

Déterminants moteurs et visuels du jugement d'anticipation en badminton : effets de la fatigue et de l'expertise

Mildred Loiseau Taupin

▶ **To cite this version:**

Mildred Loiseau Taupin. Déterminants moteurs et visuels du jugement d'anticipation en badminton : effets de la fatigue et de l'expertise. Physiologie [q-bio.TO]. Université Paris Cité, 2021. Français. NNT : 2021UNIP5261 . tel-04341929v2

HAL Id: tel-04341929

https://theses.hal.science/tel-04341929v2

Submitted on 13 Dec 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université de Paris

École doctorale 566 : Sciences du Sport, de la Motricité et du Mouvement Humain

Laboratoire du Sport, de l'Expertise et de la Performance, EA7370 (INSEP)

Déterminants moteurs et visuels du jugement d'anticipation en badminton : Effets de la fatigue et de l'expertise.

Par Mildred LOISEAU TAUPIN

Thèse de doctorat en Sciences du Sport

Dirigée par Jean SLAWINSKI

Présentée et soutenue publiquement le 15 décembre 2021

Devant un jury composé de :

Jocelyn FAUBERT, Professeur des universités	[Rapporteur] - Université de Montréal
Isabelle OLIVIER, Professeure des universités	[Rapportrice] - Université Grenoble Alpes
Thibault DESCHAMPS, Maître de Conférences, HDR	[Examinateur] - Université de Nantes
Karine DORE-MAZARS, Professeure des universités	[Examinatrice] - Université de Paris
Élisabeth ROSNET, Professeure des universités	[Examinatrice] - Université de Reims Champagne-Ardenne
Dimitri BAYLE, Maître de Conférences	[Invité, Co-encadrant] - Université de Nanterre
Alexis RUFFAULT, Chercheur	[Invité, Co-encadrant] - INSEP
Jean SLAWINSKI, Maître de Conférences, HDR	[Directeur] - INSEP

Except where otherwise noted, this work is licensed under
http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/

Université de Paris

LISTE DES ÉLÉMENTS SOUS DROITS

Liste de **tous les éléments retirés** de la version complète de la thèse
faute d'en détenir les droits

Illustrations, figures, images...

Légende de l'image	N° de l'image	Page(s) dans la thèse
Annexe B. Questionnaire de latéralité adapté d'Oldfield (1971)	Annexe B	291
Annexe C. Questionnaire international d'activité physique, version française et courte	Annexe C	293

Au long fleuve tranquille semé d'embûches.

Remerciements

Je ne pense pas effectuer d'erreur en anticipant que la partie remerciements sera probablement la plus vue et celle qui attirera le plus l'attention au sein de ce manuscrit de thèse. Ainsi, autant le fond que la forme ont leur importance. Mon côté « respectueux des règles » m'invite à veiller à n'oublier personne. Mes côtés « spontané et humain » m'invitent à utiliser les mots les plus justes et à écrire des remerciements en adéquation avec mon parcours. J'aimerais que ces remerciements révèlent le processus d'accompagnement dont j'ai bénéficié plutôt que le résultat à travers ces quelques lignes.

Si vous êtes novices en badminton, ces remerciements vous initieront à ce sport. Si vous êtes experts, je vous propose une définition différente d'habituellement. Cependant, ne pensez pas que ces remerciements anticipent les connaissances scientifiques de ce manuscrit, ils ont pour unique objectif d'être à la hauteur de l'ensemble des auteurs ayant contribué à cette thèse. Je vous avertis : l'objectif n'est pas rempli, mais la démarche est présente. Maintenant, laissez-moi vous compter mon histoire fictive, de ces quatre dernières années, en tant que joueuse de badminton.

Les premières personnes que je remercie sont les arbitres. Je remercie les professeurs Isabelle Olivier et Jocelyn Faubert d'avoir accepté d'être rapporteurs de ce travail de thèse ainsi qu'Élisabeth Rosnet et Thibault Deschamps en tant qu'examinateurs et Karine Doré-Mazars en tant qu'invitée. Je suis ravie d'être arbitrée par vous tous et je sais que nos échanges me permettront d'enrichir mon jeu et feront évoluer mon niveau d'expertise.
Je remercie de précédents arbitres intervenus lors de mes Comités de Suivi de Thèse qui ont échangé sur des trajectoires de jeu qui ont fait sens par la suite : Caroline Teulier, Thibault Deschamps et Guillaume Chauvel.

Une carrière sportive, quel que soit le niveau d'expertise, nous permet de rencontrer des entraîneurs variés. Tout d'abord, je remercie Claire Calmels pour l'obtention de la bourse doctorale et les premiers entraînements effectués. Ensuite, je remercie sincèrement Jean Slawinski pour avoir recruté une joueuse sans vraiment la connaître. Jean, merci pour l'accompagnement humain, l'enthousiasme dans les discussions et la volonté de m'emmener

toujours plus loin pour arriver à l'aboutissement de ce manuscrit. Mes remerciements suivants s'adressent à Dimitri Bayle, coentraîneur officiel. Dimitri, merci pour la bienveillance, la considération dans nos échanges, les heures de formations et les discussions sur l'avenir. Enfin, les derniers remerciements envers mes entraîneurs s'adressent à Alexis Ruffault, coentraîneur officiel également. Alexis, merci pour la réactivité, les conseils précis et directement applicables et l'engagement pour la réalité de terrain. Au-delà de vos trois individualités, je vous remercie pour l'équipe que vous avez formée pour m'accompagner jusqu'ici.

Je remercie ensuite, la riche formation à et par la recherche ainsi que la bourse accordée par le département Sciences du Sport et Éducation Physique de l'ENS Rennes qui m'auront permis de jouer pendant trois années. Je remercie les conditions d'accueil et de travail du STAPS de l'Université Gustave Eiffel pendant cette dernière année qui m'aura permis de poursuivre ma thèse sereinement.

Afin de m'entraîner depuis plus de quatre ans, mon terrain de jeu a été l'INSEP et particulièrement le laboratoire Sport, Expertise, Performance. Tout d'abord, merci Gaël Guilhem pour les conditions d'accueil matériel et humain ainsi que pour l'accompagnement jusqu'à aujourd'hui. Que de chemin parcouru, dont le bilan commence doucement dans l'écriture de ces remerciements.
Je pense à l'ensemble des membres du laboratoire pour nos échanges et votre aide, particulièrement Catherine Berthelot, Julie Louichon et Isabelle Teilhol. Une pensée particulière pour Hélène Joncheray, merci pour son écoute bienveillante et ses conseils avisés ; et pour Giuseppe Rabita, merci pour son humanité. Je remercie également Adrien Marck, Jean-François Robin et Thierry Soler pour nos échanges constructifs.
Je suis reconnaissante envers l'ensemble de mes anciens et actuels partenaires d'entraînement du RDJ Bâtiment C. Notre étage est un lieu si propice à l'avancement professionnel et personnel, entretenu par la cohésion qui s'y crée : tout aurait été bien différent sans vous. Un merci particulier à l'ancien fond du RDJ : Mathilde Désenfant, Joffrey Bardin et Valentine Duquesne pour les précieux moments partagés autour d'un thé, d'un petit déjeuner ou d'une séance de sport. Je vous souhaite d'arriver à l'écriture de vos propres remerciements. J'ai

notamment un merci pour les anciens, dont Enzo Hollville, pour des conseils qui ont fait sens. Quelques discussions posées et réfléchies peuvent amener à déplacer des terrains. À cette précédente phrase, j'associe mes deux plus proches partenaires d'entraînement Allison Diry et Chloé Leprince. Je n'aurai pas les mots justes pour vous remercier de la chaleur humaine que vous avez apporté à cette thèse, ou plus globalement à ma vie, par vos encouragements, votre compréhension, vos attentions et vos conseils précieux. À nos prochains échanges, loin des terrains de badminton.

Mon second terrain de jeu fut les terrains du Pôle France de Badminton, où je remercie l'ensemble de la Fédération Française de Badminton et particulièrement Maxime Michel d'avoir rendu ce projet possible. Merci pour les réflexions menées, les propositions apportées et la mise à disposition des locaux et des athlètes dans des périodes d'entraînement et de compétitions aléatoires.

Au cours de mes stages d'entraînements, j'ai rencontré de nombreux joueurs. Je remercie l'ensemble des participants « novices », qui ont parfois découvert la signification du terme « protocole de fatigue », pour votre sérieux, votre implication et votre bonne humeur dans les situations vécues. Je remercie également l'ensemble des participants « experts », les sportifs de haut niveau du pôle France de badminton pour leur adaptation et leur engagement dans les situations proposées. Je serai restée sur le bord du terrain sans vous.
Je remercie mon adversaire d'entraînement, Lucile Delabarre. Adversaire uniquement sur le terrain, car son aide, sa disponibilité et son sérieux ont été des partenaires précieux pour cette thèse. Je remercie Isabelle Amaudry d'avoir capturé les comportements moteurs et visuels des joueurs en condition de pratique.

On arrive rarement sur un terrain de badminton par hasard et je ne fais pas exception. Ainsi, je remercie chaleureusement Caroline Teulier pour la confiance accordée et les mots prononcés. Je remercie grandement Isabelle Siegler pour sa bienveillance et son accompagnement dans ce projet. J'en profite pour remercier les doctorants (notamment Élodie Hinnekens) et chercheurs de l'Université Paris-Saclay qui ont impacté, à leur façon, ce projet de thèse.

Autour du terrain et de la vie de joueuse de badminton, il y a les à-côtés. Je remercie Picard pour le temps gagné chaque jour dans la préparation des repas, mais, pour être honnête, je risque de le délaisser quelque temps. Je remercie le club de GRS Châtillon 92, les filles et les parents, et particulièrement Adeline Djilas d'avoir permis de trouver un équilibre avec la vie professionnelle et la passion du sport et de l'entraînement. Je remercie la famille Degrenne (Aïnoa, Maëlys et Olivier) : un grand merci pour les vidéos, photos, anecdotes, aides logiciels et moments partagés qui permettent de sortir l'esprit du terrain.

Enfin, une sportive ne peut persévérer sans ses fidèles supporters. À mes deux piliers, que sont mon frère et ma mère, pour leur soutien éternel et notre amour à toute épreuve. Merci à ma marraine pour sa présence malgré la distance. De tendres pensées pour ma belle-famille, qui n'a jamais aussi bien porté ce nom. Les adaptations logistiques ne sont qu'une infime partie visible de leur gentillesse. Cette thèse m'aura aussi permis de me rendre compte des forts liens d'amitié qui m'entourent. De nouveau, je réalise la chance que j'ai. Merci, Cédric Blouin, Justine Scalbert et Mary Seeboldt, pour les régulières nouvelles. Maryon, ce n'est pas la science et la recherche qui nous unies, mais tu as été présente, soutenante et sincère ce qui aura permis d'adoucir ces dernières années. Merci pour tout. Merci les 3S, Léa Leplat et Laure Masalski pour vos messages et vos pensées chaleureuses. La maman des écureuils volants est fière d'avoir été accompagnée ainsi (Promotion ENS 2013). Une pensée particulière pour le club Potins&Co composé de Lisa Fleury, Laurane Renvoizé et Alizé Valette : une précieuse amitié au-delà des frontières provinces-Capitale, et même hors métropole aujourd'hui. Merci également à Valérian Cécé pour les précieux conseils : cette thèse est terminée.

Certains supporters quittent le terrain trop tôt, pendant que d'autres arrivent en cours de route. Gaëtane, il y a des mots jamais prononcés qu'un écrit permettra d'ancrer. Tu es le rayon de soleil qui a percé les nuages et accompagné cette thèse. Je ne te promets rien sur la suite, simplement de ne pas oublier. Je finirai ma carrière sportive fictive de badminton par toi, sans qui rien n'aurait été possible. Tu as endossé tous les rôles en badminton : entraîneur, arbitre, supporter, parfois adversaire et surtout partenaire. Thomas, merci pour la personne que tu es, mais surtout pour la personne que tu me permets d'être. À notre solide équipe.

Par ces quelques pages, je ne peux vous remercier dignement, vous qui m'avez permis de parcourir ce long fleuve tranquille semé d'embûches.

Publications et Communications

Publications dans des revues scientifiques internationales à comité de lecture

Loiseau Taupin, M., Ruffault, A., Slawinski, J., Delabarre, L., Bayle, D. (2021) Effects of acute physical fatigue on gaze behavior and performance during a badminton game. Front. Sports Act. Living 3 :725625. https ://doi.org/10.3389/fspor.2021.725625

Loiseau Taupin, M., Ruffault, A., Delabarre, L., Bayle, D., Slawinski, J. (2021) Effects of Acute Physical Fatigue on Gaze Behavior and Anticipation in Expert Badminton Players. (Article soumis dans Journal of Sports Sciences)

Communications dans des congrès internationaux avec actes

Loiseau Taupin, M., Ruffault, A., Delabarre, L., Slawinski, J., Bayle, D. (2020) Effects of Physical Fatigue on Visual Perception in Badminton, the 25th Annual Congress of the European College of Sport Science, Seville, October. (Présentation poster)

Loiseau Taupin, M., Ruffault, A., Delabarre, L., Slawinski, J., Bayle, D. (2021) Effects of acute physical fatigue on gaze behavior and performance in novice badminton players, 19ème Congrès de l'Association des Chercheurs en Activités Physiques et Sportives, Montpellier, France, Octobre. (Communication orale acceptée)

Communications dans des congrès nationaux

Loiseau Taupin, M., Ruffault, A., Delabarre, L., Slawinski, J., Bayle, D. (2021) Effets de la fatigue sur la prise d'informations visuelles en situation écologique chez des joueurs de badminton experts, Journées d'études de la Société Française de Psychologie du Sport, Brest, France, Juin. (Communication orale)

Communications dans des séminaires nationaux

Loiseau Taupin, M., Ruffault, A., Delabarre, L., Slawinski, J., Bayle, D. (2021) Effets de la fatigue sur la prise d'informations visuelles en situation écologique chez des joueurs de badminton experts, Journée Fédération Demenÿ-Vaucanson, Université Paris-Saclay, France, Juin. (Communication orale)

Loiseau Taupin, M., Ruffault, A., Slawinski, J., Bayle, D. (2021) Effets de la fatigue sur la prise d'informations visuelles en situation écologique chez des joueurs de badminton, Séminaire du Laboratoire des Interactions Cognition Action Émotion, Université Paris Nanterre, France, Juin. (Communication orale)

Loiseau Taupin, M., Ruffault, A., Delabarre, L., Slawinski, J., Bayle, D. (2021) Effets de la fatigue sur la prise d'informations visuelles en situation écologique en badminton, Séminaire du Laboratoire Complexité, Innovation, Activités Motrices et Sportives, Université Paris-Saclay, France, Avril. (Communication orale)

Table des matières

Liste des abréviations **10**

Table des figures **11**

Liste des tableaux **15**

Introduction **20**

I Revue de littérature **24**

1 Le badminton comme activité de référence **25**
1.1 Description de l'activité sportive . . . 25
1.2 Facteurs de performance en badminton . . . 26
1.3 Expertise et badminton . . . 27
1.4 Fatigue et badminton . . . 30
1.5 L'essentiel à retenir . . . 31

2 De la perception à l'action **33**
2.1 Perception visuelle . . . 33
2.1.1 Perception et mouvements oculaires . . . 36
2.1.2 Visions centrale et périphérique en sport . . . 37
2.2 Système perception-action . . . 40
2.2.1 Théories cognitives du système perception-action . . . 41
2.2.1.1 Définition globale . . . 41
2.2.1.2 Théorie du codage commun . . . 41
2.2.2 Système perception-action neuronal . . . 42
2.2.3 Expertise visuelle en sport . . . 42
2.3 L'essentiel à retenir . . . 43

3 L'anticipation et ses déterminants en sport **45**
3.1 Anticipation . . . 45
3.1.1 Définition de l'anticipation dans le sport . . . 45
3.1.1.1 Anticipation visuelle . . . 47

3.1.1.2 Anticipation et sport de raquette . . . 49
3.1.1.3 Anticipation et expertise . . . 49
3.2 Informations contextuelles/situationnelles . . . 50
3.3 Recherches visuelles . . . 53
3.3.1 Mesures des recherches visuelles . . . 53
3.3.1.1 Occultation temporelle . . . 53
3.3.1.2 Analyse oculomotrice . . . 54
3.3.2 Intérêts et limites des conditions expérimentales . . . 59
3.3.3 Recherches visuelles, expertise sportive et performance . . . 62
3.3.3.1 En sport . . . 62
3.3.3.2 En sport de raquette . . . 64
3.3.3.3 En badminton . . . 66
3.4 Attention visuelle . . . 68
3.4.1 Définition de l'attention . . . 68
3.4.2 Différents types d'attention . . . 69
3.4.3 Différents modèles de l'attention . . . 70
3.4.4 Attention et recherches visuelles . . . 72
3.4.5 Attention et sport . . . 73
3.4.5.1 Attention et type d'exercices physiques . . . 73
3.4.5.2 Attention et type de sports . . . 73
3.4.5.3 Attention et expertise sportive . . . 74
3.4.5.4 Attention, recherches visuelles et sport . . . 75
3.5 L'essentiel à retenir . . . 76

4 L'impact de la fatigue sur le jugement d'anticipation et sur la performance 78
4.1 Définition de la fatigue . . . 78
4.2 Effet de la fatigue sur le jugement d'anticipation . . . 80
4.2.1 Fatigue et comportement d'anticipation . . . 80
4.2.2 Fatigue et recherches visuelles . . . 81
4.2.3 Fatigue et attention . . . 83
4.3 Effet de la fatigue sur la performance . . . 84
4.3.1 Effet de la fatigue sur la performance en sport de raquette . . . 85
4.3.1.1 Sports de raquette comme sports intermittents . . . 85
4.3.1.2 Fatigue et performance dans des protocoles adaptés aux sports de raquette . . . 87
4.3.1.3 Fatigue et performance spécifique aux sports de raquette . . . 88
4.4 L'essentiel à retenir . . . 90

5 Problématique et objectifs 92

II Méthodologie générale 97

1 Participants 99
1.1 Latéralité . . . 100
1.2 Questionnaire du niveau d'activité physique . . . 101

2 Procédure expérimentale 102
2.1 Échauffement . . . 102
2.2 Protocole de fatigue . . . 102
2.2.1 Novices . . . 103
2.2.2 Experts . . . 104
2.3 Pré- et post-protocole de fatigue . . . 105

3 Matériel et mesures 106
3.1 Comportements visuels . . . 106
3.2 Comportements moteurs sur le terrain . . . 110
3.3 Comportements moteurs et caractérisation de l'attention hors du terrain . . . 112
3.4 Fatigue . . . 112
3.4.1 Cardiofréquencemètre . . . 112
3.4.2 Échelle de fatigue perçue . . . 113
3.4.3 Échelle d'effort perçu . . . 114

4 Traitement des données 115
4.1 Comportements visuels . . . 116
4.2 Comportements moteurs . . . 117
4.3 Fatigue via la fréquence cardiaque et les échelles . . . 118
4.4 Performance . . . 119
4.5 Traitements statistiques . . . 119
4.5.1 Analyses statistiques . . . 119
4.5.2 Puissances statistiques . . . 121

