dans les pôles, les résultats montrent une excellente répétabilité entre les deux tests sur tous les paramètres: erreur standard de mesure (SEM) allant de 1,82 à 2,95 ; coefficient de variation (CV) allant de 1,75% à 4,85% ; ICC allant de 0,79 à 0,86.

5 – Analyse statistique

L'ensemble des données ont été stockées sur un fichier type Excel© (Microsoft®, Etats-Unis) puis analysées à l'aide du logiciel statistique R.

Nous avons effectué le test de Shapiro-Wilk sur l'ensemble des paramètres étudiés afin de vérifier la normalité de chacun des paramètres. Suite à cela, nous avons comparé les moyennes, avec ou sans variance pondérée, de chacun des paramètres séparément entre les valeurs pré-fatigue et les valeurs post-fatigue. Pour cela, nous avons utilisé un test de Student apparié avec un seuil de significativité fixé à $p < 0,05$.

Les coefficients de corrélation (r) ont été calculés selon le modèle linéaire de Pearson.

Résultats

1– Impact de la fatigue

1.1 - RPE

Le niveau de fatigue, via l'échelle RPE de Borg, augmente fortement et significativement tout au long du protocole de fatigue. Cette augmentation progressive suit une régression linéaire avec un R^2 de 0,97. (Figure 5)

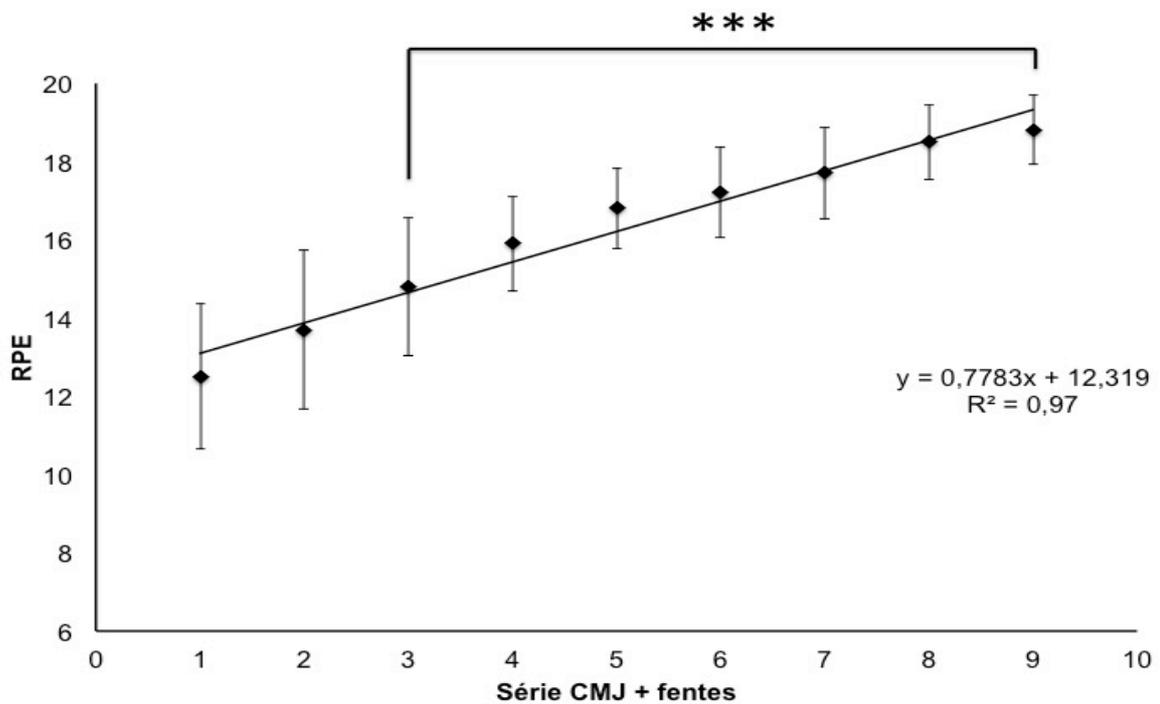


Figure 5 : Evolution de la RPE au cours du protocole de fatigue (séries de CMJ + fentes)
(*** : significativement différent de la première série, $p < 0,001$)

1.2 - Performance en CMJ

Nous constatons une diminution ($-12,9 \pm 4,8\%$) de la hauteur moyenne des sauts entre la première et la dernière série ($31,9 \pm 4,7$ cm vs $27,8 \pm 4,2$ cm). Cette diminution est progressive, modérée et devient significative ($p = 0,04$) entre la première et la dernière série. La perte de performance suit une régression logarithmique avec un R^2 de 0,78. (Figure 6)

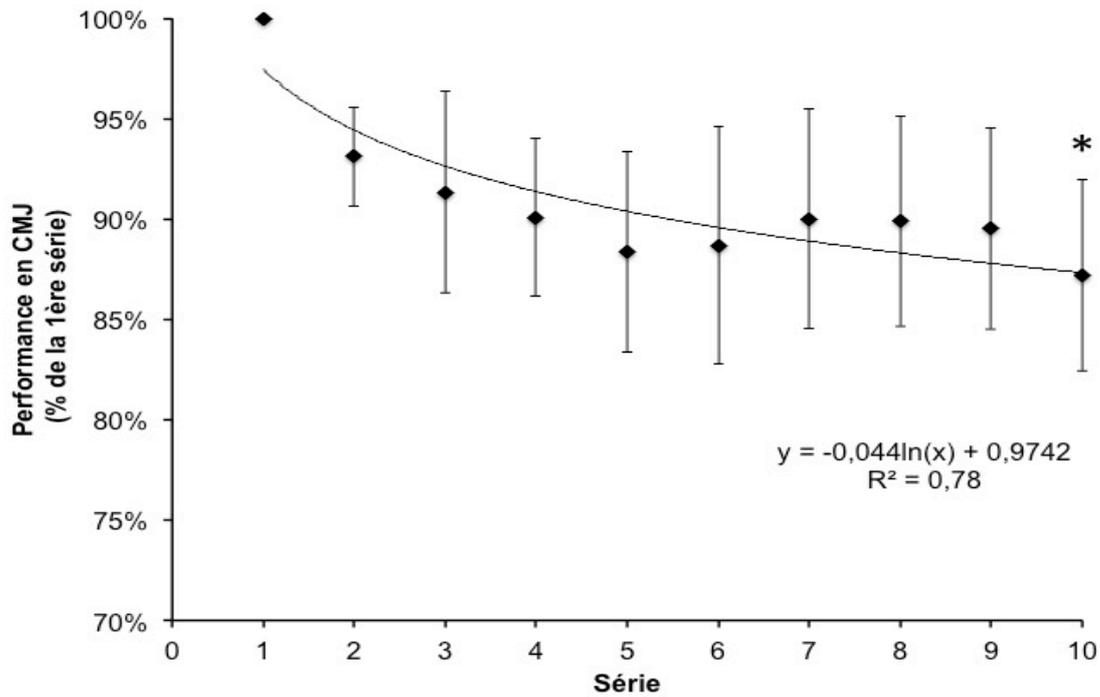


Figure 6 : Evolution de la performance en saut au cours du protocole de fatigue en fonction de la moyenne de la première série prise comme référence (* : significativement différent de la première série, $p < 0,05$)

On note une forte corrélation entre l'augmentation de la pénibilité et la diminution de la performance en CMJ ($r = -0,84$). (Figure 7)

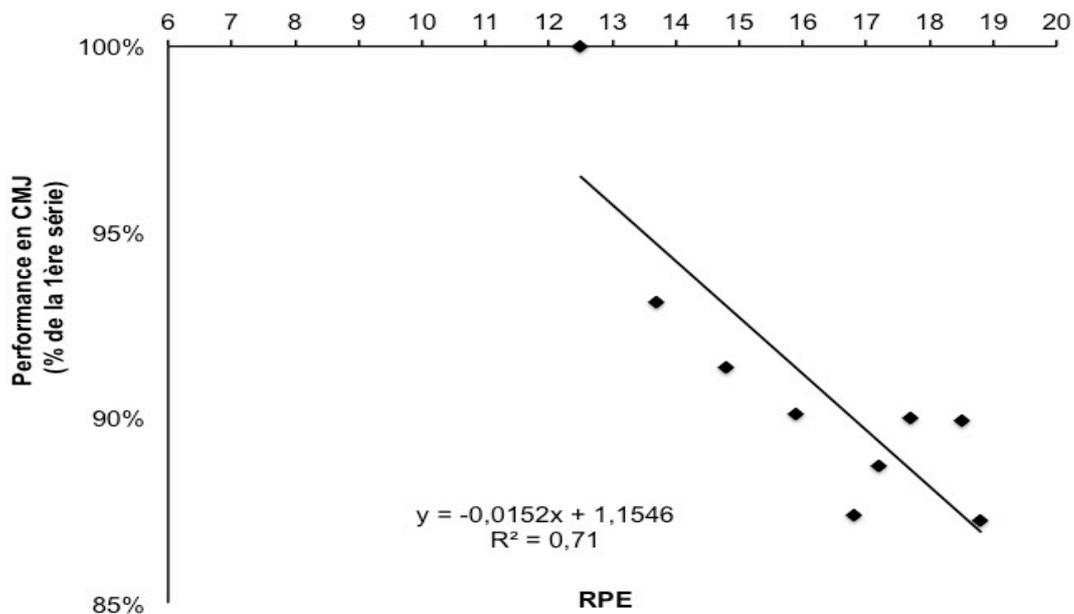


Figure 7 : Corrélation entre performance de saut en CMJ et évolution de la RPE. Le 100% correspond à la valeur moyenne de l'ensemble des sujets considérée comme référence.