III Caractérisation du jugement d'anticipation en condition de reproduction de sets de badminton 122

1 Étude 1 - Les caractéristiques de la prise d'informations visuelles et des comportements moteurs en badminton selon l'expertise 123
1.1 Contexte scientifique . . . 123
1.2 Objectifs et hypothèses . . . 124
1.3 Méthode . . . 125
1.3.1 Participants . . . 125
1.3.2 Mesures et variables analysées . . . 125
1.3.3 Procédure expérimentale . . . 125

1.3.4 Traitements des données . . . 126
1.3.5 Analyses statistiques . . . 126
1.4 Résultats . . . 128
1.4.1 Descriptif des comportements lors d'un set . . . 128
1.4.1.1 Comportements moteurs . . . 128
1.4.1.2 Comportements visuels . . . 129
1.4.2 Lien performance : points gagnés/perdus et comportements . . . 133
1.4.2.1 Comportements moteurs . . . 133
1.4.2.2 Comportements visuels . . . 133
1.4.3 Lien performance : coups réussi/ratés et comportements . . . 136
1.4.3.1 Comportements moteurs . . . 136
1.4.3.2 Comportements visuels . . . 136
1.5 Discussion . . . 140
1.5.1 Expertise et comportements moteurs . . . 140
1.5.2 Expertise et comportements visuels . . . 141
1.5.3 Performance et comportements moteurs . . . 142
1.5.4 Performance et comportements visuels . . . 144
1.5.4.1 Performance et durée moyenne de fixations . . . 144
1.5.4.2 Performance et durée de fixations par zone d'intérêt . . . 144
1.5.4.3 Performance et nombre moyen de fixations . . . 145
1.5.4.4 Performance et nombre de fixations par zone d'intérêt . . . 146
1.6 Conclusion . . . 148

IV Évaluation des effets de la fatigue sur le jugement d'anticipation en condition de reproduction de sets de badminton 149

1 Étude 2 - Les effets de la fatigue sur la prise d'informations visuelles et sur les comportements moteurs d'une population de joueurs et joueuses novices en badminton 150
1.1 Contexte scientifique . . . 150
1.2 Objectifs et hypothèses . . . 151
1.3 Méthode . . . 152
1.3.1 Participants . . . 152
1.3.2 Mesures et variables analysées . . . 152
1.3.3 Procédure expérimentale . . . 153
1.3.4 Traitements des données . . . 153
1.3.5 Analyses statistiques . . . 153
1.4 Résultats . . . 155
1.4.1 Effets de la fatigue . . . 155
1.4.1.1 Mesure de la fatigue . . . 155

1.4.1.2 Fatigue et comportements moteurs . . . 156
1.4.1.3 Fatigue et comportements visuels . . . 156
1.4.1.4 Fatigue et performance . . . 158
1.5 Discussion . . . 158
1.5.1 Fatigue et protocole expérimental . . . 159
1.5.1.1 Considérations méthodologiques . . . 159
1.5.2 Fatigue et comportements moteurs . . . 160
1.5.3 Fatigue et comportements visuels . . . 161
1.6 Conclusion . . . 163

2 Étude 3 - Les effets de la fatigue sur la prise d'informations visuelles et sur les comportements moteurs d'une population de joueurs et joueuses de haut-niveau en badminton 165
2.1 Contexte scientifique . . . 165
2.2 Objectifs et hypothèses . . . 166
2.3 Méthode . . . 167
2.3.1 Participants . . . 167
2.3.2 Mesures et variables analysées . . . 167
2.3.3 Procédure expérimentale . . . 168
2.3.4 Traitements des données . . . 168
2.3.5 Analyses statistiques . . . 169
2.4 Résultats . . . 170
2.4.1 Effets de la fatigue . . . 170
2.4.1.1 Mesure de la fatigue . . . 170
2.4.1.2 Fatigue et comportements moteurs . . . 171
2.4.1.3 Fatigue et comportements visuels . . . 171
2.4.1.4 Fatigue et performance . . . 172
2.5 Discussion . . . 173
2.5.1 Fatigue et protocole expérimental . . . 173
2.5.2 Fatigue et comportements moteurs . . . 174
2.5.3 Fatigue et comportements visuels . . . 176
2.5.4 Fatigue et performance . . . 177
2.6 Conclusion . . . 177

V Compréhension du jugement d'anticipation en situation contrôlée 179

1 Étude 4 - Les caractéristiques et les effets de la fatigue sur la prise d'informations visuelles et sur les comportements moteurs d'une population

de joueurs et joueuses de haut-niveau en badminton lors d'une situation de défense 180
1.1 Contexte scientifique . . . 180
1.2 Objectifs et hypothèses . . . 182
1.3 Méthode . . . 182
1.3.1 Participants . . . 182
1.3.2 Mesures et variables analysées . . . 183
1.3.3 Procédure expérimentale . . . 184
1.3.3.1 Déroulé . . . 184
1.3.3.2 Situation de défense . . . 184
1.3.4 Traitements des données . . . 185
1.3.5 Analyses statistiques . . . 186
1.4 Résultats . . . 188
1.4.1 Caractérisation des comportements . . . 188
1.4.1.1 Comportements moteurs et visuels . . . 188
1.4.1.2 Lien performance : séquences réussies/ratées et comportements 189
1.4.1.3 Lien performance : coups réussis/ratés et comportements . . . 189
1.4.1.4 Effets des informations contextuelles . . . 191
1.4.2 Effets de la fatigue . . . 192
1.4.2.1 Mesure de la fatigue . . . 192
1.4.2.2 Fatigue et séquence . . . 193
1.4.2.3 Fatigue et comportements moteurs . . . 193
1.4.2.4 Fatigue et comportements visuels . . . 194
1.4.2.5 Fatigue et performance . . . 195
1.5 Discussion . . . 196
1.5.1 Caractérisation des comportements . . . 197
1.5.1.1 Comportements moteurs . . . 197
1.5.1.2 Comportements visuels . . . 197
1.5.1.3 Performance . . . 198
1.5.1.4 Informations contextuelles . . . 199
1.5.2 Effets de la fatigue . . . 200
1.5.2.1 Fatigue et protocole expérimental . . . 200
1.5.2.2 Fatigue et comportements moteurs . . . 200
1.5.2.3 Fatigue et comportements visuels . . . 200
1.5.2.4 Fatigue et performance . . . 202
1.6 Conclusion . . . 202

2 Étude 5 - Les effets de l'expertise et de la fatigue en badminton sur la caractérisation de l'attention et les comportements d'anticipation en situation contrôlée de laboratoire 204
2.1 Contexte scientifique . . . 204

2.2 Objectifs et hypothèses . . . 205
2.3 Méthode . . . 206
2.3.1 Participants . . . 206
2.3.2 Mesures et variables analysées . . . 206
2.3.2.1 Fatigue . . . 206
2.3.2.2 Attentions globale – locale : tâche de *Navon* . . . 207
2.3.2.3 Composantes de l'attention : tâche *Attention Network Test* . . . 208
2.3.2.4 Anticipation-coïncidence : *Bridge Coincidence Timing Game* . . . 211
2.3.3 Procédure expérimentale . . . 213
2.3.4 Traitements des données . . . 213
2.3.5 Analyses statistiques . . . 215
2.4 Résultats . . . 217
2.4.1 Effets de l'expertise sur les caractérisations de l'attention et sur les comportements moteurs d'anticipation . . . 217
2.4.1.1 Effet de l'expertise sur l'attention globale - locale . . . 217
2.4.1.2 Effet de l'expertise sur les composantes de l'attention . . . 218
2.4.1.3 Effet de l'expertise sur l'anticipation coïncidence . . . 218
2.4.2 Effets de la fatigue sur les caractérisations de l'attention et sur les comportements moteurs d'anticipation . . . 219
2.4.2.1 Mesure de la fatigue . . . 219
2.4.2.2 Effets de la fatigue sur l'attention globale – locale . . . 220
2.4.2.3 Effets de la fatigue sur les composantes de l'attention . . . 221
2.4.2.4 Effets de la fatigue sur l'anticipation – coïncidence . . . 221
2.5 Discussion . . . 222
2.5.1 Effets de l'expertise . . . 222
2.5.1.1 Expertise et attention globale-locale . . . 222
2.5.1.2 Expertise et composantes de l'attention . . . 223
2.5.1.3 Expertise et anticipation-coïncidence . . . 224
2.5.2 Fatigue et protocole expérimental . . . 225
2.5.3 Effets de la fatigue . . . 226
2.5.3.1 Fatigue et attention globale-locale . . . 226
2.5.3.2 Fatigue et composantes de l'attention . . . 227
2.5.3.3 Fatigue et anticipation-coïncidence . . . 227
2.6 Conclusion . . . 228

VI Discussion générale 229

1 Le jugement d'anticipation au travers de la performance 232
1.1 Résultats principaux . . . 232
1.1.1 Performance experte . . . 232

1.1.2 Performance réalisée . . . 234
1.1.2.1 Performance et comportements moteurs . . . 234
1.1.2.2 Performance et comportements visuels . . . 234
1.2 Déterminants du jugement d'anticipation . . . 236
1.2.1 Comportements moteurs . . . 236
1.2.1.1 Temps de réaction et anticipation . . . 236
1.2.2 Comportements visuels . . . 237
1.2.2.1 Comportements visuels et zones d'intérêt . . . 237
1.2.2.2 Comportements visuels et attention . . . 239
1.2.2.3 Comportements visuels et patterns visuels . . . 242
1.3 Lien entre les comportements moteurs et les comportements visuels . . . 243
1.3.1 Liens perception-action au regard de l'expertise . . . 243
1.3.2 Liens perception-action à partir de la trajectoire du volant . . . 245
1.4 Points méthodologiques . . . 247
1.4.1 Comportements moteurs, comportements visuels et subjectivité . . . 247
1.4.2 Comportements moteurs, comportements visuels et anticipation . . . 248
1.5 Examiner et améliorer l'expertise . . . 249
1.5.1 Niveau d'expertise . . . 249
1.5.2 Entraînement . . . 250
1.5.2.1 Focus attentionnel . . . 251
1.5.2.2 Représentativité des situations . . . 252
1.5.2.3 Manipulation des contraintes . . . 252
1.5.2.4 Couplage information-mouvement . . . 253
1.5.2.5 Variabilité fonctionnelle . . . 253

2 Les effets de la fatigue sur le jugement d'anticipation 256
2.1 Résultats principaux . . . 256
2.2 Déterminants du jugement d'anticipation : mécanismes compensatoires . . . 257
2.3 Entraînement en condition de fatigue . . . 261

Conclusion 263

Références 265

Annexes 289
Annexe A. Comité d'Éthique pour la Recherche . . . 289
Annexe B. Questionnaire de latéralité adapté d'Oldfield (1971) . . . 291
Annexe C. Questionnaire international d'activité physique, version française et courte 293
Annexe D. Article scientifique relatif à l'étude 2 . . . 295

Annexe E. Rapport rendu à l'entraîneur national à la suite de l'étude 3 305

Liste des abréviations

ANT Attention Network Test

BCTG Bridge Coincident Timing Game

DF Durée de Fixation

DPS Délai de la Pose d'appui au Sol

DRA Délai de Reprise d'Appui

FC Fréquence Cardiaque

FCMax Fréquence Cardiaque Maximale

NC Nombre de Changements de regard

NF Nombre de Fixations

TR Temps de Réaction

Table des figures

I Revue de littérature **24**

1 Le badminton comme activité de référence

1.1 Étapes, méthodes et mesures de l'approche de la performance experte selon Williams et Ericsson (2005). 28

2 De la perception à l'action

2.1 Chemin parcouru par un stimulus visuel. 34
2.2 Chemins et structures impliquées des visions centrale et périphérique. 35
2.3 Structures impliquées lors de la poursuite d'un objet à partir de l'espace neuronal en trois boucles proposé par Montagnini et al., (2015). 37
2.4 Trois types de localisation de regard en sport, représentation schématique adaptée et traduite de Vater et al., (2019). 39

3 L'anticipation et ses déterminants en sport

3.1 Modèle du jugement d'anticipation à partir des interactions entre les habiletés perceptivo-cognitives et les contraintes. Modèle traduit à partir de Williams et Jackson (2019). 46
3.2 Modèle d'interaction des deux systèmes ventrale et dorsale lors d'une action d'interception traduit de Van Der Kamp et al., (2008) et adapté au badminton. . 48
3.3 Différents types d'outil de mesure eye-tracker. 56
3.4 Les types d'attention 69
3.5 Exemple de stimulus présenté lors de la tâche de *Navon*. 70
3.6 Exemple de stimulus présenté lors de l'*Attentional Network Test*. 72

4 L'impact de la fatigue sur le jugement d'anticipation et sur la performance

4.1 Taxonomie de la fatigue selon deux attributs interdépendants : fatigue perçue et fatigue de performance, issue et traduite de Enoka et Duchateau (2016). 79
4.2 Représentation schématique des variables étudiées dans ce projet de thèse à partir des liens entre les jugements, les habiletés perceptivo-cognitives et l'antériorité. . 91

5 Problématique et objectifs

5.1 Représentation schématique du protocole expérimental de chacune des cinq études. 95

II Méthodologie générale 97

2 Procédure expérimentale

2.1 Protocole de fatigue des participants novices 103

2.2 Protocole de fatigue des participants experts en condition d'incertitude visuelle avec des plots de couleur 104

3 Matériel et mesures

3.1 Modèle Core de Pupil Labs relié au téléphone portable A6003 de OnePlus 107

3.2 Estimation de l'incertitude de mesure liée à l'outil eye-tracker Core de Pupil Labs sur un terrain de badminton 108

3.3 Deux types de calibration de l'outil eye-tracker sur ordinateur 108

3.4 Zones d'intérêt définies 110

3.5 Outil vidéo sur le terrain et comportements moteurs relevés 111

3.6 Polar Vantage V 113

3.7 Échelle d'évaluation numérique de fatigue perçue 114

3.8 Échelle d'évaluation numérique d'effort perçu 114

III Caractérisation du jugement d'anticipation en condition de reproduction de sets de badminton 122

1 Étude 1 - Les caractéristiques de la prise d'informations visuelles et des comportements moteurs en badminton selon l'expertise

1.1 Représentation schématique de la procédure expérimentale et mesures effectuées. 126

1.2 Temps passé sur chaque zone d'intérêt en fonction du temps total de fixations selon la phase d'envoi et la phase de réception et selon le niveau d'expertise. . . 130

1.3 Nombre de fixation pour les zones d'intérêt bas du corps de l'adversaire, vide avant le contact volant/raquette du participant, vide après le contact volant/raquette du participant et vide après le contact volant/raquette de l'adversaire en fonction de la performance réalisée (point gagné ; point perdu) et de l'expertise (novice ; expert). 135

1.4 Durée de fixation moyenne pour les zones d'intérêt anticipation et raquette de l'adversaire en fonction de la performance réalisé (coup réussi ; coup raté) 137

1.5 Nombre moyen de fixations et nombre de fixations pour les zones d'intérêt haut du corps de l'adversaire, ligne, raquette, vide après le contact volant/raquette du participant et vide après le contact volant/raquette de l'adversaire en fonction de la performance réalisé (coup réussi ; coup raté). 139

IV Évaluation des effets de la fatigue sur le jugement d'anticipation en condition de reproduction de sets de badminton 149

1 Étude 2 - Les effets de la fatigue sur la prise d'informations visuelles et sur les comportements moteurs d'une population de joueurs et joueuses novices en badminton

1.1 Représentation schématique de la procédure expérimentale et mesures effectuées. 153

1.2 Durée moyenne de fixation pour les zones haut du corps de l'adversaire et raquette de l'adversaire en pré- et post-protocole de fatigue. 157

2 Étude 3 - Les effets de la fatigue sur la prise d'informations visuelles et sur les comportements moteurs d'une population de joueurs et joueuses de haut-niveau en badminton

2.1 Représentation schématique de la procédure expérimentale et mesures effectuées. 168

V Compréhension du jugement d'anticipation en situation contrôlée 179

1 Étude 4 - Les caractéristiques et les effets de la fatigue sur la prise d'informations visuelles et sur les comportements moteurs d'une population de joueurs et joueuses de haut-niveau en badminton lors d'une situation de défense

1.1 Représentation schématique de la procédure expérimentale et des mesures effectuées. 184

1.2 Représentation schématique et spatiale de la situation de défense sur le demi-terrain latéral droit. 185

2 Étude 5 - Les effets de l'expertise et de la fatigue en badminton sur la caractérisation de l'attention et les comportements d'anticipation en situation contrôlée de laboratoire

2.1 Décours temporel d'un essai lors de la tâche de *Navon*. 207

2.2 Visualisation des conditions globale et locale ainsi que des conditions congruente et incongruente. 208

2.3 Décours temporel d'un essai lors de la tâche d'*Attention Network Test*. 209

2.4 Conditions possibles lors de la tâche d'*Attention Network Test*. 210
2.5 Visualisation de la tâche de *Bridge Coicident Timing Game*. 212
2.6 Représentation schématique de la procédure expérimentale et des mesures effectuées pour les populations d'experts et de novices. 213

VI Discussion générale 229

1 Représentation schématique des variables étudiées dans ce projet de thèse à partir des liens entre les jugements, les habiletés perceptivo-cognitives et l'antériorité. . 231

1 Le jugement d'anticipation au travers de la performance

1.1 Proposition de modélisation du jugement d'anticipation en badminton lors d'un échange à partir de quatre déterminants. 233
1.2 Complément à la proposition de modélisation du jugement d'anticipation en badminton lors d'un échange à partir de quatre déterminants : analyse de la trajectoire du volant. 247
1.3 Proposition de modèle d'entraînement du jugement d'anticipation à partir de quatre déterminants selon l'approche de Turner et al., (2019). 251

Liste des tableaux

I Revue de littérature **24**

1 Le badminton comme activité de référence

1.1 Classifications conatives en badminton selon Dieu et al., (2020). 28

2 De la perception à l'action

2.1 Types d'informations et structures des visions centrale et périphérique. 35

II Méthodologie générale **97**

1 Participants

1.1 Informations générales sur les populations novices et expertes recrutées. 100

4 Traitement des données

4.1 Mesures effectuées, matériel utilisé et variables mesurées. 115

4.2 Facteurs, niveau de référence et niveaux des variables à effet fixe. 120

III Caractérisation du jugement d'anticipation en condition de reproduction de sets de badminton **122**

1 Étude 1 - Les caractéristiques de la prise d'informations visuelles et des comportements moteurs en badminton selon l'expertise

1.1 Tests d'hypothèse et variables impliquées dans les analyses statistiques. 127

1.2 Descriptif des comportements moteurs lors des sets pour les populations novices et experts. 128

1.3 Pourcentage de coups en fonction du type de coups effectués par les participants. 128

1.4 Descriptif des comportements visuels lors des sets pour les populations novices et experts. 129

1.5 Durées moyennes de fixations (DF) pour les populations novices et experts pour chaque zone d'intérêt. 131
1.6 Nombre total de fixations (NF) pour les populations novices et experts pour chaque zone d'intérêt. 132

IV Évaluation des effets de la fatigue sur le jugement d'anticipation en condition de reproduction de sets de badminton 149

1 Étude 2 - Les effets de la fatigue sur la prise d'informations visuelles et sur les comportements moteurs d'une population de joueurs et joueuses novices en badminton

1.1 Tests d'hypothèse et variables impliquées dans les analyses statistiques. 154
1.2 Pourcentage moyen de fréquence cardiaque maximale (%FCMax) pendant les sessions expérimentales, fatigue perçue moyenne et effort perçu moyen après chaque session expérimentale. 155
1.3 Temps de réaction (TR), délai de reprise d'appui (DRA) et délai de la pose du pied au sol (DPS) en pré- et post-protocole de fatigue. 156
1.4 Durée de fixation (DF), nombre de fixations par échange (NF) et nombre de changements de regard par échange (NC) en pré- et post- protocole de fatigue. . 156
1.5 Nombre de sets, points et coups avant et après le protocole de fatigue. 158

2 Étude 3 - Les effets de la fatigue sur la prise d'informations visuelles et sur les comportements moteurs d'une population de joueurs et joueuses de haut-niveau en badminton

2.1 Tests d'hypothèse et variables impliquées dans les analyses statistiques. 169
2.2 Pourcentage moyen de fréquence cardiaque maximale (%FCMax) pendant les sessions expérimentales, fatigue perçue moyenne et effort perçu moyen après chaque session expérimentale. 170
2.3 Temps de réaction (TR), délai de reprise d'appui (DRA) et délai de la pose du pied au sol (DPS) en pré- et post-protocole de fatigue. 171
2.4 Durée de fixation (DF), nombre de fixations par échange (NF) et nombre de changements de regard par échange (NC) en pré- et post- protocole de fatigue. . 172
2.5 Nombre de sets, points et coups avant et après le protocole de fatigue. 173

V Compréhension du jugement d'anticipation en situation contrôlée 179

1 Étude 4 - Les caractéristiques et les effets de la fatigue sur la prise d'informations visuelles et sur les comportements moteurs d'une population

de joueurs et joueuses de haut-niveau en badminton lors d'une situation de défense

1.1 Tests d'hypothèse et variables impliquées dans les analyses statistiques. 187
1.2 Descriptif des comportements moteurs et visuels lors des séquences pré-protocole de fatigue. 188
1.3 Pourcentage moyen de fréquence cardiaque maximale (%FCMax) pendant les sessions expérimentales, fatigue perçue moyenne et effort perçu moyen après chaque session expérimentale. 192
1.4 Séquences terminées et non terminées en pré et post-protocole de fatigue selon la latéralité du terrain. 193
1.5 Descriptif des comportements moteurs lors de la situation défensive en pré et post-protocole de fatigue 193
1.6 Durée de fixation (DF), nombre de fixations par échange (NF) et nombre de changements de regard par échange (NC) en pré- et post- protocole de fatigue. . 194
1.7 Nombre de séquences et de coups avant et après le protocole de fatigue. 195

2 Étude 5 - Les effets de l'expertise et de la fatigue en badminton sur la caractérisation de l'attention et les comportements d'anticipation en situation contrôlée de laboratoire

2.1 Tests d'hypothèse et variables impliquées dans les analyses statistiques 216
2.2 Temps de réaction moyens (TR) pour les tâches de *Navon* pré-protocole de fatigue et post-protocole de fatigue 217
2.3 Temps de réaction moyen pour les deux niveaux d'expertise, obtenus à la tâche *Attention Network Test*. 218
2.4 Temps de réaction moyen pour les deux niveaux d'expertise, obtenus à la tâche *Bridge Coincidence Timing Game*. 219
2.5 Pourcentage moyen de fréquence cardiaque maximale (%FCMax) pendant les sessions expérimentales, fatigue perçue moyenne après chaque session expérimentale. 219
2.6 Temps de réaction moyens (TR) pour les tâches de *Navon* pré-protocole de fatigue et post-protocole de fatigue 220
2.7 Temps de réaction moyens pour les tâches *Attention Network Test* pré-protocole de fatigue et post-protocole de fatigue. 221
2.8 Temps de réaction moyens pour les tâches *Bridge Coincidence Timing Game* en pré-protocole de fatigue et post-protocole de fatigue. 222

VI Discussion générale 229

1 Le jugement d'anticipation au travers de la performance

1.1 Tableau récapitulatif des effets de l'expertise sur les déterminants du jugement d'anticipation. 233
1.2 Tableau récapitulatif des effets de la performance réussie (point ; coup) et de l'expertise sur les quatre déterminants du jugement d'anticipation. 235

2 Les effets de la fatigue sur le jugement d'anticipation

2.1 Tableau récapitulatif des effets de la fatigue et de l'expertise sur les quatre déterminants du jugement d'anticipation. 257

Introduction

« L'essentiel est invisible pour les yeux. »

A.de Saint Exupéry

Si la portée philosophique de cette citation n'est pas à débattre, on ne peut en dire de même sur le sens littéral lorsque l'on sait que les informations visuelles sont les informations les plus utilisées chez l'Homme pour évoluer dans son environnement (Marieb & Hoehn, 2019). *« Voir, regarder, fixer, localiser, distinguer, percevoir, entrevoir, contempler »* autant de synonymes autour de la perception visuelle qui ont chacun leur nuance sur la manière de voir le monde. De manière générale, la perception visuelle correspond à la prise en compte des éléments visibles qui nous entourent c'est-à-dire leur forme, leur taille, leur texture, leur couleur et leur mouvement afin d'avoir une image de notre environnement. Cette image est individuelle. En effet, il y a autant de représentations visuelles d'une scène que de personnes qui regardent cette scène. Au quotidien, nous interagissons avec l'environnement afin, par exemple, d'éviter un cycliste ou un autre piéton lorsque nous nous promenons à pied. Nous faisons notamment appel à notre capacité d'anticipation visuelle du mouvement pour prévenir toute collision. Sur les terrains de sport, les procédés sont similaires. L'anticipation permet l'interception de balle, de ballon, d'engins, ou de volant selon le sport considéré. Ce jugement d'anticipation qui consiste à prédire le futur lieu d'arrivée de l'objet est un facteur important de performance des sports de raquette (Morris-Binelli & Müller, 2017 ; Williams et al., 2011). Ce jugement d'anticipation est possible à partir de l'attention visuelle qui permet la prise d'informations visuelles sur l'adversaire et/ou sur la balle (informations dites cinématiques), mais également à l'aide des informations contextuelles (c.-à-d., connaissances sur l'adversaire, moment du jeu) (Loffing & Cañal-Bruland, 2017). Les études à propos de l'anticipation en sport sont nombreuses et ont largement montré la supériorité des athlètes experts, comparés à d'autres niveaux d'expertise, à répondre plus justement et plus rapidement (Farrow & Abernethy, 2015). À l'inverse, la compréhension des mécanismes d'anticipation, notamment sur la prise d'informations visuelles et l'attention visuelle, montre des résultats dépendants de la définition de l'expertise et des tâches effectuées (tâches sur ordinateur *versus* tâche sur le terrain ; tâche d'anticipation globale *versus* tâche contextualisée spécifique au sport considéré ; réponse sur un clavier *versus* réponse motrice spécifique au sport) (Klostermann & Moeinirad, 2019). Par exemple, en badminton, sport de raquette le plus rapide au monde (vitesse de volant record de 493 km/h par Tan Boon

Hoeng en 2013, Nadolny (2014)), les études sur l'anticipation et les comportements visuels ont montré que les experts (i) répondaient plus rapidement et plus justement et (ii) utilisaient des informations segmentaires : proximales (tronc), puis distales (bras et raquette) pour anticiper les coups (Abernethy & Zawi, 2007 ; Hagemann et al., 2006 ; Roberts et al., 2019). A l'inverse, Abernethy et Russell (1987a) ne démontrent aucune caractéristique de joueurs experts dans les recherches visuelles comparés à des joueurs novices. Ainsi, les raisons de l'anticipation experte sont encore débattues : sont-elles dues à un traitement de l'information prélevée ou à une stratégie de recherches visuelles spécifiques ? De plus, il ne semble pas y avoir de connaissance sur cette recherche visuelle en condition de pratique permettant d'expliquer l'anticipation en badminton. L'anticipation experte est étudiée au regard des performances réalisées, c'est-à-dire majoritairement en termes de réponses correctes. En effet, étudier l'anticipation consiste à comprendre les mécanismes sous-jacents au système perception-action à travers les stades perceptif, décisionnel et moteur (traitement de l'information, Sanders (1990)). La performance réalisée, c'est-à-dire le résultat de la réponse motrice effectuée issue de la prise d'informations visuelles, permet d'évaluer l'efficience du système. Ainsi, Alder et al. (2014) ont montré que les experts fixaient davantage la raquette et le poignet sur des essais classés comme *« corrects »* lors de l'anticipation de réception de service en badminton. Cependant, le lien entre la prise d'informations visuelles et la performance sur un terrain de badminton, en termes de coups réussis/ratés ou de points gagnés/perdus ne semble pas avoir été étudié.

De plus, la réalisation d'un match de badminton, soit trois sets de vingt-et-un points, implique des sollicitations physiologiques, biomécaniques et cognitives produisant une fatigue (Cabello Manrique, 2003). Les effets de la fatigue sur la pratique sportive sont variés (effet positif, neutre ou négatif) puisque la définition de la fatigue ne fait pas consensus et que son analyse induit des études sur des points particuliers (fatigue mentale, physique, centrale et/ou périphérique) (Enoka & Duchateau, 2016). En badminton, la fatigue impacte la performance par des altérations des coups techniques (diminution de la vitesse de frappe, trajectoire altérée), des déplacements produits sur le terrain, et de la pertinence des choix tactiques (Girard & Millet, 2009 ; Mansec et al., 2019). Cependant, certaines études montrent des résultats inverses sur la performance (Kosack et al., 2020 ; Bottoms et al., 2012). Concernant les recherches visuelles, la fatigue impacte les comportements visuels, mais de manière différente selon les études :

diminution du nombre de fixations et augmentation de la durée de fixations (Casanova et al., 2013), augmentation du nombre de fixations par rapport à la durée totale (Alder et al., 2019), ou augmentation du nombre de fixations (Alder et al., 2020).

Ainsi, notre question de recherche émane de ces débats scientifiques : comment se caractérise et évolue l'anticipation experte au cours d'un match de badminton induisant de la fatigue ? Nous étudions un jugement classé au sein de la macro-cognition (G. Klein et al., 2003) (c.-à-d., une habileté perceptivo-cognitive analysée dans un environnement naturel et composée de sous-unités cognitives) impliquant une approche cognitiviste de cette notion d'anticipation. Les mécanismes sous-jacents à l'anticipation ne peuvent être compris qu'au regard d'une prise d'informations visuelles au service d'une réponse motrice. Ainsi, nous optons pour une approche de l'anticipation en sport à partir du système perception-action et du niveau d'expertise. L'action répond à un besoin de performance dans des conditions de pratique reflétant la réalité du terrain.

Ainsi, l'objectif de cette thèse est de mieux comprendre, par le prisme de l'expertise, le jugement d'anticipation en badminton dans des conditions proches de la pratique. Ces conditions impliquent les mécanismes de perception et d'action, en lien avec la performance réalisée ainsi qu'un facteur inhérent à cette pratique : la fatigue. Ce principal objectif se décompose en trois sous-objectifs distincts :

(i) caractériser le jugement d'anticipation à partir des comportements moteurs et visuels des joueurs de badminton selon le niveau d'expertise ;

(ii) évaluer les impacts de la fatigue sur le jugement d'anticipation en fonction du niveau d'expertise ;

(iii) vérifier le lien entre le jugement d'anticipation, la fatigue et la performance réalisée.

Ce manuscrit est composé de six parties principales. La première partie sera consacrée à une revue de littérature divisée en quatre chapitres. Le premier chapitre visera à présenter l'activité support de notre questionnement : le badminton. Le deuxième chapitre présentera les processus de perception et plus spécifiquement de perception visuelle en sport. Le troisième chapitre développera le jugement d'anticipation et ses déterminants que sont les recherches visuelles et l'attention visuelle. Enfin, le quatrième chapitre détaillera la fatigue et ses effets sur la performance et l'anticipation en sport.

La seconde partie de ce manuscrit s'attachera à définir la procédure expérimentale associée à ce travail de thèse, ainsi que les analyses appliquées aux mesures effectuées.

Les trois parties suivantes exposeront les cinq études réalisées pour répondre à la problématique et aux objectifs énoncés précédemment : caractériser le jugement d'anticipation en situation de pratique, évaluer les effets de la fatigue sur ce jugement puis comprendre ce jugement en situation contrôlée.

La dernière partie de ce manuscrit discutera le jugement d'anticipation au travers de la performance et les effets de la fatigue sur ce jugement à partir des apports de cette thèse, de considérations et de perspectives scientifiques et sportives.

Première partie

Revue de littérature

Chapitre 1

Le badminton comme activité de référence

1.1 Description de l'activité sportive

Le badminton est un sport de raquette, médié par un filet, dont l'objectif est d'envoyer le volant dans le camp adverse sans que ce dernier ne puisse le renvoyer. Il est un des sports les plus pratiqués au monde et en France, en tant que sport loisir et notamment en tant que sport scolaire (132 105 licenciés en France en 2020-2021, Fédération Française de Badminton http ://www.ffbad.org). Sa popularité n'implique pas une facilité de pratique. Si l'on s'intéresse plus spécifiquement à la pratique compétitive, Phomsoupha et Laffaye (2015) ont publié un article regroupant un certain nombre de caractéristiques du badminton. Le badminton est le sport de raquette le plus épuisant en termes de sollicitations physiologiques et le plus rapide par la fréquence des échanges et la vitesse du volant (record de 493 km/h par Tan Boon Hoeng en 2013 en condition standardisée, Nadolny (2014)). En compétition, le badminton se pratique sous forme de match de deux ou trois sets de 21 points durant entre 40 minutes et 1 heure en moyenne (Phomsoupha & Laffaye, 2015). La pratique implique un enchaînement d'actions de courtes durées à haute intensité entrecoupées de courtes périodes de repos (échange de 6 à 12 secondes avec une moyenne de 173,4 battements cardiaques par minute, Cabello Manrique (2003) ; Fu et al. (2021)). Pendant un set et un match, ces alternances d'actions sollicitent les filières énergétiques aérobie (70 %) et anaérobie (30 %) (Kosack et al., 2020) et des déplacements tels que des fentes, des sauts ou des changements de direction (Moreno-Perez et al., 2020). Ces

caractéristiques sont amenées à évoluer selon la prise en compte du niveau de pratique (expert, intermédiaire, novice, (Li & Ding, 2021), du type de pratiques (simple, double ; phase de poules, phase éliminatoire, Torres-Luque et al. (2019)) et du sexe des joueurs (masculin, féminin, Fu et al. (2021) ; Torres-Luque, Blanca-Torres, Cabello-Manrique, et Kondric (2020)). Torres-Luque, Blanca-Torres, Cabello-Manrique, et Kondric (2020) et Torres-Luque, Blanca-Torres, Giménez-Egido, et al. (2020) définissent trois grandes variables à analyser en badminton pour comprendre l'activité : le contexte (p. ex., sexe, compétition, latéralité du joueur), le résultat (p. ex., gain ou perte du match, du set ou du point) et le jeu (p. ex., séquence de coups, durée du point, technique et tactique des coups, zone d'arrivée du volant). Galeano et al. (2021) se sont intéressés à l'organisation spatiale des matchs et ont montré que la majorité des coups était effectuée dans les quatre coins d'un demi-terrain, spécifiquement dans les deux coins du fond. Par contre, les auteurs ne trouvent pas de lien entre les zones spatiales et la performance (points gagnés ou perdus).

1.2 Facteurs de performance en badminton

Les quatre caractéristiques les plus importantes pour analyser la pratique du badminton sont (Phomsoupha & Laffaye, 2015) :

- Anthropométrie (morphologie)
- Physiologie (tests globaux et spécifiques, variables physiologiques diverses : filières énergétiques, fréquence cardiaque, consommation d'oxygène, lactatémie, force)
- Processus visuels (prise d'informations, anticipation, prise de décision)
- Mécanique du mouvement (du volant, de la raquette, du corps)

Parmi les déterminants visuels, l'anticipation est une habileté largement analysée comme essentielle en sport (Williams & Jackson, 2019a ; Morris-Binelli & Müller, 2017). Un autre déterminant visuel important de la performance est l'attention (Abernethy et al., 2007). Cependant, il subsiste de nombreuses interrogations sur le lien entre les capacités attentionnelles et la performance sportive notamment dû à un problème de définition de l'attention (Abernethy et al., 2007). De plus, peu d'études se sont intéressées à l'attention comme facteur de performance en badminton. Ces déterminants seront détaillés dans le chapitre 3 (Partie Revue de littérature, page 45). Pour réussir à définir les facteurs de performance dans un sport, la

littérature s'est intéressée à comparer ou investiguer des niveaux d'expertise spécifiques (novice, intermédiaire, experts).

1.3 Expertise et badminton

De manière globale, l'expertise en sport peut être définie comme l'adaptation continue du comportement d'une personne aux contraintes perçues et rencontrées dans son environnement (Seifert et al., 2013). Si les auteurs donnent des définitions diverses, ils s'accordent sur la notion d'expérience motrice pour caractériser l'expertise. Une référence plus ancienne, mais très utilisée dans la littérature se réfère à la quantité de pratique (Ericsson et al., 1993). L'expertise sportive se définirait à partir d'une pratique régulière et délibérée pendant au moins dix ans ou durant dix mille heures.

Selon l'approche de la performance experte, il y aurait trois étapes pour caractériser l'expertise : la capture de la performance experte, l'identification des mécanismes expliquant cette performance et l'examen des procédés d'apprentissage expliquant le développement de cette performance (Williams & Ericsson, 2005)(Figure 1.1). Des méthodes et des mesures sont associées à chaque étape. Ainsi, la capture de la performance consiste à comprendre sa nature à partir de méthodologie en laboratoire ou de terrain telle que l'analyse de match à partir de vidéo. L'identification des mécanismes sous-jacents afin de comprendre la performance s'effectue à travers une méthodologie de traçage de mesures, par exemple les mouvements oculaires. Ce traçage peut impliquer des mesures pré- et post-expérimentation comme des méthodes de temps de réaction à partir d'occultation temporelle en amont, des recherches visuelles et des temps de réaction pendant le protocole et des entretiens en post-protocole. Enfin, la dernière étape vise à comprendre le développement de l'expertise à partir des expériences antérieures et des processus d'apprentissage impliquant des mesures sur les effets de l'entraînement ou lors d'entretiens.