2 – Paramètres de la performance en smash

2.1 - Evolution de la vitesse du volant

Les résultats montrent une diminution significative ($p < 0,01$) de $3,3 \pm 0,7\%$ de la vitesse du volant en post fatigue ($151,4 \pm 4,7$ km/h vs $146,3 \pm 4,0$ km/h). L'analyse des 10 premiers smashes pré ($151,4 \pm 5,2$ km/h) et post fatigue ($145,4 \pm 4,4$ km/h) montre une diminution plus importante que celle des 10 derniers smash pré ($151,3 \pm 4,7$ km/h) et post fatigue ($147,2 \pm 4,6$ km/h) : $-4,0\%$ vs $-2,7\%$. Ces différences restent toutefois significatives ($p < 0,001$ et $p = 0,01$) (Figure 8). On note également que les 10 premiers et les 10 derniers smashes en pré fatigue ne montrent aucune différence significative ($p = 0,91$).

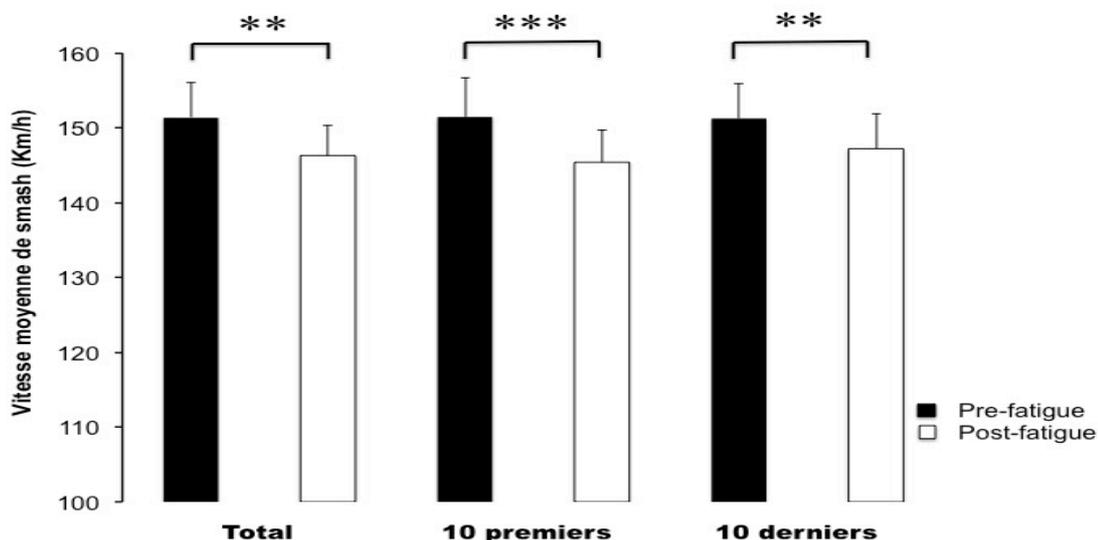


Figure 8 : Vitesse moyenne des smashes lors du test de performance avant (PRE) et après (POST) le protocole de fatigue (** : $p \leq 0,01$; *** : $p < 0,001$)

2.2 - Evolution de la précision

Tout comme la vitesse, on observe une diminution significative ($p < 0,05$) de $14,5 \pm 5,6\%$ de la précision des smashes en post-fatigue comparée aux valeurs obtenues en pré-fatigue. Ainsi, la somme obtenue passe de $27,9 \pm 5,7$ points à $23,9 \pm 4,9$ points. Cette diminution est significativement marquée ($p < 0,001$) sur les 10 premiers volants pré vs post ($-24 \pm 9,3\%$) alors qu'il n'y a aucune différence significative ($p > 0,05$) entre les 10 derniers volants ($-4 \pm 2,4\%$). (Figure 9)

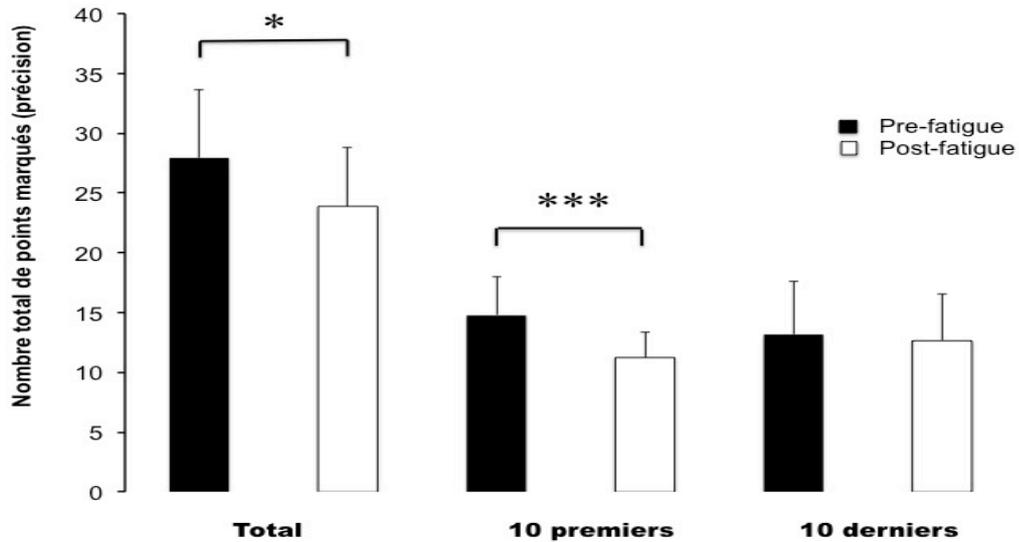


Figure 9 : Nombre total de points marqués (précision) sur le test de performance avant (PRE) et après (POST) le protocole de fatigue (* : $p < 0,05$; *** : $p < 0,001$)

2.3 - Evolution de l'indice de performance

Reliant la vitesse et la précision du volant, l'indice de performance diminue lui aussi significativement ($p < 0,01$) entre pré ($41,3 \pm 9,4$) et post fatigue ($35,9 \pm 6,9$) : $-13,2 \pm 4,5\%$. Cette diminution est significativement ($p = 0,01$) marquée sur les 10 premiers smashes entre pré ($21,3 \pm 5,5$) et post fatigue ($17,1 \pm 3,4$ soit $-20,0 \pm 5,2\%$) alors qu'elle ne l'est pas sur les 10 derniers ($20,0 \pm 7,2$ vs $18,8 \pm 5,4$ soit $-6,3 \pm 2,8\%$, $p > 0,05$). (Figure 10)

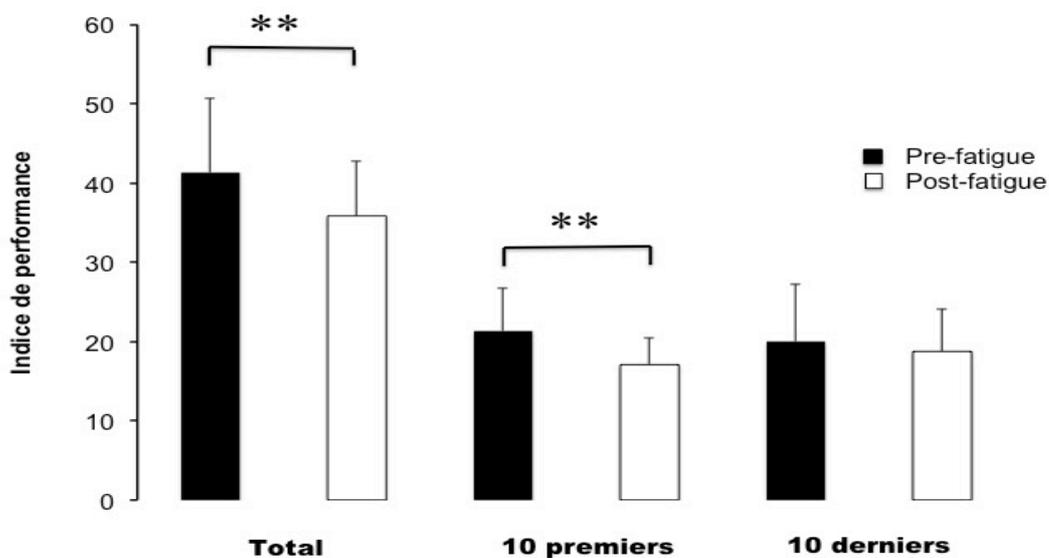


Figure 10 : Indice de performance avant (PRE) et après (POST) le protocole de fatigue. (** : $p \leq 0,001$)

2.4 - Corrélations entre les différents deltas

Si l'on s'intéresse aux corrélations entre les différents paramètres, on remarque que la variation de performance est significativement corrélée à la variation de précision ($r = 0,78$; $p < 0,001$) alors qu'elle ne l'est pas à la variation de vitesse ($r = 0,36$; $p = 0,15$). (Figure 11 et 12)

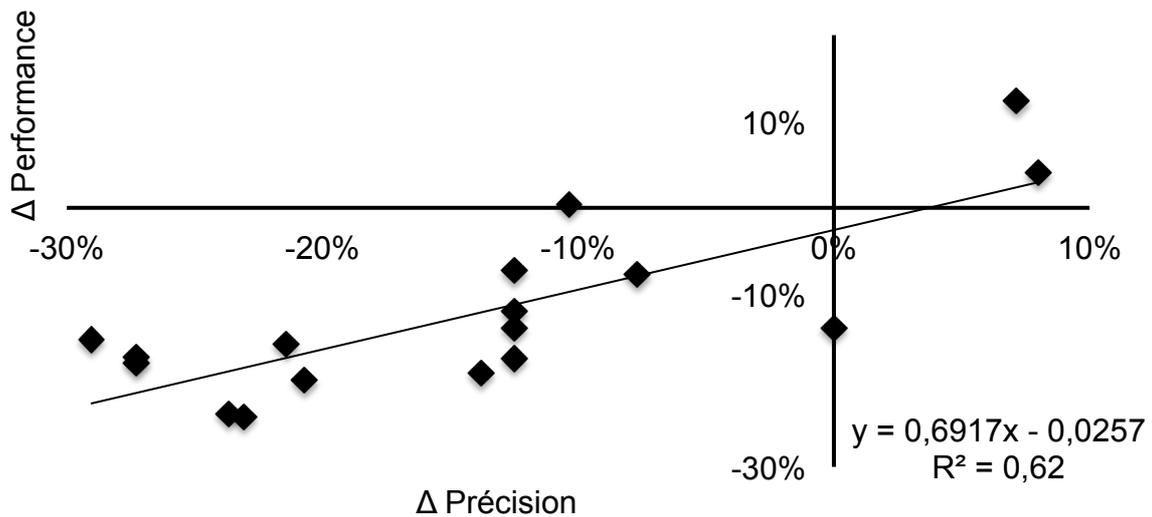


Figure 11 : Corrélation entre la différence de performance (Δ Performance) et la différence de nombre de points marqués (Δ Précision) avant et après le protocole de fatigue.