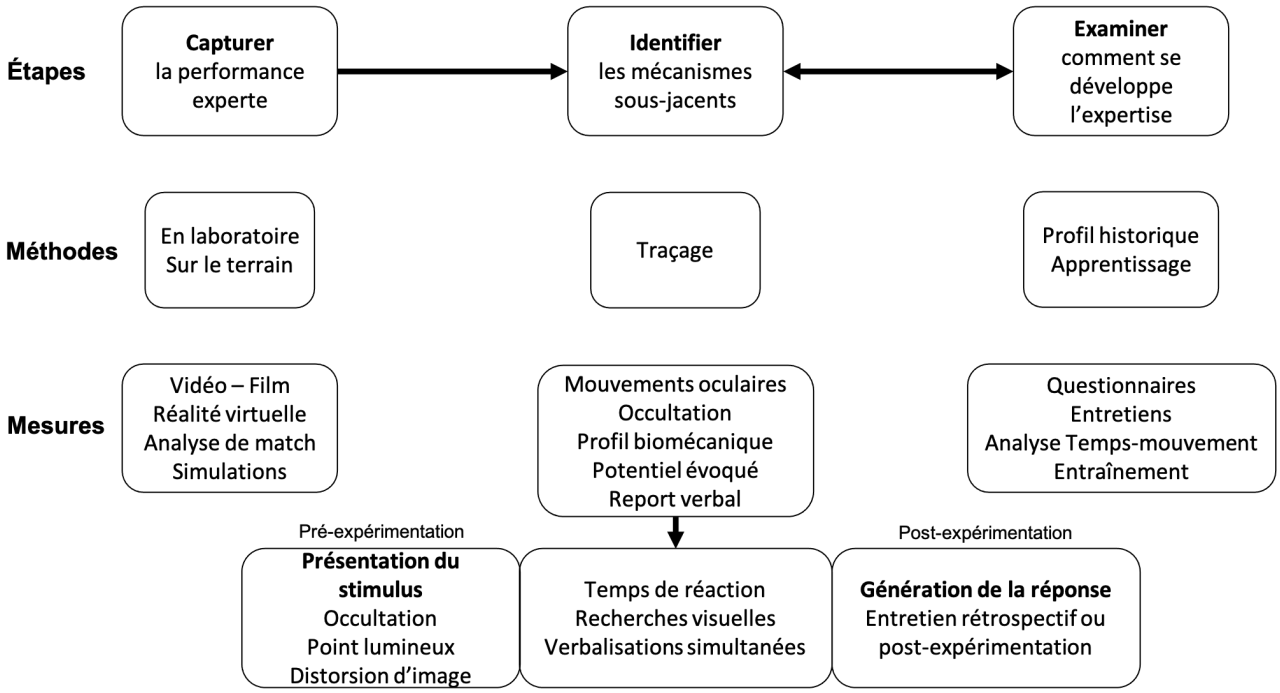


Figure 1.1 – Étapes, méthodes et mesures de l'approche de la performance experte selon Williams et Ericsson (2005).

À la notion d'expertise se lie la notion de performance comme une performance cognitivo-motrice qui serait la capacité à utiliser rapidement des informations sensorielles et à les transférer en une réponse motrice efficace (Hicheur et al., 2017). De manière spécifique au badminton, Dieu et al. (2020) définissent l'expertise comme une adaptation en fonction de l'expérience des joueurs à partir de l'efficacité motrice, mais aussi des classifications conatives (Bui-Xuân, 1999)(Tableau 1.1).

Tableau 1.1 – Classifications conatives en badminton selon Dieu et al., (2020).

Étapes (n°)	1	2	3	4	5
Étapes (nom)	Structurale	Fonctionnelle	Technique	Contextuelle	Expertise
Conation	Renvoyer le volant	Diriger le volant	Placer un coup gagnant	Séquence tactique – Enchaînement	Imposer son style de jeu à l'adversaire
Niveau	Novice		Intermédiaire		Expert

En badminton, les novices n'auraient pas les habiletés physiques (demandes énergétiques, composition corporelle) et techniques (déviation de la raquette pour donner de la vitesse au volant, coordination des chaînes proximo-distales) leur permettant d'effectuer des coups correctement réalisés sous forte pression temporelle (Phomsoupha & Laffaye, 2015). L'expert se caractérise par sa capacité à imposer son style de jeu (Dieu et al., 2020). La définition de

l'expertise permet de comprendre les études comparant différents niveaux d'expertise soit pour capturer, identifier ou examiner la performance experte. Ainsi, l'expertise se définit à partir de différents facteurs, dont des facteurs cognitifs. Cependant, Russo et Ottoboni (2019) ont décrit, à travers une revue de littérature, les différences de performance entre les experts et les novices sur les facteurs cognitifs. Ils n'ont pas montré de différences significatives pour tous les mécanismes cognitifs, notamment sur des paradigmes généraux et non spécifiques au sport pratiqué. Ainsi, Alves et al. (2013) ont montré que les experts en volleyball étaient plus rapides pour des tâches de contrôle exécutif (tâches de permutation et d'inhibition) et certaines tâches attentionnelles visuo-spatiales (tâche de détection du changement), mais pas lors d'autres tâches attentionnelles (tâche d'attention sélective). De même, Spitz et al. (2018) n'ont confirmé aucune différence significative lors de tâche de mesures non spécifiques au sport sur l'attention (soutenue, globale-locale), le contrôle inhibiteur, la mémoire de travail et le temps de réaction simple, entre des arbitres experts et moins experts en football. Enfin, d'après une revue de littérature sur le rôle de la vision en sport (Vater et al., 2019), les études sur des capacités visuelles globales comme l'acuité visuelle statique (discrimination de la plus petite forme fixe), la perception de la profondeur ou l'utilisation de la vision périphérique (Appelbaum & Erickson, 2018 ; Abernethy et al., 2001) n'ont pas montré de différence entre les novices et les experts. Les auteurs concluaient sur le fait que la performance experte ne serait pas expliquée par le système visuel.

À l'inverse, les études sur des éléments précis de la perception visuelle ont montré des effets de l'expertise. En effet, les experts se différencient des autres niveaux (novices et intermédiaires) sur :

- les habiletés visuo-spatiales : développement d'une familiarité visuelle (Bläsing et al., 2014 ; Bläsing, 2015) et d'une habileté spatiale (Notarnicola et al., 2014),
- les recherches visuelles : différences dans la durée et le nombre de fixations, (D. T. Y. Mann et al., 2007) ; en lien avec la créativité, (Roca et al., 2018),
- l'anticipation (Savelsbergh et al., 2002 ; Aglioti et al., 2008 ; Land, 2016 ; Wimshurst et al., 2016),
- l'attention (Brams et al., 2019),
- l'amorçage des réponses motrices (Kiesel et al., 2009 ; Heinemann et al., 2010 ;

Güldenpenning et al., 2013) et,

— l'activation neuronale, c.-à-d., stimulation des neurones associée à certaines zones du cerveau (Y.-T. Kim et al., 2011 ; Muraskin et al., 2017).

En s'intéressant aux sports d'interception dont les sports de raquette font partie, Gao et al. (2015) ont différencié les habiletés visuelles de base (œil dominant, sensibilité aux contrastes, champ visuel et mémoire visuelle) et les habiletés oculomotrices complexes (acuité dynamique, facilité d'accommodation, convergence et strabisme) en lien avec des habiletés visuo-motrices (interception manuelle, locomotion guidée visuellement, jugement de profondeur). Les auteurs ont comparé deux niveaux d'expertise : athlète en sport d'interception et non-athlète. Globalement, les habiletés oculomotrices complexes seraient modérément corrélées au niveau d'expertise et les habiletés visuelles de base ne seraient que peu corrélées au niveau d'expertise. Les auteurs ont également comparé les catégories d'habiletés entre elles selon le niveau d'expertise. Les experts montrent une forte corrélation entre les habiletés visuelles de base et les habiletés visuo-motrices alors que cette corrélation est limitée (c.-à-d., toutes les habiletés ne sont pas concernées) et faible chez les novices. Ainsi, les auteurs montrent que les experts utiliseraient un large panel d'habiletés visuelles et visio-motrices comparées aux novices. Les études ont donc montré l'importance de la perception visuelle dans l'expertise (p. ex. l'anticipation, les recherches visuelles ou l'attention). Cependant, malgré un intérêt pour des sports similaires, les connaissances en badminton sont encore peu nombreuses. Nous développerons ces aspects dans le chapitre 3 (Partie Revue de littérature, page 45).

Ainsi, la définition du badminton nous a permis de comprendre l'activité et l'implication de facteurs de performance comme la perception visuelle et l'expertise. L'évolution de ces facteurs peut être envisagée à partir des contraintes liées à sa pratique en condition réelle. Ainsi, les sollicitations physiologiques, biomécaniques et cognitives des sets de badminton peuvent engendrer de la fatigue (Cabello Manrique, 2003).

1.4 Fatigue et badminton

La fatigue peut être définie comme une diminution des performances physiques associée à une augmentation de la difficulté perçue dans la tâche (MacIntosh et al., 2006). Cependant, il semble y avoir peu de connaissances sur la fatigue en condition réelle de match de badminton.

Concernant des points spécifiques de la pratique, des études évaluant l'impact de la fatigue sur des variables biomécaniques ont montré :

- une diminution de la force et de l'amplitude du mouvement de l'épaule dominante et non dominante lors de la simulation de deux matchs de badminton (Fernandez-Fernandez et al., 2021),
- une diminution de la puissance des jambes après un test de fatigue de badminton sur le terrain (Huang et al., 2019),
- une diminution de la vitesse et de la précision du volant, ainsi qu'une augmentation des erreurs lors de la réalisation de smash après un protocole de fatigue de sauts verticaux et de fentes (Mansec et al., 2019) et,
- une diminution du contrôle postural dynamique (test d'équilibre) des joueurs de badminton lors d'un protocole de fatigue impliquant six exercices différents d'agilité, de saut ou de résistance (Sharshin et al., 2011).

D'un point de vue neuro-psycho-physiologique, la fatigue mentale n'aurait pas d'impact sur les variables mesurées lors d'un test spécifique au badminton (fréquence cardiaque, performance lors d'un saut vertical, effort perçu, taux de lactate sanguin) (Kosack et al., 2020), mais augmenterait les temps de réaction à une tâche visio-motrices consistant à aller toucher ou ne pas aller toucher des points lumineux chez des joueurs de badminton (Van Cutsem et al., 2019). Chez des joueurs de badminton, la fatigue liée à un entraînement à haute intensité, puis à un entraînement en résistance implique une diminution des marqueurs de fatigue associés à la fréquence cardiaque, une augmentation de la fatigue perçue (*index de Hooper*), une augmentation des temps de réaction (simples et complexes) et une absence de modification des ondes cérébrales lentes (Valenzuela et al., 2020). Ainsi les auteurs s'accordent sur la présence de fatigue lors de match de badminton, mais l'induction et les effets de la fatigue ne sont pas toujours mesurés en condition réelle de pratique.

1.5 L'essentiel à retenir

- L'expertise en badminton se caractérise par la capacité à imposer son jeu à son adversaire.
- Les comportements visuels sont des facteurs de performance.
- Contrairement à d'autres sports d'interception et spécifiquement de raquette, le lien

entre les comportements visuels et l'expertise en badminton n'est pas encore défini.

— Les protocoles de fatigue et les mesures des effets de la fatigue en badminton peuvent être éloignés de la pratique réelle.

— Les connaissances sur le lien entre les comportements visuels et la fatigue en condition de jeu de badminton manquent dans la littérature.

Chapitre 2

De la perception à l'action

« La perception représente l'ensemble des mécanismes par lesquels nous reconnaissons, organisons et donnons du sens aux sensations que l'on reçoit à partir des stimuli de l'environnement » (Epstein & Rogers, 1995). Nous pouvons distinguer la sensation, correspondant à la détection et à l'acheminement d'une information sensorielle vers le cerveau, et la perception correspondant au traitement des informations sensorielles. Cette définition neurophysiologique de la perception comme une intégration des informations des six sens (vision, odorat, ouïe, goût, toucher et proprioception) implique le phénomène de transduction sensorielle qui consiste en la conversion des énergies sensorielles (physiques, chimiques) en énergies nerveuses transmises au système nerveux central. Chaque sens présente une perception qui lui est propre (c.-à-d., perception visuelle, perception auditive...). Ces perceptions nous permettent de prendre en compte les stimulations extérieures afin de maintenir notre homéostasie, c.-à.d., notre milieu intérieur constant.

2.1 Perception visuelle

« La vision constitue, à n'en pas douter, le canal privilégié par lequel nous explorons, évoluons et interagissons avec notre environnement » (Prevost, 2002). La perception visuelle traite des informations du sens le plus développé chez l'Homme (70 % des récepteurs sensoriels sont au niveau des yeux). Les trois quarts des neurones du cortex peuvent être mobilisés dans le traitement de ces informations visuelles (Marieb & Hoehn, 2019). Les ondes électromagnétiques visibles sont captées par les photorécepteurs localisés au niveau de la rétine. Ces ondes entrent

par la cornée puis suivent le chemin suivant : l'humeur aqueuse, le cristallin, le corps vitré, les cellules ganglionnaires, les neurones bipolaires, les photorécepteurs. Au niveau des récepteurs, les stimuli électromagnétiques sont traduits en potentiels d'action diffusés le long du nerf optique jusqu'au thalamus puis au cortex visuel primaire et aux aires visuelles associatives (Figure 2.1). L'intégration de l'information (quoi et où) se déroule au niveau des lobes temporal et pariétal puis une prise de décision s'effectue au niveau du cortex frontal lors d'un mouvement volontaire. La perception visuelle consiste à prendre en compte un ensemble de paramètres tel que le mouvement, la brillance, la couleur, la taille et la forme des informations reçues.

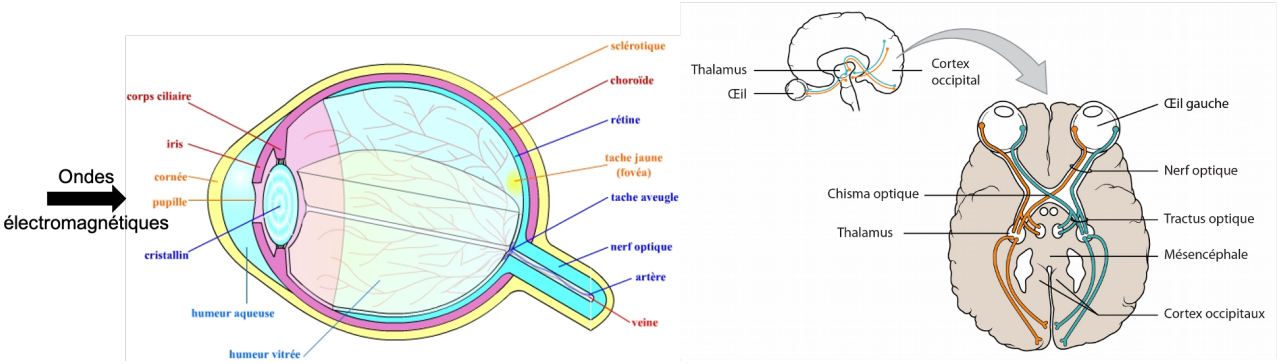


Figure 2.1 – Chemin parcouru par un stimulus visuel.
Source : https ://planet-vie.ens.fr

La théorie neuronale de la perception propose une interdépendance entre la voie visuelle de la perception (caractérisation de l'environnement) et la voie visuelle de l'action (information spatiale de l'environnement) via deux voies anatomiques corticales : la voie ventrale et la voie dorsale (Milner & Goodale, 2006). Ces deux voies présupposent deux types de visions : la vision centrale et la vision périphérique qui n'impliquent pas les mêmes structures et ne permettent pas de prélever les mêmes informations. Ainsi, les informations en provenance de la vision centrale sont plutôt traitées par la voie anatomique ventrale et les informations en provenance de la vision périphérique sont plutôt traitées par la voie anatomique dorsale. Le Tableau 2.1 propose un résumé descriptif des deux visions de la perception visuelle et la Figure 2.2 représente les deux voies (ventrale et dorsale) dans le système nerveux.

Tableau 2.1 – Types d'informations et structures des visions centrale et périphérique.

	Vision centrale	Vision périphérique
Autre nom	Vision cognitive/ventrale	Vision motrice
Voie	Ventrale/Parvotemporale	Dorsale/Magnopariétale
Informations	Détails et couleurs	Nuits et mouvements
Photorécepteurs majoritaires	Cônes	Bâtonnets
Fonction	Identification (objet, évènement, lieu)	Détection du mouvement
Répond à	Qu'est-ce-que c'est ?	Où est-ce que c'est ?
Processus	Conscient	Très peu conscient
Rôle	Extéroceptif	Extéroceptif et proprioceptif
Structures corticales	Du cortex visuel primaire à la région inféro-temporale	Du cortex visuel primaire au lobe pariétal postérieur

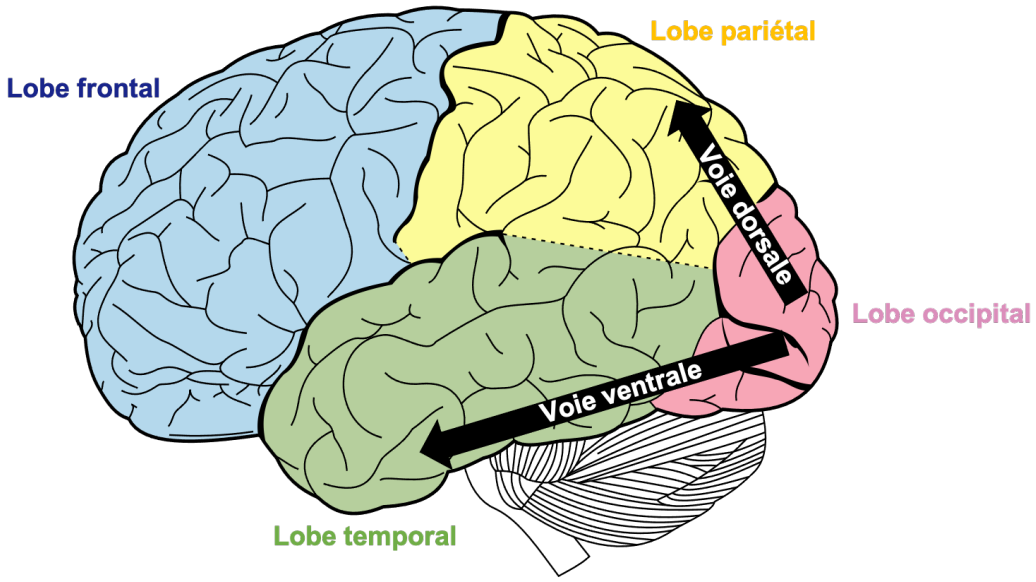


Figure 2.2 – Chemins et structures impliquées des visions centrale et périphérique.

Ces deux voies seraient donc complémentaires et permettraient une représentation visuelle de notre environnement en combinant ce que nous voyons avec l'information spatiale de ce que nous voyons. Ces représentations sont en permanence mise à jour par les entrées d'information via les yeux. Nous orientons notre regard en fonction de la tâche que nous réalisons. Cette orientation du regard détermine, en grande partie, les informations pertinentes contenues dans ces représentations permettant d'accomplir la tâche (Brenner & Smeets, 2017). À partir d'informations accessibles, ces représentations visuelles contiennent uniquement les informations retenues, impliquant un processus sélectif. Les auteurs soulignent la possible importance de mettre à jour en continu ces représentations afin de rapidement ajuster nos

actions selon l'environnement en continuelle évolution (Halász & Cunnington, 2012). Ainsi, pour réaliser une action en adéquation avec une tâche, il semblerait qu'il faille deux points essentiels : regarder au bon endroit pour prélever les informations pertinentes et réaliser l'action adéquate au bon moment.

2.1.1 Perception et mouvements oculaires

Prélever l'information visuelle dans notre environnement implique de prendre en compte à la fois notre propre mouvement et celui des éléments de l'environnement. La direction du regard est étroitement liée à la direction du déplacement (Decroix et al., 2017). Les comportements oculaires impliquent une combinaison de poursuite lente et de mouvement saccadiques des yeux (Montagnini et al., 2015). Les mouvements de poursuite, comme suivre la trajectoire d'un volant, sont le produit du circuit sensori-moteur. Les informations visuelles de mouvement sont issues de la voie visuelle dorsale. Les cellules détectant la direction et les vitesses sont retrouvées au niveau de la jonction entre les lobes occipital et pariétal. Les zones temporal-médial et temporale supérieure médiale décodent les informations de mouvement local d'un objet à plusieurs dimensions en l'isolant de son fond et en reconstruisant sa trajectoire (Born & Bradley, 2005). Ces zones temporal-médiale et temporale supérieure médiale sont reliées à l'initiation et au maintien des mouvements de suivi des yeux. La direction et la vitesse sont encodées par les neurones de la zone temporal-médiale et transmises à la zone temporale supérieure médiale pour former un modèle interne du mouvement de l'objet. Ce modèle est transmis aux zones frontales impliquées dans les contrôles de poursuite (champ oculaire frontal) ainsi qu'au tronc cérébral et au cervelet (Figure 2.3). Le système de poursuite implique une boucle de feedback négative où la vitesse de l'œil correspond à la vitesse de la cible afin de supprimer l'image en mouvement sur la rétine. Cependant, les délais des processus sensoriels et moteurs impliquent un fonctionnement en boucle ouverte (c.-à-d., un contrôle proactif : les retours sensoriels engendrés par la réalisation de l'action ne sont pas pris en compte dans la réalisation de cette action). Montagnini et al. (2015) proposent un espace de travail neuronal en trois boucles :

— Boucle 1 : Calculer le mouvement de l'image. Les zones concernées sont le cortex visuel primaire et médio-temporal.

— Boucle 2 : Calculer le mouvement de l'objet en intégrant les signaux rétinaux et extra-rétinaux. Les zones concernées sont la zone temporale supérieure médiale et le champ oculaire frontal.

— Boucle 3 : Élaborer une mémoire du mouvement à partir d'un processus de haut niveau. Les zones concernées sont les aires préfrontales, la zone temporale supérieure médiale et le champ oculaire frontal.

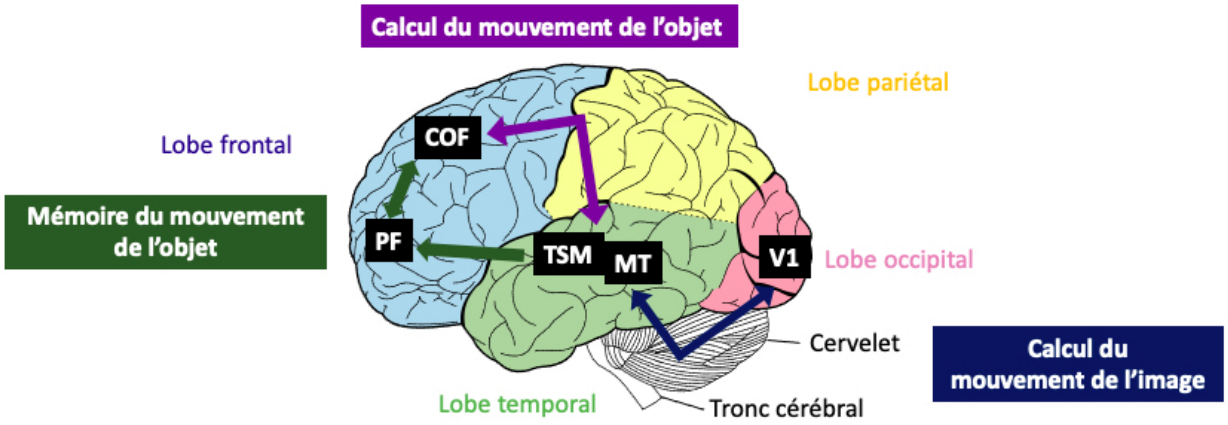


Figure 2.3 – Structures impliquées lors de la poursuite d'un objet à partir de l'espace neuronal en trois boucles proposé par Montagnini et al., (2015).
V1 : Cortex visuel primaire, MT : Cortex médio-temporal, TSM : Cortex temporal supérieur médial, COF : Champs oculaires frontaux ,PF : Aires préfrontales. Source : Wikimedia

2.1.2 Visions centrale et périphérique en sport

Vater et al. (2019) se sont récemment intéressés aux études sur la vision centrale et périphérique en sport : comment est-elle utilisée, quelle approche méthodologique existe-t-il pour l'étudier et quels mécanismes sous-jacents sont impliqués ? A partir d'une revue de littérature de vingt-neuf études, les auteurs catégorisent les comportements visuels des experts en deux catégories :

— un comportement avec peu de fixations de longue durée, qui correspondrait à une vision centrale/fovéale impliquant des processus permettant des informations détaillées.

— un comportement avec davantage de fixations de courtes durées, qui correspondrait à une vision périphérique impliquant des comportements de recherches analytiques.

Ce deuxième comportement implique des localisations du regard entre deux zones d'intérêt avec une attention distribuée afin de prélever des informations en périphérie du lieu de regard.

De manière plus spécifique, en sports de raquette, les experts fixent plutôt les futurs coups, les futurs lieux de rebond ou les espaces dits fonctionnels situés entre des zones d'intérêt. La vision périphérique semble importante soit pour évaluer les localisations des signaux pertinents en modifiant le lieu de regard soit pour localiser les mouvements des adversaires et des partenaires quand le regard est positionné dans l'espace. Afin d'étudier la vision périphérique, différentes méthodologies sont disponibles (contrainte du mouvement tête et yeux, manipulation de l'information disponible ou mesure du comportement visuel naturel), mais 86 % des études ont étudié la vision périphérique en observant le mouvement des yeux en condition naturelle. Cette condition in situ est importante pour la validité externe des études du comportement visuel dans le sport. Cependant, la question initiale des chercheurs n'est pas l'étude de la vision périphérique. Cette dernière est discutée a posteriori à partir de l'obtention de points de fixation entre des zones d'intérêt comme les lieux de futurs coups ou d'espaces fonctionnels. Seules les études de Piras et Vickers (2011) et Vansteenkiste et al. (2014) avaient pour objectif initial d'étudier la vision périphérique. Ainsi, Vater et al. (2019) recommande dans le futur d'ajouter méthodologiquement, à partir de la littérature sur le sport considéré, une zone d'intérêt relative à une localisation dite prédictive permettant de déterminer précisément les localisations du regard et le potentiel lieu de l'attention. Par exemple, en badminton, cette localisation prédictive pourrait être une zone d'intérêt sur le futur point d'impact du volant et de la raquette de l'adversaire. En effet, cette zone est située entre deux zones d'intérêt (volant et raquette) et correspond au futur lieu du coup adverse.

De manière plus précise par rapport aux comportements visuels globaux expliqués précédemment, les auteurs définissent trois types de regards aux fonctionnalités différentes liées à l'attention : tâche fovéale, regard ancré, pivot visuel (Figure 2.4).

La tâche fovéale est caractérisée par la présence de l'information pertinente au niveau de la fovéa c'est-à-dire en central. Ce regard est associé à une attention explicite (c.-à-d., une attention avec déplacement oculaire). L'attention explicite permet de placer un objet à analyser en détail au centre de la fovéa par une saccade oculaire (Drisdelle, 2019).

Le regard ancré est caractérisé par de longues fixations sur des zones d'intérêt différentes permettant une prise d'informations en vision périphérique. Ces longues fixations diminuent le coût associé aux mouvements de saccades des yeux lors de changements de lieu de regard. Ce

regard est associé à une attention implicite (c.-à-d., une attention sans déplacement oculaire). L'attention implicite localise des informations de notre environnement et traite plusieurs items présents dans notre champ visuel sans l'étape de fovéation (Luck, 2009).
Enfin, le pivot visuel est caractérisé par des changements fréquents de regard autour d'une localisation unique dite pivot. Ce regard est associé à la fois à l'attention explicite et à l'attention implicite.

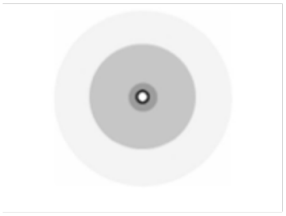
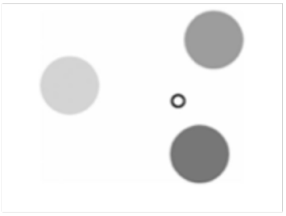
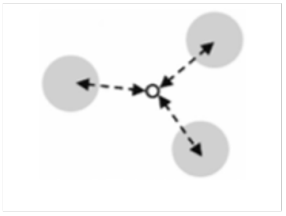
Tâche fovéale	Regard ancré	Pivot visuel
Processus de l'information de manière fovéale avec un lieu précis de focus attentionnel.	Processus de l'information de manière périphérique et limitation du coût des saccades.	Processus de l'information de manière périphérique afin de sélectionner la prochaine cible en vision centrale
		

Figure 2.4 – Trois types de localisation de regard en sport, représentation schématique adaptée et traduite de Vater et al., (2019).

Chacun des regards peut être ajusté au cours des situations et peut être présent en interaction. Les stratégies visuelles et la pertinence de l'utilisation des visions centrales et périphériques dépendent des sports et des tâches expérimentales proposées. Plus précisément, en basket-ball, Ryu et al. (2013) ont confirmé la capacité des experts à extraire l'information dans un environnement dynamique à partir d'un paradigme de la contingence du regard (techniques permettant à un écran d'ordinateur de changer de fonction selon la position des yeux du participant) sur une tâche de prise de décision (décider de faire une passe ou d'aller au panier). Ainsi, trois conditions différentes étaient présentées à partir de ce paradigme : vidéo en vue complète, vidéo en vision centrale uniquement et vidéo en vision périphérique uniquement. Les résultats principaux montrent que les experts (niveau national) répondent de manière plus juste et plus rapide que des joueurs moins experts (niveau universitaire) indépendamment de la condition de visualisation. Cependant, chez les experts, les recherches visuelles varient selon la condition de visualisation : en condition de vision centrale, les comportements visuels sont

davantage fixés sur le joueur à qui faire une passe et la fréquence des petites saccades augmente et la fréquence des grandes saccades diminue comparés à la condition de vue complète. À l'inverse, en condition de vision périphérique uniquement, la fréquence des petites saccades diminue et la fréquence des grandes saccades augmente en comparaison avec la condition de vue complète. Cette recherche a surtout apporté de nouveaux résultats sur les experts qui sont capables d'utiliser les visions centrale et périphérique pour prendre des décisions sur des informations dynamiques telles les situations sportives. Ces premiers résultats confirment le double rôle de la vision périphérique : la prise d'informations et la localisation de zones d'intérêt afin d'anticiper et de guider les futurs mouvements. Cependant, l'occultation complète de la vision périphérique lors de la situation vidéo en vision centrale uniquement ne peut expliquer les modifications des stratégies visuelles. Ainsi, afin de comprendre les raisons des modifications des stratégies visuelles selon les situations proposées, Ryu et al. (2015) ont de nouveau utilisé le paradigme de la contingence du regard en troublant des vidéos de basket-ball selon quatre degrés différents (d'une vue normale à une vue totalement trouble) et selon trois conditions (vidéo en vue complète, en vision centrale uniquement, en vision périphérique uniquement). Les participants de niveaux experts et novices devaient décider d'aller au panier ou de faire une passe en indiquant à quel partenaire. Tout d'abord, les experts conservent leur capacité à sélectionner les bonnes réponses dans les différentes conditions en comparaison aux novices. De plus, le fait de troubler les vidéos impacte toujours les comportements visuels des experts puis, selon les conditions, peut impacter la performance. Les conditions ne montrant aucune modification de la performance témoignent d'une adaptation des experts aux informations disponibles. Ainsi, ces études montrent l'utilisation conjointe des visions centrale et périphérique en sport. Les experts sont caractérisés par une adaptation des stratégies visuelles leur permettant d'extraire des informations, quel que soit l'environnement disponible (vision centrale et/ou vision périphérique).

2.2 Système perception-action

À travers les définitions de la perception puis de la perception visuelle, on comprend qu'il peut exister un lien entre la perception de notre environnement et les actions réalisées nous permettant d'agir, d'interagir et d'atteindre nos objectifs. Ce lien entre la perception et l'action

est nommé le système perception-action.

2.2.1 Théories cognitives du système perception-action

2.2.1.1 Définition globale

Les théories cognitives supposent que l'action réalisée découle d'une prise de décision effectuée à partir d'un traitement de l'information (Schmidt, 2005). Ce traitement est basé sur des connaissances stockées en mémoire permettant d'analyser le contexte (Schmidt, 2005). La perception est donc un processus cognitif interne, impliquant des déductions et des inférences à partir de l'expérience passée (Williams et al., 2000). Le traitement de l'information implique trois stades permettant de passer de la perception à l'action : les stades perceptif, décisionnel et moteur (Czyż, 2021 ; Sanders, 1990 ; Schmidt & Lee, 2017). Dans le stade perceptif, des informations visuelles disponibles sont sélectionnées dans l'environnement en fonction de leurs pertinences au regard de la tâche. Ces informations sont analysées en comparaison aux connaissances présentes en mémoire. Ainsi, ces connaissances sont dépendantes de l'expérience acquise dans diverses situations. Lors du stade décisionnel, la réponse motrice est sélectionnée et élaborée à partir des informations issues du stade précédent. Enfin, dans le stade moteur, la réponse motrice définie précédemment est programmée et mise en œuvre. À la suite de ces trois stades, l'exécution motrice est la partie observable du mouvement.

2.2.1.2 Théorie du codage commun

La théorie du codage commun (Prinz, 1997), inscrite en psychologie cognitive, propose des représentations internes communes entre la perception des évènements et la réalisation d'une action. La réalisation d'un mouvement crée une association entre sa production et les effets sensoriels générés. Les représentations perceptives et motrices partagées sont dépendantes de l'expérience motrice. Lors de la perception d'une action, l'activation des conséquences sensorielles et spatiales de l'action perçue impacte la planification et le contrôle de la réponse motrice (Schütz-Bosbach & Prinz, 2007). Les activations partagées entre perception et action permettent le processus d'anticipation (Wilson & Knoblich, 2005) par la construction d'une représentation interne des mouvements de son adversaire afin de simuler et prédire les futures actions de l'adversaire. Pour résumer, la théorie du codage commun permet une compréhension

bidirectionnelle des systèmes sensoriel et moteur dans les comportements visio-perceptivo-moteur (Brenton & Müller, 2018). Ainsi, en sport, la perception de l'action adverse activerait les représentations motrices de cette action ce qui permettrait de planifier et contrôler les actions à partir des conséquences sensorielles attendues. Ce codage commun pour la perception et l'action implique des structures neuronales reliées en réseau (Bidet-Ildei et al., 2011).

2.2.2 Système perception-action neuronal

Le système de l'action (système moteur) au niveau neuronal pourrait être activé simplement lors de la perception d'action. En effet, Jeannerod (2001) explique que le système moteur était activé pendant des actions d'intention, d'imagination, de reconnaissances d'outil, d'apprentissage par observation et de compréhension du comportement d'autrui. Certains chercheurs expliquaient cette activation par le système des neurones miroirs. Rizzolatti et al. (2001) ont montré une activation des neurones du cortex prémoteur chez des singes à la fois lors de la réalisation d'une action et à la fois lors de l'observation de cette même action exécutée par un autre singe ou un homme. Cependant, les neurones miroirs au niveau du cortex prémoteur frontal ont été étudiés chez le singe. Chez l'Homme, aujourd'hui, on parle de systèmes de neurones miroirs puisqu'il ne semble pas y avoir une zone définie propre à ces neurones et l'activation de ces neurones reste variable (Molenberghs, 2012). Ainsi, il semble y avoir des liens étroits en termes de connexions neuronales entre la perception et l'action à partir de représentations et d'activations communes, même si ces liens nécessitent des investigations supplémentaires chez l'Homme.

Les théories cognitives du système perception-action impliquent différents domaines d'application, dont le domaine sportif. Ainsi, quelles sont les connaissances sur le système perception-action dans le sport ?

2.2.3 Expertise visuelle en sport

Étudier le système perception-action en sport, c'est comprendre le fonctionnement de ce système à travers la performance et l'expertise. Ainsi, Brault (2011) parle d'une relation fermée entre la perception et l'action en sport par le fait que les sportifs récupèrent l'information de leur environnement (c.-à-d., adversaires, partenaires, entraîneurs) pour répondre correctement

et rapidement. Il définit la perception experte à partir de deux éléments : la stratégie visuelle et la réponse motrice. L'expertise en sport d'opposition implique de s'adapter à des contraintes dynamiques changeantes en prélevant l'information visuelle de son environnement pour réaliser une action motrice adéquate tout en imposant son style de jeu (Dieu et al., 2020 ; Seifert et al., 2013). C'est ainsi que l'expertise peut être définie comme (i) une capacité d'anticipation, (ii) une stratégie visuelle pertinente et adaptée au contexte et (iii) une prise de décision efficace selon l'approche cognitive sur les trois stades du traitement de l'information (Sanders, 1990). Pour interagir, l'expert dépend des informations issues de son environnement (informations spatiales et temporelles) (Williams & Davids, 1998).

Les fonctions globales de la prise de décision et de l'anticipation regroupent des fonctions cognitives complexes analysées dans un environnement naturel appelé la macro-cognition (Belling & Ward, 2015 ; G. Klein et al., 2003). Cette dernière fait notamment référence à la détection des problèmes, à la gestion de l'incertitude, à la gestion de l'attention ou à l'évaluation de la situation. La macro-cognition implique des fonctions mesurées sur le terrain puisque les fonctions globales de prise de décision et d'anticipation sont complexes, majoritairement effectuées sous pression temporelle avec la présence d'enjeux et de risques, spécifiques à un domaine et impliquent des conditions où tous les éléments ne sont pas contrôlables (G. Klein et al., 2003). La macro-cognition se distingue de la micro-cognition qui implique une analyse de manière séparée (G. Klein et al., 2003). La micro-cognition regroupe les différentes capacités perceptivo-cognitives étudiées au sein du système perception-action telles que la stratégie de résolution de problème, les processus en série/parallèle, l'estimation des probabilités. Ainsi, ces approches théoriques montrent l'intérêt d'étudier les fonctions globales (prise de décision et anticipation) en condition réelle de pratique sportive afin de conserver la complexité du milieu dans laquelle le système perception-action est sollicité.