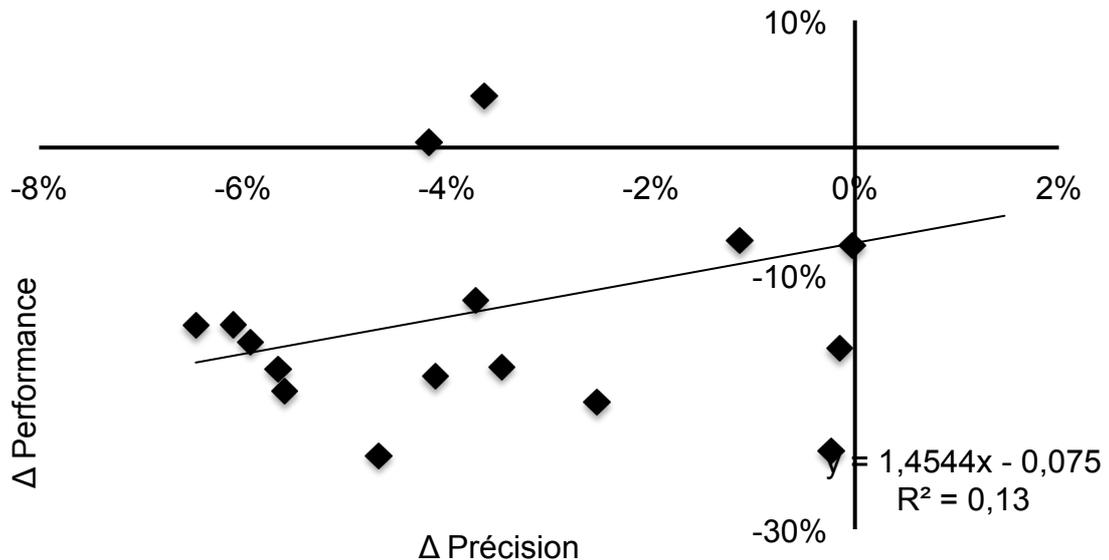


Figure 12 : Corrélation entre la différence de performance (Δ Performance) et la différence de vitesse moyenne des smashes (Δ Vitesse) avant et après le protocole de fatigue.

Discussion

La fatigue est un sujet prépondérant dans le sport et pouvoir la maîtriser peut permettre aux sportifs d'améliorer les performances voire même de changer l'issue d'un match. Cette fatigue dans les sports de raquette peut être analysée à plusieurs niveaux (musculaire, métabolique, tactique, technique,...) comme cela a pu être fait par Mendez-Villanueva et al. (2007) ou Hornery et al. (2007) dans le tennis. Nous nous sommes ici intéressé plus particulièrement à l'impact de la fatigue sur les paramètres de performance en smash chez le badiste. Nos résultats ont montré une baisse significative de la performance à l'issue d'un protocole de fatigue. L'apparition de la fatigue chez les joueurs influence directement les paramètres de vitesse et de précision de smash.

1 – Paramètres de performance du smash en pre-fatigue

Bien que notre test ait montré une bonne sensibilité pour évaluer le niveau lors de notre pré-étude, nous ne retrouvons pas des valeurs similaires pour la population étudiée ici. Ceci peut s'expliquer sur différents points. D'une part, la population testée initialement ($n = 9$) contenait uniquement des garçons alors que celle-ci inclue des filles ($n = 6$) et des garçons ($n = 11$). Ainsi, si l'on différencie les deux sexes, on s'aperçoit que la vitesse moyenne des garçons devient alors proche de celle observée initialement ($153,8 \pm 3,2$ dans la présente étude *vs* $158,1 \pm 5,5$ km/h) alors que celle des filles est largement inférieure ($146,0 \pm 3,8$ km/h). Cette différence observée est bien entendue due à une force moins importante chez les femmes (Lorson, 2013) mais aussi aux différences de cinématiques utilisées dans les deux genres. Les hommes ont des vitesses de mouvement plus importantes et utilisent beaucoup plus l'articulation de l'épaule que les femmes qui elles utilisent majoritairement l'articulation du poignet. (Salim, 2010). D'autre part, l'âge entre les deux populations observées est différente ($17 \pm 0,7$ ans *vs* $24,8 \pm 2,9$ ans). Lorson (2013) montre que les vitesses de jeté de balle sont maximales pour des âges compris entre 18 et 25 ans ce qui correspond à notre groupe de pré-étude. Le groupe testé ici correspond à des adolescents en pleine croissance et ne sont donc pas au maximum de leur capacité de force et de vitesse. Enfin, l'expertise peut aussi être un facteur de différence entre les groupes. En effet, le groupe en pré-test avait $17,0 \pm 3,1$ années de pratique alors que le groupe testé n'en possédait que $9,0 \pm 1,0$ années. On sait que l'expertise joue un rôle sur de nombreux paramètres tels que la précision et la qualité des schémas moteurs.

On note cependant que bien que les IP soient moins importants dans le groupe étudié, ceux-ci possèdent de meilleurs classements au niveau national. Le paramètre ici étudié, en l'occurrence le smash, ne constitue ainsi qu'un paramètre parmi tant d'autres. Il ne faut ainsi pas réduire la

performance globale de l'activité à ce seul paramètre. De plus, la performance en smash dépend de la balance entre vitesse et précision : théorie de Fitts (1954). Cette balance est propre à chaque joueur selon les qualités et la stratégie employée.

2 - Influence du protocole de fatigue

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'impact de la fatigue induite par un protocole sur les paramètres de la performance en smash.

Nous constatons que le protocole mis en place a induit une diminution progressive de la performance en saut ($\sim -13\%$), que l'on peut mettre sous la responsabilité de la fatigue physique, et une augmentation progressive de la pénibilité de l'effort.

Concernant la pénibilité de l'effort, on note une augmentation tout au long du protocole (voir figure 5) : $12,5 \pm 1,9$ à $18,8 \pm 0,9$. Cette augmentation a été retrouvée dans l'étude de Rota (2014) qui utilise un protocole de fatigue similaire en incluant des déplacements avec coups au tennis. La dernière valeur obtenue témoigne d'un niveau de pénibilité de l'effort très important. Cette sensation est due au niveau important de sollicitation physiologique du protocole. En effet, les joueurs enchaînaient les séries de sauts et de fentes durant environ 7 mn. Ce type d'effort n'est pas totalement écologique et ne permet pas une récupération optimale entraînant ainsi une accumulation de métabolites au niveau musculaire. Pour rappel, les efforts au badminton durent en moyenne 6 s pour 15 s de récupération (Abian, 2014). Mais lors d'efforts très intenses et répétés comme cela peut être le cas lors de match, de tels états de fatigue peuvent apparaître.

L'augmentation de la pénibilité est fortement corrélée ($r = -0,84$) à la diminution de la performance en saut. On note une diminution significative ($p = 0,04$) entre la moyenne des hauteurs de la première série et de la dernière série : $\sim -13\%$ ($31,9 \pm 4,7$ cm vs $27,8 \pm 4,2$ cm). Cette diminution de la performance vient confirmer l'accumulation de la fatigue due à une récupération incomplète au long du protocole et donc une incapacité pour les joueurs à maintenir leur performance.

Le suivi de la hauteur de saut couplé à l'évaluation de la pénibilité de l'effort par l'échelle de Borg, nous a permis d'évaluer la fatigue à laquelle les joueurs ont été contraints. Notre protocole a donc permis d'induire un niveau de fatigue suffisant lorsque les joueurs recommençaient le test de performance.

3 - Influence de la fatigue sur la performance en smash

La vitesse de smash est directement influencée par l'état de fatigue du joueur. Ainsi, on note qu'elle diminue significativement ($p < 0,01$) de 3,3% entre pre et post-fatigue. Cette diminution de vitesse est plus marquée sur les 10 premiers volants (-4%) que sur les 10 derniers (-2,7%). Les joueurs maintiennent quasiment leur vitesse de smash tout au long du test dans les deux conditions. L'augmentation de la vitesse lors des dix derniers smashes en post-fatigue peut traduire une récupération physique du joueur. En effet, le test de performance est réalisé de façon à créer le moins de fatigue possible. Ainsi, le joueur passe d'un état de fatigue très important juste après le protocole de fatigue à un test d'intensité moyenne lui permettant de récupérer en partie et donc d'améliorer ses performances de vitesse sur la fin du test. Ces résultats sont à mettre en relation avec ceux trouvés par Rota et al. (2014) lors d'une expérimentation similaire au tennis. Ils avaient alors trouvé une diminution significative de 4,5% de la vitesse au service en condition de fatigue. Ils trouvaient également une diminution de force maximale volontaire (MVC) sur certains muscles du bras et de l'avant-bras (Grand Pectoral, Fléchisseur Radial du Carpe) en rapport avec la biomécanique gestuelle du service.

Concernant la précision, la fatigue a aussi un impact significatif ($p = 0,03$) sur la baisse de performance (-14,5%). Cette baisse est beaucoup plus prononcée lors des 10 premiers volants (-24%) que lors des 10 derniers volants (-4%). Tout comme la vitesse, on observe une amélioration de la performance sur les 10 derniers smashes en post-fatigue. Ceci conforte le fait que les joueurs récupèrent de leur état de fatigue durant le test de performance. En effet, celui-ci implique un coup toutes les 3 secondes alors que la littérature relate une fréquence de coup d'environ 1 par seconde (Phomsoupha et Laffaye, 2015). La baisse importante de la précision lors des dix premiers volants est quand à elle due aux perturbations physiques et centrales induites par le protocole de fatigue. Celui-ci étant perçu comme très éprouvant. De nombreux tests similaires dans d'autres sports (Lyons, 2013) ont été effectués pour déterminer l'impact de la fatigue sur la précision. Rucpic (2015) observe lui aussi qu'en état de fatigue le joueur diminue sa hauteur de saut lors de son shoot au basket avec comme conséquence des perturbations cinématiques et une diminution de la précision. Ici, nous n'avons pas mesuré la hauteur durant le test de performance mais lors du protocole de fatigue. La hauteur en elle-même n'est pas corrélée à la vitesse de smash selon Rambely et al. (2008) mais il serait intéressant de voir s'il existe une corrélation entre variation de la hauteur de saut et variation de la vitesse et/ou de la précision. Davey et al. (2002) trouvent des résultats similaires quand à l'effet de la fatigue aigue sur la précision au tennis. Celle-ci diminue de 69% au cours du protocole de fatigue (Loughborough Intermittent Tennis Test) induisant une diminution de la précision de 30% au service lors du post test de performance.

A l'inverse de nos résultats, Royal et al. (2006) montrent au water-polo, qu'avec la fatigue

importante, les capacités techniques sont perturbées mais les athlètes gardent une précision et des vitesses de tir constantes. Aune et al. (2008) trouvent également des résultats similaires chez des experts en tennis de table contrairement aux novices. Il serait intéressant de réaliser le protocole avec notre population de pré-étude pour évaluer l'effet de l'expertise sur les effets de la fatigue sur la performance en smash comme le démontre Aune et al. (2008) et ainsi valider ces résultats chez les badistes.

Enfin l'indice de performance, qui relie les deux paramètres mesurés lors des smash, subit lui aussi l'effet de la fatigue. Ainsi, on observe une diminution significative ($p < 0,01$) entre pre-fatigue et post-fatigue ($41,3 \pm 9,4$ vs $35,9 \pm 6,9$). Cette diminution semble logique étant donné les diminutions significatives des deux paramètres. Tout comme la précision, cette diminution est significativement ($p = 0,01$) plus importante (-20%) sur les 10 premiers volants alors que l'on n'observe aucune différence significative entre les 10 derniers volants pré et post-fatigue. On peut ici s'intéresser aux différences observées selon les genres. On s'aperçoit que le delta de performance pré et post-fatigue varie énormément selon le sexe. Ainsi, les garçons ont une diminution de 14,7% alors que les filles seulement de 8%. Cette forte différence se situe au niveau du delta de précision (-18,7% chez les garçons contre -5,6% chez les filles) alors que le delta de vitesse est quasi égal (-3,4% vs -3,1%). La fatigue semble donc impacter plus fortement la performance chez les garçons. Cette différence entre genre est une tendance étant donné que le nombre de joueurs et joueuses n'étant pas le même il est difficile de conclure sur le sujet. De plus, le test de performance oblige les garçons à sauter alors que ce n'est pas le cas pour les filles. Ainsi, la récupération pourrait être moins importante chez les garçons qu'elle ne le serait chez les filles.

Si l'on analyse plus particulièrement les deltas, ou variations, entre les 3 paramètres, on s'aperçoit que le delta de la performance est significativement corrélé au delta de la précision ($r = 0,78$) alors qu'il l'est beaucoup moins par rapport au delta de la vitesse ($r = 0,36$). Ceci peut s'expliquer par le fait que le delta de la vitesse en pré et post-fatigue est faible alors que celui de la précision est plus important. Au vu des résultats, on note une plus grande « affinité » de l'indice pour la précision. En effet, si l'on veut avoir un meilleur indice, il est plus bénéfique d'avoir un volant bien voire très bien placé avec une vitesse moins importante le long de la ligne plutôt qu'un volant rapide au centre du terrain. Cette affinité traduit des stratégies plus efficaces en match. Mieux vaut un volant long de ligne pour obliger l'adversaire à se déplacer même si celui n'est pas très rapide plutôt qu'un smash rapide sur le joueur au risque de se faire contrer.

Ces modifications des paramètres du smash peuvent être attribués à l'état de fatigue physique important qui modifie le comportement et altère le fonctionnement neuro-musculaire. Outre la fatigue physique périphérique, une fatigue centrale pourrait intervenir de part la difficulté de la tâche. La diminution de performance sur tous les paramètres observés en post protocole de fatigue

sont des conséquences de cet état. Ainsi, les joueurs ne sont plus capables mentalement d'apprécier correctement les cibles ou d'ajuster leurs frappes par un mauvais contrôle neuro-musculaire (ou pattern de coordination). Dans cet état, le joueur choisit une stratégie afin d'être le plus efficace possible. Ici, on s'aperçoit que les joueurs ont essayé de garder une vitesse importante au détriment de la précision. Cette stratégie est surtout vraie sur les 10 premiers smashes post-fatigue. En effet, sur les 10 derniers smashes, les joueurs retrouvent une précision équivalente au test effectué en pré-fatigue. Cette évolution peut témoigner soit d'une prise de conscience plus importante et ainsi une concentration accrue sur les cibles à atteindre, soit sur une récupération possible lors du test puisque celui-ci est considéré comme un effort d'intensité moyenne. De plus, et comme le retrouve Ferrauti et al. (2001) en tennis, la qualité des frappes est corrélée à la durée de récupération. Lors du protocole de fatigue, le joueur enchaîne sans aucun temps mort alors que le test de performance offre la possibilité au joueur de récupérer pendant le test.

On peut cependant se poser la question de l'effet du protocole de fatigue sur les filles. En effet, nous avons vu précédemment que celles-ci n'avaient une diminution de la précision seulement que de 5,6% comparée à la diminution importante chez les garçons de 18,7% pour une diminution de la vitesse du volant quasi équivalente (-3,1% vs -3,4%). Pourtant, on note une diminution de la hauteur moyenne des sauts chez elles entre la première et la dernière série de 9,7% couplé à une augmentation de la RPE ($13,0 \pm 1,4$ à $18,6 \pm 1,0$) ce qui montre l'impact non négligeable du protocole. Ces observations sont en contradictions avec ce qu'avait pu trouver Lyons et al (2013). En effet, ils n'avaient montré aucune différence dans la précision au tennis entre les genres dans des conditions de fatigue importante.

4 - Analyse critique et perspectives

Le protocole mis en place avait pour but d'être le plus fiable et reproductible possible mais aussi le plus écologique et accessible pour les personnes de terrain. Le but étant de pouvoir évaluer rapidement un joueur sur un paramètre de la performance en badminton et ainsi pouvoir suivre son évolution.

Au niveau du test de performance en smash, celui-ci est constitué de 20 smashes enchaînés dans une position fixe en plein milieu du terrain. Ceci est un paramètre limitant car c'est une situation qui n'est jamais rencontrée en match. Il serait intéressant d'inclure des déplacements avec un autre type de coup (fente avec contre-amorti au filet), ou bien des smashes situés aléatoirement sur la ligne de fond de court. L'utilisation du lanceur de volant BKL offre d'autant plus la possibilité d'ajouter plusieurs axes de lancements. La mesure de la vitesse du volant au radar STALKER, bien que sensible au niveau d'expertise du joueur, semble sous-estimer les valeurs de vitesse. En effet, les

valeurs mesurées sont largement inférieures aux valeurs retrouvées lors de matchs internationaux. Lors des compétitions internationales, les vitesses de volants sont prises à l'aide de plusieurs caméras à Haute fréquence (entre 1000 et 2000 Hz). Ce matériel onéreux n'était pas à notre disposition pour réaliser nos mesures de vitesse. Néanmoins, il serait intéressant de comparer les valeurs de vitesses obtenues à l'aide du radar et celles obtenues à l'aide d'une caméra haute fréquence afin d'établir une corrélation. Concernant le nombre de point obtenu, nous avons remarqué lors de l'état de fatigue que les fautes relevées étaient plus grossières qu'en état de non fatigue. Il serait intéressant de pouvoir établir une relation entre distance entre zones cibles et volants en pré et en post-fatigue.

Au niveau du protocole de fatigue, la critique majeure est que la fatigue générée est une fatigue très métabolique en raison de la durée de récupération faible entre les séries. Ce type de fatigue n'est pas totalement représentatif de la fatigue générée en situation de match puisque des pauses sont observées environ toutes les 10 s. Nous avons pris ce parti afin de limiter en durée le protocole de fatigue et de le standardiser au maximum. La fatigue périphérique importante induit tout de même des perturbations au niveau de la commande motrice et crée une fatigue centrale en lien avec le feedback des muscles afférents en diminuant la capacité de contraction de ceux-ci (Amann, 2011). D'autre part, ce test inclus des sauts en CMJ et nous avons bien vu qu'il n'était pas forcément adapté aux filles. En effet, celles-ci utilisent rarement les sauts en matchs et lors des smashes. Peut être faudrait-il plus axer le protocole sur les fentes avant ?

Bien que des limites apparaissent, elles ne remettent pas en cause les résultats obtenus dans cette étude. En effet, notre étude a permis de détecter les stratégies adoptées en conditions de fatigue à savoir le maintien ou non de la vitesse afin de maintenir une précision efficace. De ce fait, il serait intéressant de modifier quelques paramètres vus précédemment afin de le rendre plus efficace.