2.3 L'essentiel à retenir

— La perception visuelle, perception la plus développée chez l'homme, est composée des voies corticales ventrale et dorsale complémentaires qui permettent une représentation visuelle de notre environnement en combinant ce que nous voyons avec l'information spatiale de ce que nous voyons.

— La poursuite d'un objet implique des structures corticales différentes afin d'évaluer la direction et la vitesse d'un objet, d'intégrer les signaux (rétinaux et extra-rétinaux) et d'élaborer une mémoire du mouvement.

— Le système perception-action en sport peut être une relation fermée : récupérer des informations (perception) de son environnement pour répondre correctement et rapidement (action). Selon les théories cognitives, ce système implique trois stades : perceptif, décisionnel et moteur.

— En sport, un lien entre les deux visions (centrale et périphérique) et les comportements visuels de fixations a été proposé ainsi qu'un lien entre l'attention et les lieux de regard : regard ancré, pivot visuel et tâche fovéale.

— Être expert en sport d'opposition c'est, entre autres, prélever l'information visuelle sous contrainte afin de répondre par une action motrice adéquate à partir d'une capacité d'anticipation, de stratégies visuelles pertinentes et adaptées et d'une prise de décision efficace.

Chapitre 3

L'anticipation et ses déterminants en sport

3.1 Anticipation

L'anticipation, comme la prise de décision, est un jugement permis par la coordination des habiletés perceptivo-cognitives (Williams et al., 2004). Les habiletés perceptivo-cognitives sont définies comme la capacité à localiser, identifier et utiliser l'information issue de l'environnement. Pour cela, elles font appel à des connaissances construites antérieurement et à des possibilités d'actions connues. L'objectif est de sélectionner et d'exécuter la réponse appropriée (Marteniuk (1976) repris par D. P. Broadbent et al. (2015)). Les habiletés perceptivo-cognitives font référence, par exemple, à l'attention visuelle, à la mémoire visuelle, à la recherche visuelle ou à la détection visuelle (Williams et al., 2004). Aux habiletés perceptivo-cognitives de l'anticipation peuvent s'ajouter les habiletés perceptivo-motrices permettant un lien entre les systèmes sensoriels et moteurs en adaptation à l'environnement (Temprado, 2005). Ces habiletés se révèlent essentielle dans la réalisation de performance sportive (Casanova et al., 2009).

3.1.1 Définition de l'anticipation dans le sport

L'anticipation concerne à la fois les actions de l'adversaire ou la trajectoire d'un objet. Dans un cas, elle est un jugement de reconnaissance du résultat de l'action réalisée par un autre athlète avant que cette action ne soit exécutée (D. P. Broadbent et al., 2015 ; Williams et al.,

2004). Dans l'autre cas, elle est une habileté à intercepter un objet en déplacement en sport, c'est-à-dire à prédire où et quand l'objet va arriver (Hodges et al., 2021), c'est l'anticipation-coïncidence. Williams et Jackson (2019b) remettent à jour un modèle initialement présenté par Williams (2009) afin de proposer un cadre d'analyse de l'anticipation (Figure 3.1). Ce cadre met en avant l'interaction qu'il existe entre les habiletés perceptivo-cognitives sous-jacentes au jugement d'anticipation : la reconnaissance des patterns, les probabilités assignées à la situation et l'utilisation des signaux posturaux. Ces trois habiletés sont étroitement liées aux comportements visuels et donc impactent les comportements d'anticipation. Trois principales contraintes influencent respectivement ces habiletés perceptivo-cognitives : la tâche (situation, contexte), l'athlète et l'environnement.

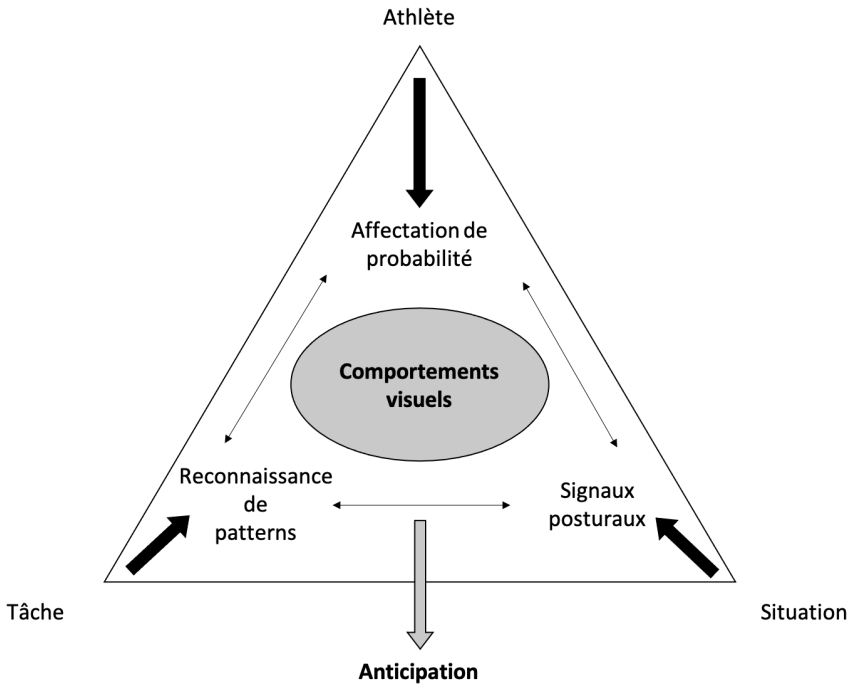


Figure 3.1 – Modèle du jugement d'anticipation à partir des interactions entre les habiletés perceptivo-cognitives et les contraintes. Modèle traduit à partir de Williams et Jackson (2019).

Du point de vue du perceptivo-moteur, deux types d'habiletés motrices existent en sport et sont associées à des anticipations différentes (Brenton & Müller, 2018 ; Schmidt, 1993). Les habiletés fermées sont des actions réalisées dans des environnements relativement stables et prévisibles (Magill & Anderson, 2017) comme le service en badminton. Les habiletés ouvertes correspondent à des actions en réponse à un adversaire dans des environnements dynamiques (Magill & Anderson, 2017), comme le retour de service en badminton. Les habiletés ouvertes font référence à l'anticipation des actions de l'adversaire plutôt qu'à la réalisation des actions

du sportif (Brenton & Müller, 2018). La performance sportive en badminton se traduit par le gain de match à partir d'une succession de gain de points via des coups gagnants. Les études sur l'anticipation et la performance ont montré une relation positive entre l'anticipation et la justesse des réponses données (Abernethy et al., 2001 ; D. T. Y. Mann et al., 2007 ; Morris-Binelli et al., 2021 ; Murphy et al., 2018). Ainsi, l'anticipation est un facteur de performance déterminé (Morris-Binelli & Müller, 2017 ; Williams et al., 2011). Analyser les liens entre l'anticipation et la performance semble opportun pour pleinement comprendre le système perception-action en sport (Williams & Ward, 2007).

3.1.1.1 Anticipation visuelle

Certains auteurs définissent l'anticipation visuelle comme une sous-entité de l'anticipation. Elle serait la capacité à prédire une localisation future d'un objet sans effectuer de réponse motrice (Morris-Binelli & Müller, 2017). Cependant, réussir à prédire le lieu et le moment du futur impact volant/raquette n'a d'intérêt que si le déplacement moteur permet d'arriver au bon moment, au bon endroit. Ainsi, l'anticipation visuelle est étroitement liée à la prise d'information visuelle, mais également aux réponses motrices tout aussi importantes (Brenton & Müller, 2018). Son efficience questionne récemment l'expertise visio-perceptive et l'expertise motrice : laquelle des deux impactent l'anticipation visuelle ? (Brenton & Müller, 2018). Un modèle de l'anticipation visuelle a été proposé impliquant deux systèmes visuels distincts en interaction : le système ventral (vision centrale) et le système dorsal (vision périphérique) lors d'une action d'interception (Milner & Goodale, 2006 ; van der Kamp et al., 2008). L'action d'interception fait appel à l'anticipation-coïncidence. Le système ventral prélève les informations sur l'adversaire (placement sur le terrain, cinématique) et la trajectoire précoce de l'objet. Le système dorsal contrôle l'exécution du mouvement avec un couplage en continu entre le déplacement et l'information visuelle (Figure 3.2). van der Kamp et al. (2008) précisent le lien entre les deux voies par le fait que la voie ventrale aide pour la perception et que la voie dorsale aide pour l'action.

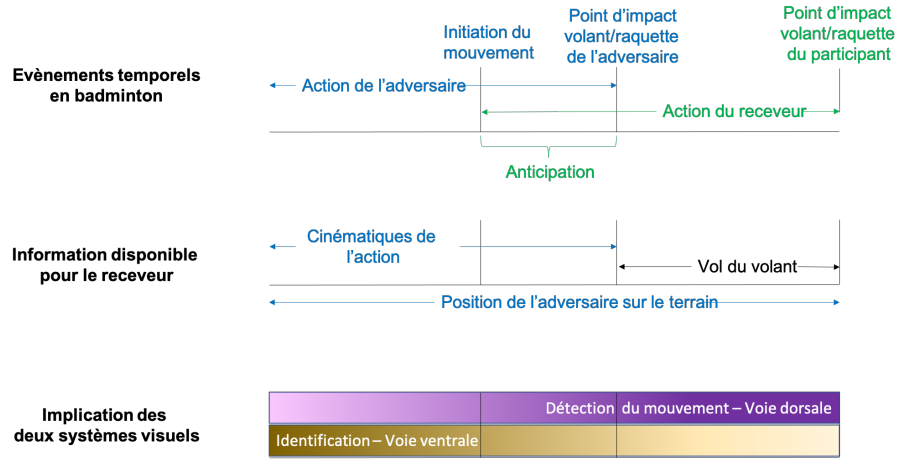


Figure 3.2 – Modèle d'interaction des deux systèmes ventrale et dorsale lors d'une action d'interception traduit de Van Der Kamp et al., (2008) et adapté au badminton.

Ainsi, l'anticipation visuelle d'un stimulus est la période qui précède la présentation de ce stimulus visuel (Kuan et al., 2018 ; Schmidt & Lee, 2017). Expérimentalement, elle est liée au temps de réaction, c'est-à-dire, l'intervalle de temps entre la présentation d'un stimulus (p. ex., le coup adverse) et la réponse motrice (p. ex., le déplacement du joueur). Ce temps de réaction reflète la rapidité du système nerveux à traiter l'information et à exécuter une réponse (Schmidt & Lee, 2017). Le temps de réaction visuel peut se décomposer en deux composantes : le temps pré moteur et le délai électromécanique. Le temps pré moteur correspond à l'intervalle de temps entre la présentation du stimulus et l'activation musculaire. Il reflète le processus de traitement de l'information c'est-à-dire identifier le stimulus, le traiter et générer une réponse. Le délai électromécanique correspond à l'intervalle de temps entre l'activation musculaire et la production de force. Il reflète le temps pour transformer l'activité électrique en activité mécanique (Schmidt & Lee, 2017). Pour mesurer les capacités d'anticipation, des tests spécifiques en laboratoire existent. Les tests *Bassin Anticipation Timer* ou *Bridge Coincident Timing Game* (Crocetta et al., 2019) demandent aux participants d'estimer le moment où le stimulus arrivera sur une cible désignée. Les paramètres de vitesse, de lieux d'initiation et d'arrivée des stimuli et des cibles peuvent varier. Ces tests donnent l'anticipation, c'est-à-dire le temps estimé par le participant sur le moment de l'impact stimulus-cible et/ou l'erreur associée à ce temps estimé et au temps réel.

L'anticipation a été définie et mesurée dans des tâches standardisées en laboratoire. Cependant, cette notion d'anticipation est un facteur de performance central dans les activités sportives et particulièrement dans les sports de raquettes. Elle a donc été étudiée par de

nombreux auteurs en conditions écologiques.

3.1.1.2 Anticipation et sport de raquette

Müller et Abernethy (2012) caractérisent l'anticipation dans les sports de frappe, comme le badminton, à partir de variables perceptives et motrices. L'anticipation est d'abord issue d'informations sur l'adversaire et de probabilités de jeu (information perceptive précoce) puis d'informations sur la trajectoire de l'objet (information perceptive tardive). Les informations précoces permettent de guider le positionnement global du corps, par exemple la direction du déplacement sur le terrain de badminton alors que les informations tardives permettent d'affiner l'interception, par exemple la hauteur du saut pour permettre le contact volant/raquette. L'anticipation a été étudiée en badminton à partir de deux grands champs scientifiques : la psychologie (Alder & Broadbent, 2017) et les neurosciences (Chen et al., 2019 ; Jin et al., 2011) afin d'apporter des informations spécifiques à ce sport et au niveau d'expertise. Cependant, seuls Alder et Broadbent (2017) caractérisent l'anticipation en situation de match de badminton chez des joueurs experts. Le temps de réponse moyen, c'est-à-dire le délai entre le contact volant/raquette de l'adversaire et la réponse observable du joueur, est de 262 $\pm$ 101 ms. Ce temps est identique au cours d'un match (entre les sets 1 et 2), selon l'issue du match (Gagné ou Perdu) et selon l'issue de chaque set (Set 1 Gagné, Set 1 Perdu, Set 2 Gagné ou Set 2 Perdu). Le temps de réponse le plus représenté est autour de 240 ms et le pourcentage de coups effectués à cet instant varie selon le type de match (simple, double, homme, femme). Les comportements d'anticipation sont définis par les temps de réponse inférieurs à 160 ms selon Triolet et al. (2013) en tennis. Ainsi, basé sur cette référence, Alder et Broadbent (2017) expliquent que les comportements d'anticipation en badminton ne sont présents que sur 1 ou 2 coups par échange, correspondant aux coups les plus critiques impliquant une forte pression temporelle. Ces caractéristiques concernent le jeu de joueurs experts.

3.1.1.3 Anticipation et expertise

En sport, l'anticipation est majoritairement mesurée à partir du temps de réaction et de la justesse des réponses données, que cela soit en condition de laboratoire ou sur le terrain. Les experts ont un jugement d'anticipation supérieur aux novices liées notamment à la capacité d'interprétation des informations disponibles (Farrow & Abernethy, 2015). Ces informations

peuvent être contextuelles et/ou des cinématiques (Farrow & Abernethy, 2015 ; Huys et al., 2008 ; Loffing & Cañal-Bruland, 2017 ; Müller et al., 2020). Cependant, l'anticipation experte est à considérer comme spécifique à la tâche et ne peut être comprise à partir de mesures généralisées comme l'acuité visuelle ou la perception de la profondeur (Farrow & Abernethy, 2015). Au-delà des informations utilisées, l'anticipation des experts, mesurée en laboratoire à partir de l'observation de vidéos de séquences de badminton, implique une augmentation de l'activité neuronale au niveau des cortex frontal, médial et latéral en adéquation avec l'observation et l'interprétation des actions des autres, en comparaison à des novices (Wright et al., 2011). En badminton, seuls Roberts et al. (2019) ont étudié l'anticipation en condition réelle de match de badminton. Ils ont comparé des joueurs de niveau universitaire et des joueurs de niveau intermédiaire en les filmant lors de la réalisation d'un match. Sur dix retours de service, les auteurs ont analysé, image par image, le temps d'initiation et la justesse de la réponse des retours de service. Le temps d'initiation était la différence entre le temps de contact volant/raquette du serveur et le temps du mouvement initial du receveur. La justesse de la réponse était l'adéquation entre la localisation (latéralité et profondeur) du volant et du receveur. Les auteurs montraient un effet de l'expertise sur le temps d'initiation (plus court) et la justesse des réponses (plus importante) lors des retours de service. Les auteurs concluaient par l'intérêt des conditions de mesure en situations écologiques permettant la présence des informations contextuelles et des caractéristiques invariantes à la performance sportive afin d'approuver les théories empiriques sur l'anticipation.

À partir, du jugement d'anticipation (Williams & Jackson, 2019b), de l'anticipation visuelle (van der Kamp et al., 2008) et de l'anticipation en sport de raquette (Müller & Abernethy, 2012), nous pouvons faire émerger trois déterminants de l'anticipation : les informations contextuelles, les recherches visuelles et l'attention visuelle.

3.2 Informations contextuelles/situationnelles

Les informations contextuelles, également nommées informations situationnelles sont des informations dynamiques, évoluant constamment : le score (Farrow & Reid, 2012), la position des joueurs sur le terrain (Loffing et al., 2016), les séquences de jeu, le rapport de force

(attaque/défense), les connaissances sur l'adversaire (ses préférences de jeu, Helm et al. (2020) ; la familiarité de jeu avec l'adversaire). Ces informations permettent d'effectuer des probabilités sur le déroulé des évènements. L'anticipation est également favorisée par le développement des connaissances tactiques (reconnaissance des situations ou de l'adversaire, McRobert et al. (2011)) et des connaissances du contexte de jeu (coups effectués précédemment ; connaissance du sport, Paull et Glencross (1997)).

Le développement est un facteur modifiant la capacité à inclure les informations contextuelles dans l'anticipation visuelle. En effet, l'étude de Ganglmayer et al. (2021) validait la théorie du développement de la compréhension de l'action en comparant des enfants à des adultes (jeunes et plus avancés) sur l'utilisation d'informations contextuelles pour prédire le chemin choisi par un agent parmi plusieurs sur un écran. Seuls les adultes ont été capables d'extraire ces informations pour prédire correctement les actions. De même, en tennis, Farrow et Reid (2012) ont manipulé les informations sur le score lors de la prédiction de l'arrivée d'un service en tennis visionné sur écran (douze types de service et toujours le même service au premier point du jeu). Deux groupes d'âge de niveau avancé (début d'adolescence et fin d'adolescence) ont été recrutés afin d'évaluer l'effet de l'âge sur le type de service. Les joueurs les plus âgés avaient repéré le pattern du premier point dès le neuvième service reçu, contrairement aux plus jeunes joueurs ne l'ayant pas remarqué. Ainsi les auteurs concluaient par l'importance des informations situationnelles en complément des informations cinématiques pour une meilleure anticipation. L'utilisation de ces informations était dépendante de l'âge de développement.