5 - Applications pratiques

La fatigue est un processus complexe, multifactoriel et unique à chaque situation (Noakes, 2000). Contrôler ou du moins essayer de minimiser ses effets peut être intéressant dans la recherche de la performance en badminton. Ainsi, la gestion de la fatigue lors de points intenses peut permettre de gagner un match. Pour cela, un travail spécifique en entraînement suite à une tâche fatigante spécifique ou non peut être intéressant. Le but étant de mobiliser les meilleures stratégies de lutte contre la fatigue spécifique à chaque joueur afin de les mobiliser en match. Ces stratégies peuvent être aussi bien physiques, tactiques, mentales et/ou techniques. Les résultats obtenus sur les différents paramètres en post-fatigue incitent un travail plus axé sur la précision en état de fatigue. En effet, pouvoir maintenir une précision efficace tout au long d'un match et en condition de fatigue peut permettre d'éviter un trop grand nombre de fautes directes qui est un facteur déterminant de la

victoire ou non (Chen, 2011).

Au niveau physique, un travail combiné et planifié en capacité lactique et aérobie peut aussi être intéressant. Le travail en anaérobie lactique va permettre au joueur de mieux supporter l'acidose induite par l'exercice intense alors qu'au contraire un travail d'aérobie en amont aura pour but de mieux tamponner cette acidité et de mieux pouvoir récupérer des efforts brefs et intenses (Gharbi et al., 2015 ; Faezi et al., 2013). Au niveau mental, un travail de recentrage de la tâche et des priorités type Mindfulness (Bell, 2015) pourra être fait en dehors ou à l'intérieur des séances.

Enfin, un travail technique spécifique en condition de fatigue peut être entrepris afin de limiter les pertes de contrôle neuro-moteur et ainsi renforcer les patterns de coordination. Attention toutefois à ce travail car le travail en état de fatigue peut aussi être délétère et vite emmener le joueur vers la blessure par la répétition de mouvements non efficaces.

Conclusion

Ce travail a participé à une meilleure connaissance de l'impact de la fatigue sur les paramètres de performance en smash chez le badiste. En effet, nous avons cherché à mieux comprendre l'impact de cette fatigue sur la vitesse du volant et la précision lors de smashes suite à un protocole écologique induisant une fatigue importante au niveau périphérique (diminution performance en CMJ de 12,9%).

Nous avons observé une diminution significative de 13,2% de l'indice de performance entre les smashes réalisés en pré-fatigue et en post-fatigue. Cette diminution est due d'une part à une perte de vitesse faible (-3,3%) mais significative ($p < 0,01$) et d'autre part à une diminution (-14,5%) significative ($p < 0,05$) de la précision. Nous avons également vu que le delta de performance entre pré et post fatigue était significativement ($p < 0,001$) corrélé ($r = 0,78$) au delta de la précision.

Il serait maintenant intéressant d'approfondir ce travail, en étudiant par exemple l'effet d'un programme de préparation physique, ou encore l'effet d'un programme mental type Mindfulness sur l'évolution des paramètres de la performance en smash suite au protocole de fatigue. Ceci permettrait ainsi d'inclure ces travaux dans l'entraînement afin d'optimiser les phases de fatigue et limiter les effets lors de matchs ou compétitions.

Bibliographie :

- Abian, P., Castanedo, A., Feng, X.Q., et al. (2014). Notational comparison of men's singles badminton matches between Olympic Games in Beijing and London. *Int J Perform Anal Sport*, 14:42–53.
- Abián, P., Coso, J. D., Salinero, J. J., Gallo-Salazar, C., Areces, F., Ruiz-Vicente, D., ... & Abián-Vicén, J. (2015). Muscle damage produced during a simulated badminton match in competitive male players. *Research in Sports Medicine*, 1-14.
- Abian-Vicen, J., Del Coso, J., Gonzalez-Millan C., et al. (2012). Analysis of dehydration and strength in elite badminton players. *PLoS One*, 7(5):1–8.
- Alcock, A., & Cable, N. T. (2009). A comparison of singles and doubles badminton: heart rate response, player profiles and game characteristics. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 9(2), 228-237.
- Amann, M. (2011). Central and peripheral fatigue: interaction during cycling exercise in humans. *Med Sci Sports Exerc*, 43(11), 2039-45.
- Aune, T. K., Ingvaldsen, R. P., & Ettema, G. J. C. (2008). Effect of physical fatigue on motor control at different skill levels. *Perceptual and motor skills*, 106(2), 371-386.
- Bell, K. A. (2015). *Mindfulness Skills Training for Elite Adolescent Athletes*. Doctoral dissertation, Arts & Social Sciences: Psychology, Simon Fraser University, Canada.
- Bishop, D. (2001). Evaluation of the Accusport® lactate analyser. *International journal of sports medicine*, 22(7), 525-530.
- Blomqvist, M., Luhtanen, P., & Laakso 1, L. (2001). Comparison of two types of instruction in badminton. *European Journal of Physical Education*, 6(2), 139-155.
- Cabello, D., Padial, P., Lees, A., & Rivas, F. (2004). Temporal and Physiological Characteristics of Elite Women's and Men's Singles Badminton. *International Journal of Applied Sports Sciences*, 16(2).
- Chen, H. L., & Chen, W. T. C. (2008). Temporal structure comparison of the new and conventional scoring systems for men's badminton singles in Taiwan. *Journal of Exercise Science and Fitness*, 6(1), 34-43.
- Chen, H. L., & Chen, W. T. C. (2011). Physiological and Notational Comparison of New and Old Scoring Systems of Singles Matches in Men's Badminton. *Asian Journal of Physical Education & Recreation*, 17(1).
- Cronin, J., McNair, P., & Marshall, R. (2003). Lunge performance and its determinants. *Journal of Sports Sciences*, 21(1), 49-57.

- Davey, P. R., Thorpe, R. D., & Williams, C. (2002). Fatigue decreases skilled tennis performance. *Journal of sports sciences*, 20(4), 311-318.
- Faezi, G., Hashemi, M. A., Nobahar, S. R., & Akbarpour, M. (2013). Investigate the effect changes of volume and intensity training on level salivary cortisol in elite girl badminton players. *European Journal of Experimental Biology*, 3(5), 491-496.
- Faude, O. & al. (2007). Physiological characteristics of badminton match play. *Eur J of Appl Physiol*, 100(4) : 479-485.
- Ferrauti, A., Pluim, B. M., & Weber, K. (2001). The effect of recovery duration on running speed and stroke quality during intermittent training drills in elite tennis players. *Journal of sports sciences*, 19(4), 235-242.
- Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of experimental psychology*, 47(6), 381.
- Fuchs, M., Faude, O., Wegmann, M., & Meyer, T. (2014). Critical evaluation of a badminton-specific endurance test. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 9(2).
- Gharbi, Z., Dardouri, W., Haj-Sassi, R., Chamari, K., & Souissi, N. (2015). Aerobic and anaerobic determinants of repeated sprint ability in team sports athletes. *Biology of sport*, 32(3), 207.
- Girard, O., Lattier, G., Maffiuletti, N. A., Micallef, J. P., & Millet, G. P. (2008). Neuromuscular fatigue during a prolonged intermittent exercise: application to tennis. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18(6), 1038-1046.
- Gowitzke, B.A., & Waddell, D.B. (1979). Technique of badminton stroke production. *Science in Racquet Sports*, 17-41.
- Guillain, J. Y. (2002). Histoire du Badminton; du jeu du volant au sport Olympique (History of badminton, the game of shuttlecock, at the Olympic Games). *Editions Publibook, Paris, France*.
- Heller, J. (2010). Physiological profiles of elite badminton players: aspects of age and gender. *Br J Sports Med*, 44(Suppl I), 17.
- Hornery, D. J., Farrow, D., Mujika, I., & Young, W. (2007). Fatigue in tennis. *Sports Medicine*, 37(3), 199-212.
- Hughes, P. K., Bhundell, N. L., & Waken, J. M. (1993). Visual and psychomotor performance of elite, intermediate and novice table tennis competitors. *Clinical and Experimental Optometry*, 76(2), 51-60.
- Huys, R., Smeeton, N. J., Hodges, N. J., Beek, P. J., & Wiliams, A. M. (2008). On the dynamic information underlying visual anticipation skill. *Perception & Psychophysics*, 70(7), 1217-1234.

- Jeyaraman, R., District, E., & Nadu, T. (2012). Prediction of playing ability in badminton from selected anthropometrical physical and physiological characteristics among inter collegiate players. *Int J Adv Innov Res*, 2(3), 11.
- Jönhagen, S., Ackermann, P., & Saartok, T. (2009). Forward lunge: a training study of eccentric exercises of the lower limbs. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(3), 972-978.
- Kuntze, G., Mansfield, N., & Sellers, W. (2010). A biomechanical analysis of common lunge tasks in badminton. *Journal of sports sciences*, 28(2), 183-191.
- Kwan, M., Cheng, C. L., Tang, W. T., & Rasmussen, J. (2010). Measurement of badminton racket deflection during a stroke. *Sports engineering*, 12(3), 143-153.
- Lees, A. (2003). Science and the major racket sports: a review. *Journal of sports sciences*, 21(9), 707-732.
- Le Mansec, Y., Dorel, S., Nordez, A., & Jubeau, M. (2015). Sensitivity and Reliability of a Specific Test of Stroke Performance in Table Tennis. *International journal of sports physiology and performance*.
- Lin, R. Z. (2014). *Neuromuscular fatigue following a singles badminton match*. Thèse de Doctorat, School of Exercise and Health Science, Faculty of Health, Engineering and Science, Edith Cowan University, Australie.
- Lorson, K. M., Stodden, D. F., Langendorfer, S. J., & Goodway, J. D. (2013). Age and gender differences in adolescent and adult overarm throwing. *Research quarterly for exercise and sport*, 84(2), 239-244.
- Lyons, M., Al Nakeeb, Y., Hankey, J., & Nevill, A. (2013). The effect of moderate and high-intensity fatigue on groundstroke accuracy in expert and non-expert tennis players.
- Manrique, D. C., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2003). Analysis of the characteristics of competitive badminton. *British journal of sports medicine*, 37(1), 62-66.
- Mendez-Villanueva, A., Fernandez-Fernandez, J., Bishop, D., Fernandez-Garcia, B., & Terrados, N. (2007). Activity patterns, blood lactate concentrations and ratings of perceived exertion during a professional singles tennis tournament. *British journal of sports medicine*, 41(5), 296-300.
- Noakes, T. D. (2000). Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 10(3), 123-145.
- Ooi, C.H & al. (2009). Physiological characteristics of elite and sub-elite badminton players. *J of Sports Sciences*, 27(14) : 1591-1599.
- Oswald, E. (2006). A computer-aided comparison of the playing pattern of the world's top male players and Austrian top male players in single badminton. In: *IV Congreso Mundial de Ciencia*

y *Deportes de Raqueta*. Madrid, p. 1–10.