Au-delà du développement comme facteur d'amélioration de l'utilisation des informations contextuelles, la littérature s'accorde sur l'intérêt des informations contextuelles dans l'anticipation en sport. Milazzo et al. (2015) se sont intéressés à la contribution des informations contextuelles sur l'anticipation des experts en karaté. Ils ont comparé les réponses motrices (temps de réaction, justesse), les recherches visuelles et les connaissances de participants experts et novices lors de différents scénarios d'attaques. Les attaques étaient présentées de manière aléatoire pour favoriser les informations probabilistes, exceptée une attaque qui revenait toutes les quatre actions. Au-delà des réponses plus rapides et plus justes des experts témoignant

d'une meilleure anticipation, les auteurs avaient mis en exergue l'intérêt des connaissances antérieures des experts sur la probabilité des évènements par une corrélation négative entre le temps de décision, la durée de fixation et les connaissances et ; une corrélation positive entre la justesse des réponses, la durée de fixation et les connaissances. Les auteurs concluaient par un processus perceptivo-cognitif supérieur chez les experts. De même, D. L. Mann et al. (2014) ont étudié l'effet d'actions préférentielles d'un adversaire (information contextuelle) sur l'anticipation visuelle de gardiennes de but en handball en pré- et post-session d'entraînement. La session d'entraînement consistait, pour un groupe de participants, à voir deux tireurs avec une préférence de tir vers un coin (groupe expérimental) et, pour un autre groupe de participant, à voir ces mêmes tireurs sans aucune préférence de tir (groupe contrôle). Lors de la session d'entraînement, les gardiennes devaient décider du lieu d'arrivée du ballon à partir de clips vidéo occultés puis de clips vidéo complets (présence d'un feedback). Lors des sessions pré- et post-entraînement, uniquement des clips occultés de deux tireurs étaient présenté : un tireur avec une préférence de tir et un tireur sans préférence. Les gardiennes devaient décider du lieu d'arrivée du ballon. Aucun des deux groupes n'étaient informés des préférences de tir lors des sessions pré- et post- ni lors de l'entraînement. Les mesures effectuées étaient la justesse des réponses et le temps de réponse. Les résultats montraient une justesse de réponses augmentée en post-test pour le groupe expérimental lors de tirs effectués en situation congruente (entraînement et post-test avec préférence de tir) et une justesse diminuée en situation incongruente (préférence à l'entraînement, mais pas en post-test). De plus, le groupe expérimental prenait davantage de décisions vers les coins. Le groupe contrôle ne montrait aucune différence de résultats entre le pré et le post-test. Les auteurs concluaient par l'intérêt des informations contextuelles pour la performance. D'autres études ont été effectuées sur l'importance des informations contextuelles dans l'anticipation et ont montré des résultats similaires (en football, Gredin et al. (2018), en volleyball, Loffing et al. (2015), et en cricket, McRobert et al. (2011) ; Runswick et al. (2018)).

Ainsi, les informations contextuelles sont un déterminant du jugement d'anticipation, peuvent être entraînées et sont dépendantes de l'expertise.

3.3 Recherches visuelles

Les recherches visuelles font référence aux informations cinématiques comprenant les stratégies de prélèvement de l'information et le comportement visuel (Loffing & Cañal-Bruland, 2017). Ces deux points sont influencés par l'expérience visuelle et motrice et peuvent être entraînés (Appelbaum & Erickson, 2018). La stratégie de recherche visuelle est l'habileté à sélectionner des indices visuels précis ou à identifier les mouvements de jeu (Williams et al., 2000). De manière globale, une acuité visuelle, un champ de vision large et une reconnaissance des éléments périphériques permettent aux joueurs d'anticiper les évènements (Phomsoupha & Laffaye, 2015). Afin d'intercepter une cible, il faut anticiper le futur point d'arrivée à partir de la combinaison de la position et de la vitesse perçues de la cible. Nos actions sont à la fois guidées par ce que nous voyons, mais également par ce que nous anticipons (Brenner & Smeets, 2017).

3.3.1 Mesures des recherches visuelles

L'objectif majeur des études est d'identifier les stratégies de récupération des informations entre les experts et les non-experts afin de comprendre l'anticipation (Morris-Binelli & Müller, 2017). Afin de mesurer l'anticipation en condition de pratique à partir des recherches visuelles, deux méthodes majeures ont été proposées : l'occultation temporelle et l'analyse oculomotrice.

3.3.1.1 Occultation temporelle

Définition

L'occultation temporelle a pour objectif de déterminer la quantité d'information nécessaire pour prédire une action (Mallek, 2019). Elle consiste à couper une scène visuelle à différents moments clés de l'action (Morris-Binelli & Müller, 2017). Il est ensuite demandé aux participants de prédire la suite de la scène visuelle. Par exemple, en sport de raquette, les séquences sont coupées juste avant le coup adverse ou juste après. Les participants doivent alors décider du futur lieu d'arrivée de la balle. La plupart des études présentent une séquence vidéo dans une perspective proche de la réalité afin d'avoir les mêmes sources d'information. Cependant, cette méthode a également été utilisée dans un cadre plus naturel à l'aide des lunettes occultantes (Müller et al., 2009).

Variables mesurées

Les principales variables mesurées sont la justesse des réponses données en fonction du temps d'occultation ainsi que le délai de réponse du participant.

Les limites majeures du paradigme d'occultation sont la nécessité d'avoir des idées préconçues pour établir les occultations, la possibilité que l'information visuelle reste en mémoire à court terme avant la réponse du participant et l'absence d'information contextuelle (Williams et al., 2000).

3.3.1.2 Analyse oculomotrice

Définition

L'analyse oculomotrice mesure les points de fixations et les objets suivis par les yeux permettant de prélever les informations pertinentes afin d'anticiper (Morris-Binelli & Müller, 2017).

Variables mesurées

Les données oculomotrices sont liées aux recherches visuelles impliquant le mouvement des yeux, de la tête et du corps. Les mouvements des yeux sont (Klostermann et al., 2019) :

- Saccade : mouvements des yeux rapides et balistiques reflétant notre changement de point de fixation. La durée moyenne d'une saccade est de 50 ms (Volkmann, 1986).
- Poursuite : mouvement volontaire consistant à suivre un stimulus des yeux afin de le laisser dans sa vision fovéale.
- Vergence : mouvement permettant d'aligner la vision fovéale de chaque œil avec les cibles situées à des distances différentes.
- Vestibulaire : mouvements réflexes permettant de stabiliser l'œil pour compenser les mouvements de la tête (Purves et al., 2001).

Les variables mesurées par la méthodologie oculomotrice peuvent être les saccades, les clignements des yeux et les fixations. Les clignements des yeux provoquent des interruptions dans notre vision par la fermeture de notre paupière toutes les secondes environ et durent de 100 à 150 ms (Volkmann, 1986). Les fixations sont généralement définies comme des moments où le regard reste stabilisé sur une zone d'intérêt pendant au moins 100 ms sans grande déviation (avec un angle inférieur ou égal à 1°) (Piras & Vickers, 2011). La localisation des fixations donne des informations sur les zones d'intérêt. Le nombre et la durée de fixation donnent des

informations sur la quantité d'information prélevée.

Outil de mesure

L'outil utilisé est l'eye-tracker. Il existe des eye-tracker fixes ou mobiles, monoculaires ou binoculaires, simples ou reliés à d'autres systèmes comme des systèmes de capture de mouvement. L'eye-tracker envoie une lumière proche de l'infrarouge aux yeux. Cette lumière se reflète dans les yeux. Ce reflet est capté par les caméras de l'eye-tracker. Après filtrage et calculs, la détection des yeux par les caméras de l'eye-tracker permet d'obtenir une estimation du lieu de regard sur une scène visuelle. Cette estimation est permise à partir de la calibration du matériel, aussi appelé étalonnage. La calibration consiste à estimer les caractéristiques des yeux de chacun des participants (forme, propriété de réfraction et de réflexion de la lumière) pour effectuer le filtrage et les calculs de manière individualisée afin d'obtenir les lieux de regard. Ainsi, pour obtenir une calibration précise, les participants doivent fixer différents points appelés cibles et de manière continue afin d'obtenir suffisamment de données (Harezlak et al., 2014). La calibration d'un eye-tracker dépend de différents facteurs : modèle de l'eye-tracker, méthode employée, expérimentateur, physiologie de l'œil du participant (couleur des yeux, caractéristiques des paupières) (Nyström et al., 2013).



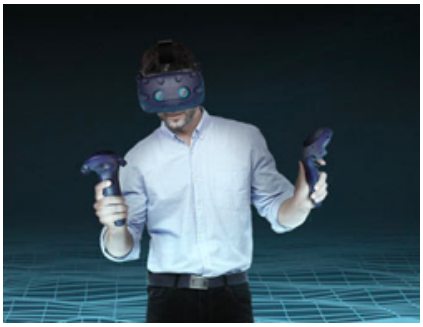
(a) Eye-tracker fixe simple, modèle Tobii Pro Spectrum



(b) Eye-tracker mobile monoculaire simple, modèle Pro de Pupil Labs



(c) Eye-tracker mobile binoculaire simple, modèle Tobii Pro Glasses 3



(d) Système intégré à la réalité augmentée, modèle Vive Pro Eye

Figure 3.3 – Différents types d'outil de mesure eye-tracker.
Sources : https ://www.tobiipro.com, https ://pupil-labs.com et https ://www.vive.com

Limite technique de l'outil

Par un impact sur la calibration, l'ensemble des facteurs cités précédemment (modèle, méthode, expérimentateur, physiologie) peut influencer la détection de l'œil et donc la récolte des données. De plus, Petersch et Dierkes (2021) ont montré un effet d'erreur de réduction de la pupille, c'est-à-dire une mauvaise estimation de la taille de la pupille, avec l'utilisation de lunettes portables d'eye-tracking. Cet effet est dû à trois éléments lors de l'enregistrement du mouvement oculaire par une caméra : (i) la réduction des perspectives lorsque les yeux bougent en dehors des caméras, (ii) la forme plus elliptique des yeux due à la pupille par rapport à la caméra, et (iii) la réfraction de la cornée. Enfin, l'eye-tracker mobile présente les inconvénients d'être moins fiables dans la calibration, moins précis et moins rapides dans la récolte des données oculomotrices que l'eye-tracker fixe.

Intérêts et limites de l'utilisation de l'eye-tracker en sport

En 2017 puis en 2018, Hüttermann et al. (2018) et Kredel et al. (2017) nous dressaient

respectivement un état des lieux des recherches sur les données oculomotrices en sport. Soixante-neuf pourcents des études utilisant un eye-tracker (mobile ou fixe) se déroulaient en condition de laboratoire (Hüttermann et al., 2018). Les deux tiers des études eye-tracker cherchaient à comparer les athlètes experts à des moins experts (Hüttermann et al., 2018). Kredel et al. (2017) se focalisaient sur les études sur le sport en condition écologique. Cinquante-sept pourcents des études dans ce domaine ont été publiées ces 10 dernières années, montrant ainsi l'intérêt nouveau pour ce domaine d'application. À partir d'une méta-analyse sur soixante études, Kredel et al. (2017) montraient que seulement quinze études impliquaient une tâche demandant une réponse naturelle du participant sur quarante études se déroulant en laboratoire. Hüttermann et al. (2018) alertaient sur la nécessité d'expérimentation présentant à la fois : (i) une validité interne (effet observé correspondant uniquement à la manipulation de la variable indépendante), (ii) une validité externe (application possible d'un cadre à un autre), (iii) une validité écologique (Kredel et al. (2017) précisent des conditions de vue réaliste et des réponses naturelles) et, (iv) une qualité dans les données prélevées. La validité externe impliquait des résultats significatifs concernant les effets de l'expertise sur les comportements visuels et les prises de décision (Gegenfurtner et al., 2011 ; D. T. Y. Mann et al., 2007). De même, les effets de l'expertise semblaient plus évidents dans des conditions d'expérimentations plus proches des conditions naturelles comparées à des études en laboratoire (Dicks, Button, & Davids, 2010 ; D. T. Y. Mann et al., 2007).

La qualité des données impliquait des outils eye-tracker à haute fréquence d'échantillonnage, notamment pour les sports dits rapides comme le badminton. Cependant, 51 % des études analysées par Kredel et al. (2017) utilisaient un eye-tracker de 30 Hz. La haute fréquence d'échantillonnage dépend du matériel utilisé. En effet, les études en sport choisissant un eye-tracker fixe utilisent un matériel avec une fréquence d'échantillonnage jusqu'à 500 Hz alors que les études avec un eye-tracker mobile utilisent un matériel jusqu'à 60 Hz (Kredel et al., 2017). Kredel et al. (2017) ajoutaient la nécessité d'avoir d'importante taille d'échantillons comme critère de qualité pour une étude analysant les données oculomotrices. Un échantillon correspond à un essai pour un participant. Ainsi, un critère de qualité pour une étude est le nombre important d'essais visionnés par participant. Les auteurs invitaient les chercheurs à effectuer davantage d'études en condition écologique chez des experts dans des situations

impliquant du mouvement (Kredel et al., 2017). La limite de ces situations relevait de la difficulté à définir le début et la fin de chaque mouvement et le début et la fin de l'anticipation.

Les principales limites soulevées par l'utilisation de l'eye-tracker, étaient la validité du matériel et la mesure uniquement de la vision centrale. En effet, les questions posées par les mesures effectuées sont la différence entre regarder (perception visuelle fovéale) et voir (traitement de l'information) ; la possibilité de modifier l'attention sans modifier le regard et ; la méconnaissance sur le traitement des informations visuelles périphériques (Abernethy, 1988). Williams et Ericsson (2005) relevaient la distinction entre regarder et voir puis entre fixer et prélever de l'information. En effet on peut voir en fixant une zone sans prélever d'information, tout comme on peut fixer une zone en extrayant des informations en périphérie (vision périphérique). En effet, il n'est pas possible d'établir une relation directe entre la fixation visuelle et l'attention sélective (Williams et al., 2000). Ainsi, de nombreuses études définissent une zone d'intérêt dans un espace vide définit comme un point d'ancrage permettant de voir les objets en mouvement par la vision périphérique (Klostermann, 2019). Vater et al. (2019) ont mis en évidence l'existence en sport de trois types de regards permettant de la prise d'informations visuelles à partir des visions fovéale et périphérique : regard ancré, pivot visuel et tâche fovéale. Ils associent chaque regard à une attention, mais ils alertent sur le fait que mesurer les comportements visuels ne signifie pas mesurer directement l'attention visuelle (partie Revue de littérature, chapitre De la perception à l'action, section Système Perception-Action, page 40). Pour compléter, il existe une forte corrélation entre la direction du regard et l'allocation spatiale (Nakashima & Kumada, 2017). De futures recherches devraient associer ces comportements visuels aux autres déjà prélevés (Hausegger et al., 2019).
Ainsi, les études oculomotrices permettent de répondre aux questions suivantes : Quand ? Où ? Quoi ? Comment ? (dans quel ordre chronologique.) Les résultats récents nous montrent l'intérêt des mesures oculomotrices dans la compréhension de l'anticipation et nous apportent des perspectives d'amélioration des protocoles de mesure.

À partir des mesures énoncées (occultation temporelle et analyse oculomotrice), les études sur les stratégies de prélèvement de l'information et les comportements visuels permettent

d'envisager de nouvelles perspectives de recherche afin de compléter les données existantes tout en étant sensible aux limites des outils utilisés. Ainsi, à quelle question scientifique les études ont-elles répondu et quels principaux résultats ont-elles mis en lumière ? Des comportements visuels efficaces et des stratégies optimisées favorisent une meilleure capacité d'anticipation chez les experts (Hodges et al., 2021 ; Hüttermann et al., 2018 ; D. T. Y. Mann et al., 2007). D. T. Y. Mann et al. (2007) soulignaient le lien entre les comportements visuels (information visuelle pertinente), l'anticipation (sur l'action d'un adversaire ou sur la trajectoire d'un objet) et la performance par des réponses motrices plus rapides et plus justes. Ainsi, les recherches visuelles en fonction de l'expertise et de la performance ont largement été étudiées dans la littérature selon deux conditions expérimentales : en condition de laboratoire et au plus proche des conditions de terrain.

3.3.2 Intérêts et limites des conditions expérimentales

Dicks, Button, et Davids (2010) ont comparé les comportements moteurs et visuels chez des gardiens de but en football dans deux conditions expérimentales et différentes conditions de réponses (vidéo : réponse verbale et avec un joystick et *in situ* : réponse verbale, par un mouvement simplifié ou par un mouvement d'interception complet). Les résultats montraient des comportements visuels différents selon les conditions expérimentales. En condition contrôlée, les participants regardaient uniquement le tireur alors qu'en condition *in situ* et spécifiquement lors du mouvement d'interception, ils regardaient le mouvement du tireur et la trajectoire du ballon. Ainsi, les conditions contrôlées ne peuvent pas reproduire les conditions *in situ* et la nécessité de conserver le lien entre perception-action lors d'analyse de situation sportive est essentielle. Les comportements visuels sont effectivement dépendants de la tâche et du contexte : le nombre de fixations et la durée de fixations (Roca et al., 2013) ainsi que les zones d'intérêt fixées (Dicks, Button, & Davids, 2010). Les caractéristiques visuelles, mais également les temps de réaction et la justesse de réponses, sont impactés par les présentations des stimuli (statique, dynamique, réaliste, modalités, annotations), le type de tâche (complexité, temps requis, contrôle de la tâche) et le domaine d'application (sport, médecine, transport, autre)(Gegenfurtner et al., 2011).

Ces résultats vont dans le sens d'Aziz (2017) qui expliquent que les mesures dans un cadre

naturel avec un matériel eye-tracker permettent d'observer et de décrire ce qu'il se passe réellement. Il compare les recherches menées en laboratoire et sur le terrain et définit les approches scientifiques selon différents facteurs comme la nature de la question, le cadre de conduite de la recherche, l'orientation disciplinaire et l'expérience du chercheur. Les recherches menées dans un environnement naturel obtiennent des résultats révélateurs de la variété des situations et peuvent être généralisées. De plus, les environnements expérimentaux questionnent les effets des dimensions proposées (2D ou 3D) sur la perception et la mémoire de travail (Nejati, 2020). Ainsi, en 3D, la taille de la pupille augmente ainsi que le nombre de saccades et le nombre de fixations. De plus, la charge est plus importante en 3D pour le système perceptif mais la mémorisation est meilleure. Les propriétés des stimuli présentées impactent donc les processus perceptivo-cognitifs. Cependant, seules 31 % des études utilisant un eye-tracker sont effectuées en dehors d'un laboratoire (Hüttermann et al., 2018).

Spécifiquement en sport de raquette, Kolman et al. (2019) ont relevé l'importance du lien entre les habiletés tactiques (anticipation, stratégie de recherches visuelles, connaissances tactiques) et les habiletés techniques (vitesse de balle, gestes) afin d'analyser une performance réalisée. Cependant, l'utilisation d'un eye-tracker dans des conditions expérimentales induit une perte de données puisque le matériel n'est pas encore optimisé pour effectuer des mouvements sportifs dynamiques et rapides malgré des algorithmes permettant d'associer des poursuites à des fixations (Aksum et al., 2020).