- Phomsoupha, M., & Laffaye, G. (2014). Shuttlecock velocity during a smash stroke in badminton evolves linearly with skill level. *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering*, 17(sup1), 140-141.
- Phomsoupha, M., Laffaye, G. (2015). The science of badminton: game characteristics, anthropometry, physiology, visual fitness and biomechanics. *Sports Med* ; 45: 473–495.
- Rambely, A. S., Abas, W. A. B. W., & Yusof, M. S. (2008). The analysis of the jumping smash in the game of badminton. In *ISBS-Conference Proceedings Archive* (Vol. 1, No. 1).
- Rambely, A. S., & Wan Abas, W. A. B. (2008). Contact time and take-off speed relationship in determining height of jump in jumping badminton smash. In *26th International Conference of Biomechanics in Sports. Seoul* (pp. 660-3).
- Raman, D., & Nageswaran, A. S. (2013). Effect of game-specific strength training on selected physiological variables among badminton players. *SSB*, 1(57.563), 57-563.
- Reid, M., & Duffield, R. (2014). The development of fatigue during match-play tennis. *British journal of sports medicine*, 48(Suppl 1), i7-i11.
- Rota, S., Morel, B., Saboul, D., Rogowski, I., & Hautier, C. (2014). Influence of fatigue on upper limb muscle activity and performance in tennis. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 24(1), 90-97.
- Royal, K. A., Farrow, D., Mujika, I., Halson, S. L., Pyne, D., & Abernethy, B. (2006). The effects of fatigue on decision making and shooting skill performance in water polo players. *Journal of Sports Sciences*, 24(8), 807-815.
- Rupčić, T., Knjaz, D., Baković, M., Devrnja, A., & Matković, B. R. (2015). Impact of fatigue on accuracy and changes in certain kinematic parameters during shooting in basketball. *Hrvatski športskomedicinski vjesnik*, 30(1), 15-20.
- Sakurai, S., & Ohtsuki, T. (2000). Muscle activity and accuracy of performance of the smash stroke in badminton with reference to skill and practice. *Journal of Sports Sciences*, 18(11), 901-914.
- Salim, M. S., Lim, H. N., Salim, M. S. M., & Baharuddin, M. Y. (2010, November). Motion analysis of arm movement during badminton smash. In *Biomedical Engineering and Sciences (IECBES), 2010 IEEE EMBS Conference on* (pp. 111-114). IEEE.
- Triolet, C., Benguigui, N., Le Runigo, C., & Williams, A. M. (2013). Quantifying the nature of anticipation in professional tennis. *Journal of Sports Sciences*, 31(8), 820-830.
- Vergauwen, L., Spaepen, A. J., Lefevre, J., & Hespel, P. (1998). Evaluation of stroke performance in tennis. *Medicine and science in sports and exercise*, 30(8), 1281-1288.

- Vu Huynh, M., & Bedford, A. (2011). An Analysis of the Skills Acquisition Trainer for Badminton Program: Exploring the Effectiveness of Visual Based Training in Sport. *International Journal of Computer Science in Sport*, 10(2).
- Williams, A. M., Ford, P. R., Eccles, D. W., & Ward, P. (2011). Perceptual-cognitive expertise in sport and its acquisition: Implications for applied cognitive psychology. *Applied Cognitive Psychology*, 25(3), 432-442.
- Williams, C. & Ratel, S. (2009). Human muscle fatigue. *Ed : C Williams et S Ratel*
- Wonisch, M., Hofmann, P., Schwabberger, G., Von Duvillard, S. P., & Klein, W. (2003). Validation of a field test for the non-invasive determination of badminton specific aerobic performance. *British journal of sports medicine*, 37(2), 115-118.
- Zekan, L. P., & Ciliga, D. (2002). Multishuttle training in badminton. In *3rd International Scientific Conference, «Kinesiology ; New Perspectives»*, Faculty of Kinesiology, University of Zagreb, Croatia.

ANNEXES

Table des annexes

Annexe 1 : Données joueurs

Annexe 2 : Feuille de recueil de données

Annexe 3 : Validation sensibilité protocole pré-étude

Annexe 4 : Comparaison pre-étude / étude

Annexe 5 : Evolutions individuelles des différents paramètres de performance du smash avec la fatigue

Annexe 6 : Matériel et méthode

Annexe 7 : Corrélation vidéo / examinateur

ANNEXE N°1

Données joueurs

Nombre	Pôle	Sujet	Age	Taille (m)	Poids (kg)	Main	Sexe	Années de pratique	Heures d'entr/sem	Catégorie	Classement	Meilleur rang national
10	BORDEAUX	Go.	18	1,93	80	Droite	H	9	15	Junior	N1/N2/N2	69
	BORDEAUX	Fa.	18	1,76	67	Droite	F	9	15	Sénior	N1/N1/N1	19
	BORDEAUX	Fe.	16	1,75	60	Gauche	F	7	15	Junior	N1/N1/N2	34
	BORDEAUX	Lam.	16	1,63	65	Droite	F	8	18	Junior	N1/N1/N2	25
	BORDEAUX	H.	17	1,67	62	Droite	F	10	17	Junior	N1/N1/N1	26
	BORDEAUX	M.	18	1,8	68	Droite	H	10	18	Sénior	N1/N1/N2	19
	BORDEAUX	De.	17	1,71	59	Droite	F	11	10,5	Junior	N1/N1/N1	14
	BORDEAUX	Gi.	17	1,86	74	Droite	H	10	15	Junior	N1/N1/N1	12
	BORDEAUX	Lap.	17	1,85	75	Gauche	H	8	17	Junior	N1/N1/N1	38
	BORDEAUX	Dun.	18	1,7	73	Droite	H	10	14	Sénior	N2/N1/N1	21
7	STRASBOURG	Rod.	17	1,79	69	Droite	H	9	17	Junior	N1/N1/N2	45
	STRASBOURG	C.	16	1,88	59	Droite	H	9	16	Junior	N2/N1/N2	60
	STRASBOURG	A.	16	1,83	67	Gauche	H	9	16	Junior	N2/N2/N2	66
	STRASBOURG	Duc.	17	1,82	70	Droite	H	10	15	Junior	N1/N1/N2	53
	STRASBOURG	B.	18	1,72	65	Droite	H	10	15	Junior	N1/N1/N1	27
	STRASBOURG	Ros.	16	1,77	70	Droite	H	8,5	15	Junior	N1/N1/N2	35
	STRASBOURG	N.	18	1,62	57	Droite	F	8	15	Sénior	N1/N1/N2	20
Moyenne			17,1	1,8	67,1			9,1	15,5			
Ecart-type			0,8	0,1	6,4			1,0	1,8			
Total						14 Droitiers	11 H				13 Juniors	
						3 Gauchers	6 F				4 Séniors	

ANNEXE N°2

Feuille recueil des données

INFLUENCE DE LA FATIGUE SUR LA PERFORMANCE D'UN SMASH

DATE :	SEXE :	ANNEE DE PRATIQUE :
NOM :	PRENOM :	AGE :
CLASSEMENT :	NOMBRE D'HEURE DE PRATIQUE (hebd) :	
POIDS :	TAILLE :	
STRASBOURG/BORDEAUX	DROITIER/GAUCHER	

TEST PRE-FATIGUE		TEST POST-FATIGUE		TEST FATIGUE (Opto Jump) Moyennes	RPE
Vitesse	Précision	Vitesse	Précision	1 ^{ère} série	1 ^{ère} série
				2 ^{ième} série	2 ^{ième} série
				3 ^{ième} série	3 ^{ième} série
				4 ^{ième} série	4 ^{ième} série
				5 ^{ième} série	5 ^{ième} série
				6 ^{ième} série	6 ^{ième} série
				7 ^{ième} série	7 ^{ième} série
				8 ^{ième} série	8 ^{ième} série
				9 ^{ième} série	9 ^{ième} série
				10 ^{ième} série	10 ^{ième} série

N° enregis :

N° enregis :

ANNEXE N°3

Validation sensibilité protocole pré-étude

Variables dépendantes	Répétabilité (reproduction intra-session)						Reproductibilité (reproduction inter-session)					
	n	Moyenne ± SD		ICC	CV	SEM	n	Moyenne ± SD		ICC	CV	SEM
		E1	E2					E1	E3			
Elite	9						9					
Vitesse volant (km.h ⁻¹)		158,1 ± 5,5	159 ± 6,3	0,86	1,75	2,91		158,1 ± 5,5	159,8 ± 6,9	0,82	2,45	4,11
Précision (/60)		33,1 ± 2,5	32,2 ± 1,3	0,81	4,81	1,82		33,1 ± 2,5	32,7 ± 2,6	0,8	3,85	1,7
IP		52,38 ± 4,64	51,18 ± 1,55	0,79	4,85	2,95		52,38 ± 4,64	52,31 ± 5,56	0,9	4,72	3,43
Régionaux	10						8					
Vitesse volant (km.h ⁻¹)		136,4 ± 4	138,5 ± 5	0,86	1,59	1,91		136,4 ± 3,4	138,4 ± 4,2	0,8	2,28	4,32
Précision (/60)		26,1 ± 2,4	25,6 ± 1,2	0,93	6,29	1,77		25,5 ± 2,3	24,8 ± 3,2	0,62	7,87	2,16
IP		35,62 ± 3,68	35,48 ± 2,35	0,84	5,95	2,35		34,81 ± 3,49	34,3 ± 4,44	0,84	7,74	3,26
Départementaux	9						6					
Vitesse volant (km.h ⁻¹)		121 ± 4,2	123,3 ± 4,8	0,82	2,12	2,18		122,8 ± 3,8	123,8 ± 4,9	0,76	2,8	3,84
Précision (/60)		21,3 ± 1,7	21,7 ± 1,8	0,76	8,63	2		20,7 ± 1,8	23,7 ± 1,0	0,72	9,71	1,1
IP		25,78 ± 1,94	26,74 ± 3,74	0,77	10,06	2,83		25,38 ± 2,28	29,3 ± 2	0,63	10,22	1,51
Non pratiquants	10						10					
Vitesse volant (km.h ⁻¹)		101,7 ± 5,3	102,1 ± 6,2	0,78	2,38	2,99		101,7 ± 5,3	102,8 ± 9,2	0,63	4,04	4,92
Précision (/60)		18,4 ± 3	18,6 ± 3,4	0,42	12,23	2,53		18,4 ± 3	16,5 ± 3,1	0,38	14,06	3,95
IP		18,71 ± 3,06	19,07 ± 4,01	0,41	14	2,84		18,71 ± 3,06	17,96 ± 3,31	0,39	12,2	2,57

ANNEXE N°4

Comparaison pré-étude / étude

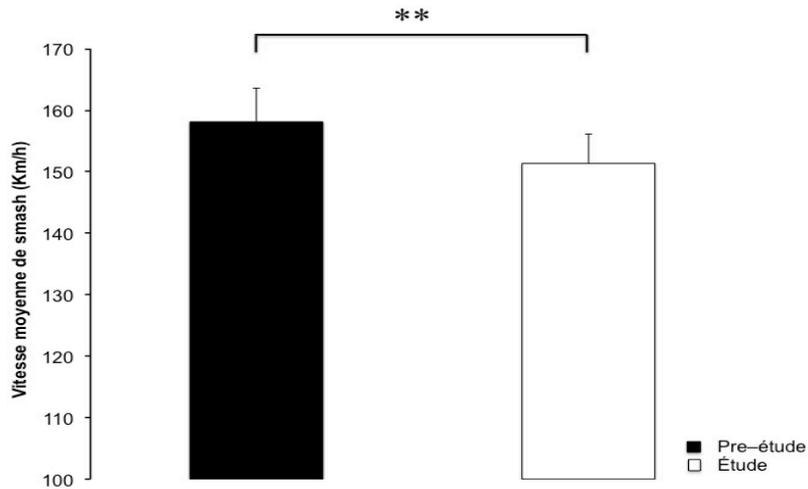


Figure 1 : Comparaison de la vitesse moyenne des smashes entre notre pré-étude chez les joueurs de niveau National et l'étude en condition de non fatigue (** : $p \leq 0,01$)

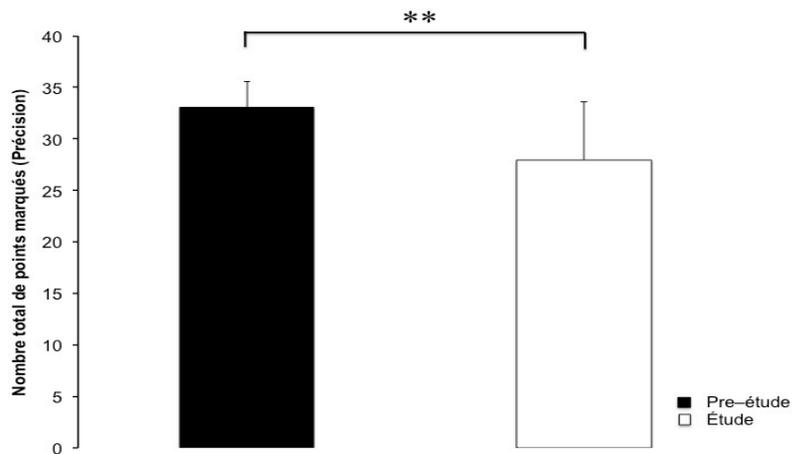


Figure 2 : Comparaison du nombre de points marqués durant la pré-étude chez les joueurs de niveau National et l'étude en condition de non fatigue. (** : $p \leq 0,01$)

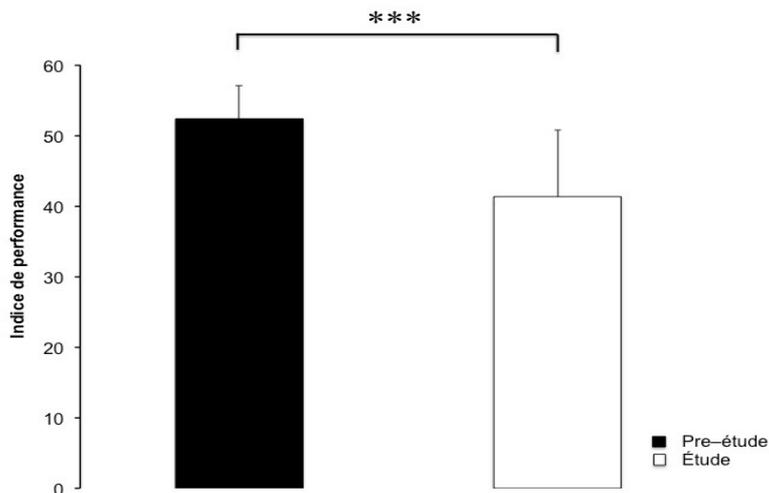


Figure 3 : Comparaison de l'indice de performance durant la pré-étude chez les joueurs de niveau National et l'étude en condition de non fatigue (*** : $p < 0,001$)

ANNEXE N°5

Evolutions individuelles des différents paramètres de performance du smash avec la fatigue

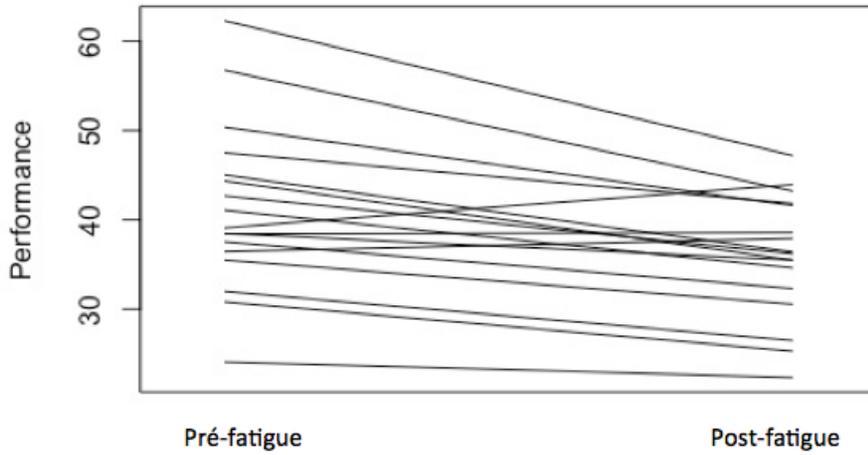


Figure 1 : Evolutions individuelles de l'indice de performance avec la fatigue

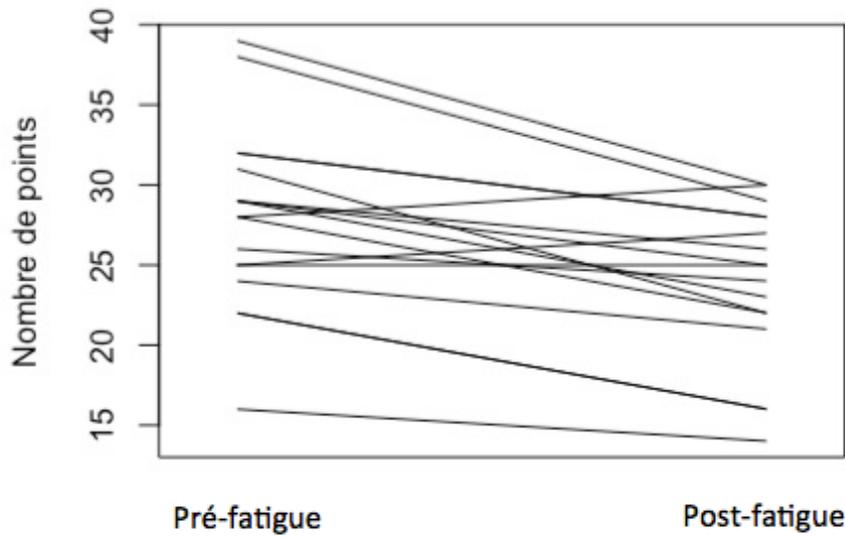


Figure 2 : Evolutions individuelles du nombre de points marqués avec la fatigue

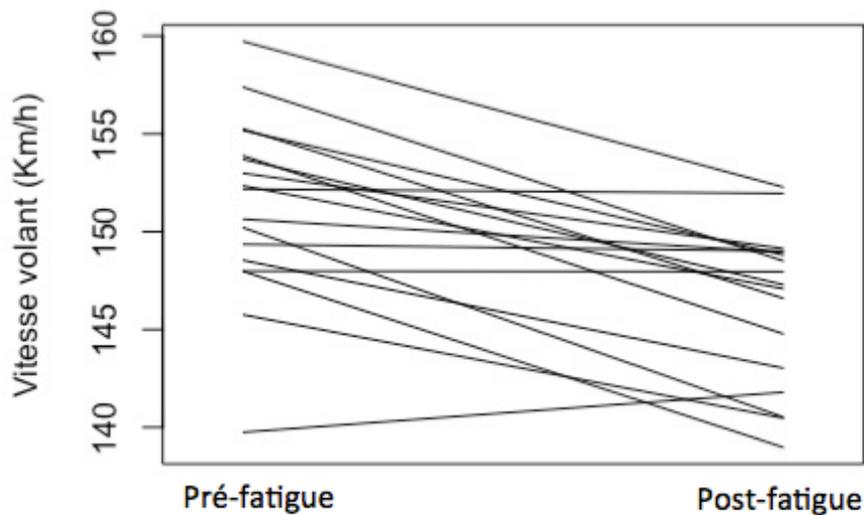
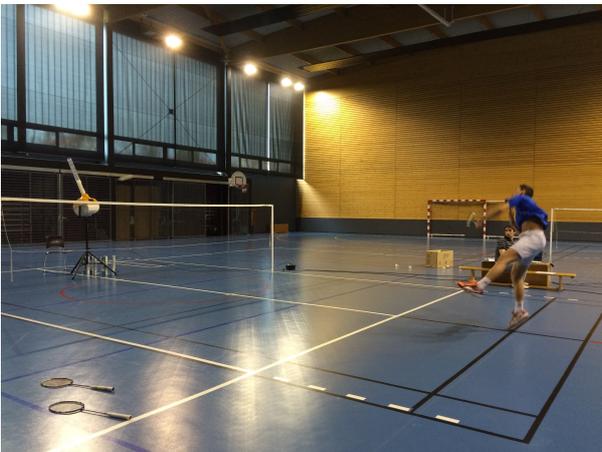
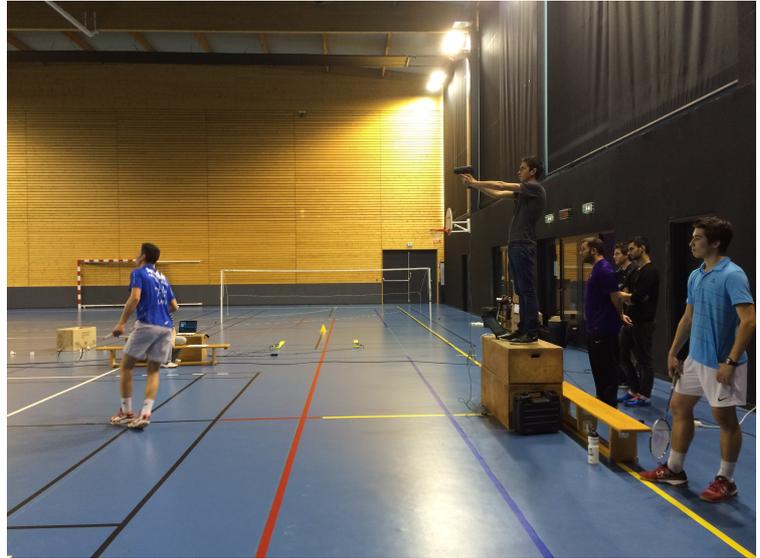


Figure 3 : Evolutions individuelles de la vitesse de smash avec la fatigue

ANNEXE N°6

Matériel et méthode



ANNEXE N°7

Corrélation vidéo / examinateur

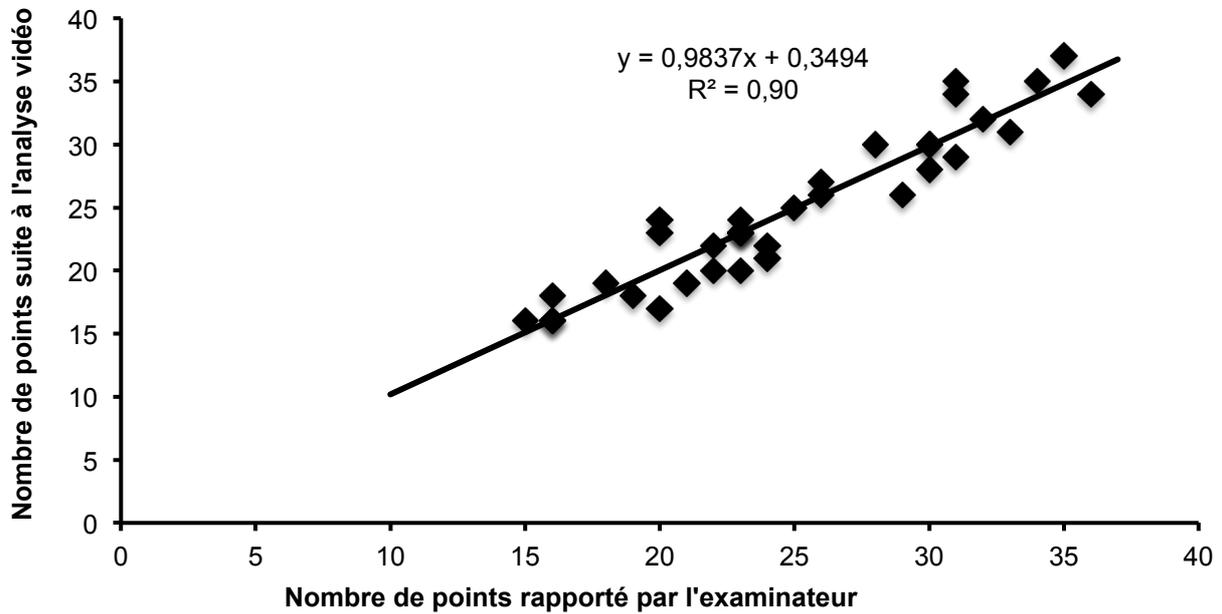


Figure 1 : Corrélation entre le nombre de points suite à l'analyse vidéo en fonction de ceux rapportés par l'examinateur lors de la pré-étude

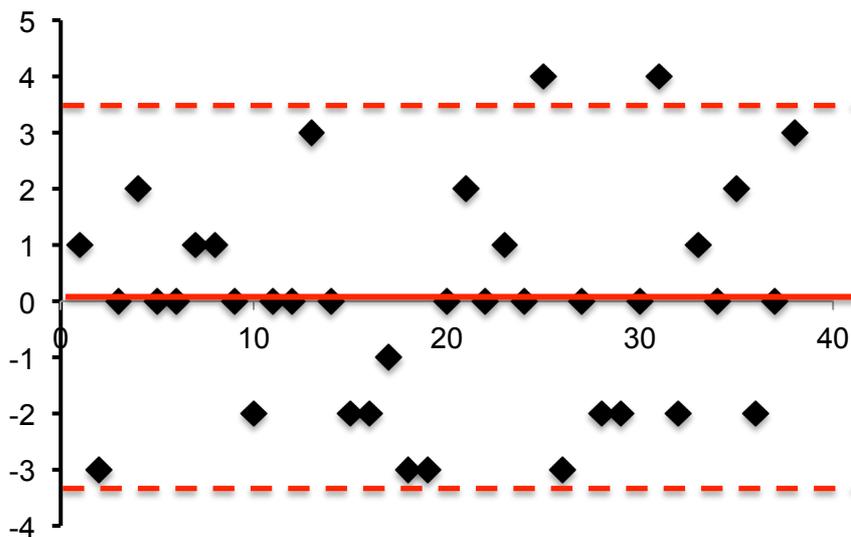


Figure 2 : Graphique de Bland-Altman entre le nombre de points rapporté par l'examinateur et celui analysé par vidéo

Résumé :

Le badminton est un sport caractérisé par des efforts courts et intenses entrecoupés de phases de repos. Cependant, la répétition des efforts combinée à la durée des matchs entraînent l'apparition d'une fatigue non négligeable. A ce jour, aucune étude ne s'est intéressée à l'impact de cette fatigue sur les performances techniques comme le smash. L'objectif de ce travail sera donc d'évaluer l'impact de cette fatigue sur les paramètres de performance du smash (vitesse et précision du volant). Dix-sept jeunes joueurs (11 garçons et 6 filles) des pôles France de badminton ont participé à cette étude dans laquelle un test de performance en smash a été réalisé avant et après un protocole de fatigue. La vitesse et la précision des volants ont été analysées et un indice a été utilisé pour évaluer la performance. Nous observons une diminution significative de l'indice de performance (-13,2% ; $p < 0,01$), de la vitesse (-3,3% ; $p < 0,01$) et de la précision des volants (-14,5% ; $p < 0,05$). Le protocole de fatigue utilisé est caractérisé par une diminution significative de la performance en Counter Movement Jump (CMJ) (-12,9%) associée à une augmentation de la perception de la pénibilité de l'effort (échelle de Borg). Les résultats retrouvés démontrent l'impact de la fatigue sur les capacités techniques et les stratégies mises en place pour lutter contre ces effets.

Mots clés : fatigue, badminton, smash, vitesse, précision

Abstract :

Badminton is characterized by actions of short duration and high intensity coupled with rest periods. However, the repetition of this bouts combined with match duration induce fatigue. No study has already been done to evaluate the link between this fatigue and technical skills like the smash. This study aimed to assess the impact of the fatigue on the smash's performance parameters (speed and accuracy). Seventeen young players (11 men and 6 women) of French Badminton academy participated in this study in which one smash performance test have been realised before and after a fatigue protocol. Speed and accuracy of the shuttlecocks have been analysed and an index has been used to evaluate the performance. We observed a significant decrease of the performance index (-13,2% ; $p < 0,01$), the shuttlecocks speed (-3,3% ; $p < 0,01$) and accuracy (-14,5% ; $p < 0,05$). The fatigue protocol has been characterized by a significant decrease of the Counter Movement Jump (CMJ) performance (-12,9%) and an increase of the perceived penibility of the effort (Borg scale). Results showed the impact of the fatigue on technical skills and strategies implemented to minimise the effects.

Keywords : fatigue, badminton, smash, speed, accuracy