Roberts et al. (2019) résument les principales limites associées aux tâches effectuées en condition de laboratoire à travers une approche dite réductionniste. Ces études ne reflètent pas les invariants des éléments caractérisant la performance puisque le couplage avec l'action n'est pas possible et d'après une approche neurobiologique, les processus visuels de la voie dorsale ne sont pas abordés. Ces limites sont dues à l'environnement contrôlé proposé, aux stimuli limités, aux possibilités de réponses limitées et à l'évaluation que d'une partie de la situation. Les aspects positifs sont la reproductibilité des données, le contrôle des contraintes spatio-temporelles et la richesse de la littérature. Ce déroulé expérimental permet d'expliquer les comportements observés, car il est possible de manipuler les facteurs et d'obtenir une réflexion sur les liens de cause à effet. Aziz (2017) propose une démarche scientifique autour d'un compromis pour un environnement suffisamment contrôlé (validité interne), mais dont les

résultats sont généralisables (validité externe). De plus, M. R. Smith, Zeuwts, et al. (2016) soulignent l'importance de la situation puisque la modification du focus attentionnel peut être plus significative en condition réelle qu'en condition contrôlée puisque le nombre de stimuli non pertinents est plus important.

Recherches visuelles, conditions expérimentales et expertise

Les études sur les recherches visuelles en sport, et notamment les conclusions apportées invitent à analyser les comportements visuels au regard de l'approche de la performance experte (Ericsson et Smith (1991) ; Williams et Ericsson (2005), partie Revue de littérature, chapitre Badminton, section Expertise et badminton, page 27). L'expertise sportive est décrite comme une capacité à démontrer des performances athlétiques supérieures (Starkes & Allard, 1993). La spécificité des experts est d'autant plus significative que le protocole expérimental s'approche des conditions réelles de pratique (Abernethy et al., 1993). Les mesures en condition de pratique sont spécifiques au niveau d'expertise et les résultats sur la performance ne peuvent être transférés entre les novices et les experts. Analyser les comportements visuels c'est comprendre les stratégies de recherches visuelles selon des approches temporelles et spatiales en fonction des performances réalisées : répondre correctement (prise de décision et réalisation motrice correcte) et rapidement (temps de réaction) (D. T. Y. Mann et al., 2007 ; Vickers & Williams, 2007 ; Williams & Ericsson, 2005). Ces recherches visuelles efficientes sont possibles, car les informations disponibles sont regroupées permettant des associations et des inférences (Sohn & Doane, 2003). Gegenfurtner et al. (2011) ont analysé les tailles d'effet d'études utilisant l'eye-tracker afin de comprendre les résultats au regard de trois théories et ceci dans différents domaines (sport, médecine, transport ou autres). La première théorie : mémoire de travail à long terme (Ericsson & Kintsch, 1995) induit des temps de fixation plus courts chez les experts que les novices par un encodage et une récupération des informations visuelles via la mémoire de travail (Brams et al., 2019). L'hypothèse de l'information réduite (Haider & Frensch, 1999) implique moins de fixations de plus courtes durées sur des zones redondantes à la tâche et plus de fixations de longue durée sur des zones pertinentes à la tâche chez les experts comparés aux novices par l'allocation sélective de l'attention des ressources sur les informations pertinentes (Brams et al., 2019). Enfin, le modèle holistique de la perception d'image (Kundel et al., 2007) suppose des durées de saccades plus longues et des temps de première fixation plus courts

pour des zones pertinentes à la tâche par l'extraction des informations des régions distales et parafovéales (Brams et al., 2019). La littérature invite donc à analyser les comportements visuels des experts en condition réelle de pratique et à comprendre les résultats au regard de trois théories sur la prise d'informations visuelles.

Ainsi, les chercheurs doivent être alertes sur les avantages et les limites des protocoles expérimentaux utilisés. Précédemment, les études sur les recherches visuelles en badminton en condition de laboratoire ont montré l'importance des informations cinématiques sur l'adversaire et la raquette, une différence de recherches visuelles selon le niveau d'expertise et selon la performance réalisée : les premières informations utilisées (160 ms avant le contact volant/raquette) étaient celles proximales (tronc) permettant de prédire la direction du coup puis les informations distales étaient utilisées plus tardivement (bras 80 ms avant puis raquette au moment du contact) (Abernethy & Russell, 1987a ; Abernethy & Zawi, 2007 ; Abernethy et al., 2008 ; Alder et al., 2014 ; Hagemann et al., 2006). Nous avons montré l'intérêt, pour une meilleure compréhension des mécanismes et de la performance, d'effectuer des mesures en condition proche de la réalité de la pratique sportive.

3.3.3 Recherches visuelles, expertise sportive et performance

3.3.3.1 En sport

Comportements visuels globaux

En sport, les recherches visuelles en situation sont peu étudiées par la difficulté à mettre en place les protocoles expérimentaux et la faisabilité des prises de mesures. Les études s'accordent sur la capacité des experts à encoder des informations cinématiques subtiles sur l'adversaire avant que le mouvement ne soit réalisé (p. ex., revue de littérature en sport de combat, Russo et Ottoboni (2019) ; Vickers (1996b)). Les experts se focalisaient sur le timing de leurs actions et les novices sur l'exécution des actions (Decroix et al., 2017). Par exemple, *in situ*, à l'aide de lunettes à cristaux liquides, Rosalie et Müller (2013) ont déterminé l'effet de l'expertise sur la capacité à bloquer une attaque (poing ou pied) lors d'un paradigme d'occultation temporelle (quatre temporalités) en karaté. Ils ont montré que les réponses données étaient au-delà de la chance dès la première temporalité d'occultation pour les experts (en amont du mouvement de l'adversaire), dès la troisième temporalité pour les presque-experts (après

l'initiation du mouvement de l'attaque) et uniquement lorsque toute la scène était visible pour les novices. L'analyse des recherches visuelles en situation montre que les experts effectuent des fixations moins souvent, mais plus longtemps et présentent un pivot visuel (Kato, 2020 ; Vickers, 1996b ; Vickers & Adolphe, 1997). Les experts sont caractérisés par une utilisation conjointe des visions centrale et périphérique. Spécifiquement, ils utilisent la vision périphérique pour prendre des décisions et la vision centrale pour exécuter une action (van Maarseveen, Savelsbergh, & Oudejans, 2018). À l'inverse, les novices sont caractérisés par une vision focalisée (Kato, 2020). Récemment et dans un cadre expérimental entièrement *in situ*, Aksum et al. (2020) ont étudié les comportements visuels de joueurs experts au poste de milieu centre lors de match de football. À partir d'une méthodologie d'analyse adaptée au contexte avec une utilisation d'un eye-tracker mobile, les auteurs ont différencié deux types de phases : attaque et défense et deux distances de balle : courte et lointaine. Les résultats obtenus montraient que les durées de fixations augmentaient avec le nombre de zones d'intérêt visibles et que les zones d'intérêt étaient modifiées selon le type de phases et la distance de la balle. Cependant la durée moyenne de fixation était inférieure à d'autres études dont le protocole se déroulait en laboratoire. Les auteurs expliquaient (i) leur premier résultat par la complexité de la situation réelle impliquant davantage de temps nécessaire pour le joueur pour prendre des informations et une décision, (ii) leur second résultat par les différences de protocoles expérimentaux. Enfin, aux informations cinématiques s'ajoutent les informations contextuelles. Les expertes ont un plus haut niveau de sophistication dans les conditions de réalisation des actions, c'est-à-dire la capacité de donner deux ou trois détails sur la situation (Afonso et al., 2012).

Ainsi, les sportifs experts se caractérisent par une capacité d'anticipation à partir de comportements visuels spécifiques (longue durée de fixations ; faible nombre de fixations) et adaptés à la situation rencontrée ainsi qu'à partir de l'utilisation conjointe de la vision centrale et périphérique.

Résultats contradictoires

Cependant, comme nous avons pu l'analyser en condition de laboratoire, les résultats précédents ne peuvent être généralisés. En effet, Decroix et al. (2017) ont monté que certaines variables des recherches visuelles ne variaient pas avec l'expertise : durées moyennes de fixation, fréquence de fixation et temps de *quiet-eye* (c.-à-d., dernière fixation ou dernière poursuite avant l'initiation

d'une réponse motrice spécifique, Vickers et Williams (2007)). L'absence de variation selon l'expertise est contradictoire avec d'autres études de la littérature (Kato, 2020 ; Vickers, 1996b ; Vickers & Adolphe, 1997). Afonso et al. (2012) ont qualifié les recherches visuelles de joueuses expertes en volleyball d'exploratoires par plus de fixations sur davantage de zones d'intérêt. Ainsi, ces résultats sont contradictoires avec la littérature qui caractérise plutôt les comportements des populations de novices comme exploratoires (Connor et al., 2018). Enfin, chez des gardiens de but de football, Dicks, Davids, et Button (2010) ont montré l'importance des différences individuelles dans la capacité d'interception de penalty avec feinte et sans feinte avec un système d'analyse cinématique de mouvement. Les résultats ont montré que les différences de capacités d'action impactaient le temps et la justesse des réponses motrices et que les gardiens les plus rapides attendaient avant d'initier leur mouvement comparé aux plus lents. Les comportements d'anticipation dépendaient donc de la situation et des capacités physiques des joueurs puisque le fait de pouvoir initier un mouvement plus tardivement offre des avantages dans la lecture de l'action.

Performance

Concernant les liens entre recherches visuelles et performance, seuls van Maarseveen, Savelsbergh, et Oudejans (2018) différenciaient des patterns de recherches visuelles selon les options d'action possibles (passe ou tir) et les réponses données (correctes ; incorrectes) lors de l'analyse de situations 3 contre 3 en basket-ball. Prendre une décision correcte est associée à des transitions entre le joueur attaquant faisant écran, le défenseur et l'espace entre les joueurs alors qu'une décision incorrecte est associée à des transitions entre des points de fixation à distance (panier, défenseur dans le coin), l'écran et l'espace entre les joueurs.

Ainsi, les études en condition de terrain ont montré des résultats contradictoires en questionnant les recherches visuelles au service de l'anticipation à partir des paradigmes de l'expertise et de la performance.

3.3.3.2 En sport de raquette

En sport de raquette, un certain nombre d'études s'est intéressé aux recherches visuelles en condition de pratique sur des coups spécifiques. Ainsi, dans une démarche expérimentale écologique, Farrow et Abernethy (2003) ont étudié la capacité des joueurs de tennis à prédire

la direction du service adverse en situation *in situ* chez trois niveaux de joueurs (expert, intermédiaire, novice) sous deux conditions (couplage perception-action par la réalisation d'un retour de service ; non-couplage par une verbalisation du lieu d'arrivée du service). L'expérience 1 comparait les experts et les novices à travers une tâche d'occultation temporelle *in situ* (cinq temporalités à partir de lunettes à cristaux liquides). L'expérience 2 s'effectuait selon les mêmes conditions que l'expérience 1 chez des joueurs de niveau intermédiaire. Les résultats montraient un effet de la condition sur l'anticipation (le couplage permet plus de réponses correctes avec l'augmentation de la visibilité) et de l'expertise (les experts sont meilleurs pour prédire, d'autant plus en condition de couplage). Ainsi, les processus perceptifs impliqués dans le jugement d'anticipation étaient dépendants de l'expertise, du type d'information disponible et du degré de couplage perception-action proposé par la tâche.

Afin d'obtenir des informations complémentaires sur l'expertise selon les conditions expérimentales, Farrow et al. (2005) ont comparé des joueurs experts et novices en situation de laboratoire (expérience 1, vidéo) et en condition *in situ* (expérience 2, lunettes à cristaux liquides) dans la prédiction de retour de service. Deux conditions étaient présentées aux participants : occultation temporelle (stimuli dynamiques, cinq temporalités) ou fenêtre temporelle mouvante (stimuli statiques, quatre temporalités). Les résultats ne montraient pas d'effet de la condition de présentation ni de l'expertise, mais un effet de la temporalité d'occultation et un effet de l'occultation selon la condition sur la justesse des réponses. Concernant les experts, le temps avant le contact volant/raquette de l'adversaire est une temporalité clé pour prélever des informations et répondre correctement. Les auteurs confirmaient la supériorité des performances des experts lors de tests de terrain et d'autant plus comparés aux tests de laboratoire (expérience 1). Les résultats en laboratoire étaient indicatifs de la performance de l'anticipation en condition réelle.

De manière complémentaire sur le lien entre expertise et informations disponibles, Abernethy et al. (2001) ont comparé des joueurs experts et intermédiaires en squash à partir d'une occultation temporelle (lunettes à cristaux liquides). Les performances étaient analysées au regard du côté de déplacement et de la profondeur de déplacement par rapport au coup perçu. Les experts répondaient de manière plus juste dans les conditions où aucun signe de mouvement de l'adversaire n'était visible comparés aux intermédiaires.

Concernant le service en tennis de table, Avilés et al. (2019) soulevaient le peu de représentativité des expériences à travers une revue de littérature. En effet seulement 13 % des études avaient un haut degré de représentativité selon des critères définis par les auteurs. Il n'y avait pas de consensus sur le fait que les experts en tennis anticipaient le lieu d'arrivée du coup avant le contact balle/raquette. Ainsi, l'action des joueurs était guidée par la prise d'informations visuelles autour de l'action du serveur et sur les premiers moments de vol de la balle. Les zones d'intérêt sur l'adversaire et la balle sont transversales aux autres sports de raquettes. Ainsi, (Hayhoe et al., 2012) ont évalué les comportements visuels en condition réelle de jeu de squash chez des joueurs experts. Les participants portaient un eye-tracker mobile monoculaire monté d'une caméra. Les résultats montraient des regards surtout sur la balle et l'utilisation de la vision périphérique pour obtenir les informations sur l'adversaire. Les auteurs ont proposé un pattern de mouvements oculaires : saccade anticipatoire sur le mur puis poursuite sur la balle puis saccade anticipatoire sur la trajectoire puis œil stationnaire jusqu'au contact raquette/balle.

En sport de raquette, les études proposant des procédures expérimentales proches de la réalité ont montré l'importance de la disponibilité des informations sur le serveur et sur la trajectoire de la balle dans l'anticipation à partir des visions centrale et périphérique, ainsi que la supériorité de l'expertise. De plus, la majorité des études utilisent l'occultation temporelle plutôt que l'eye-tracker expliquant le peu d'analyse oculomotrice en sports de raquette.

3.3.3.3 En badminton

Enfin, seules deux études se sont intéressées aux recherches visuelles lors de coups spécifiques en badminton en condition de pratique. S. Kim et al. (2007) ont proposé de comparer les stratégies de recherches visuelles lors de smash coup droit en badminton chez des joueurs experts et universitaires à partir d'un système eye-tracker mobile binoculaire. Les mesures effectuées différenciaient la phase préparatoire et la phase d'attaque sur le temps de réaction, le temps de mouvement, le temps moyen de fixation, la zone d'intérêt et la durée du *quiet-eye*. Les experts montraient des temps de réaction plus courts, de plus longues durées de fixation et un temps de *quiet-eye* plus précoce et plus long comparé aux joueurs de niveau universitaire. Lors de la phase de préparation, les experts fixaient davantage la zone entre le volant, les bras et

l'épaule alors que les joueurs universitaires fixaient davantage le volant et la raquette. Lors de la phase d'attaque, les experts fixaient davantage le point d'impact volant/raquette alors que les joueurs universitaires fixaient davantage la raquette et le visage de l'adversaire. Cependant, ces résultats ne sont que le résumé d'une communication lors d'une conférence. Il n'existe pas de version publiée et complète nous permettant d'avoir un avis éclairé sur cette recherche. Enfin, dans la seule étude publiée à notre connaissance, Chia et al. (2017) ont comparé les recherches visuelles de joueurs experts et de joueurs loisirs lors de la réalisation de service. À partir d'un eye-tracker mobile monoculaire, les auteurs ont mesuré le nombre et la durée des fixations, la fréquence passée sur chaque zone d'intérêt définie (six zones) ainsi que le temps et le lieu de *quiet-eye*. Les joueurs experts effectuaient plus de fixations sur plus de zones que les joueurs loisirs. Les joueurs experts regardaient majoritairement les coins des zones de service et le filet comparé aux joueurs loisirs qui regardaient essentiellement le volant.

Les connaissances apportées par les paradigmes d'occultation et d'analyse oculomotrices permettent de comprendre l'anticipation des experts à partir des recherches visuelles c'est-à-dire des informations prélevées (les zones d'intérêt) et la temporalité des informations prélevées. A ces paradigmes s'ajoutent les informations contextuelles. Ainsi, les informations obtenues avant l'action de l'adversaire sont des informations probabilistes situationnelles et des attentes du participant, les informations avant le lâcher de l'objet sont des informations cinématiques sur l'adversaire, enfin les informations sur le début de la phase de vol sont des informations sur la sensibilité aux signaux de mouvement(Müller & Abernethy, 2012). L'évidence empirique des informations probabilistes a été questionnée (Alain & Proteau, 1978) mais peut être la seule source d'information lors d'actions sous forte pression temporelle (tennis de table, cricket). La technique de l'occultation temporelle avec fenêtre mouvante (stimuli statiques) a mis en lumière que l'anticipation experte était liée à l'acquisition d'information évoluant avec le pattern du mouvement et non avec le fait d'avoir plus de temps de vision ou un temps de process plus long (Farrow et al., 2005). En sport, les principaux résultats montrent que les experts ont une capacité d'anticipation supérieure en comparaison aux novices, qui se caractérise par des durées de fixations plus longues et moins nombreuses ainsi que par l'utilisation des visions centrale et périphérique. Cependant, ces résultats sont difficilement généralisables puisqu'ils peuvent dépendre du sport considéré, de la performance réalisée et des conditions d'expérimentation. De

plus, les études sur les recherches visuelles en condition de terrain sont encore peu nombreuses, notamment à cause de la difficulté à utiliser le matériel eye-tracker en condition réelle de pratique. En effet, en badminton, à notre connaissance, une seule étude récente s'est intéressée aux recherches visuelles selon deux niveaux d'expertise. Cependant, l'analyse était centrée sur la réalisation de service, impliquant une action motrice et des zones d'intérêt spécifiques à ce coup. Des questions sur la caractérisation des recherches visuelles en situation d'échanges de badminton selon les niveaux d'expertise restent donc posées. La recherche visuelle couplée à la détection des éléments pertinents permet la prise d'information visuelle. Cependant, la recherche et la détection des informations visuelles ne sont possibles que si le sportif fait attention aux éléments de son environnement. Ainsi, le jugement d'anticipation est, entre autres, déterminé à partir de deux habiletés perceptivo-cognitives : la prise d'information visuelle et l'attention visuelle.

3.4 Attention visuelle

3.4.1 Définition de l'attention

L'attention visuelle, déterminant de l'anticipation, est une habileté perceptivo-cognitive définie comme le maintien d'un focus sur un objet, une action ou une pensée (Reynolds, 2015). Elle peut se définir comme un système puisqu'elle implique plusieurs opérations interdépendantes comme la sélection d'information, la focalisation, la mobilisation de ressources, la résistance aux stimuli moins pertinents (Camus, 1996). Ainsi, l'attention serait la capacité à sélectionner des positions spatiales (Posner, 1980), des dimensions visuelles tels les couleurs ou les mouvements (Treisman & Gelade, 1980 ; Wolfe et al., 1989) et des objets (J. Duncan & Humphreys, 1984). Elle fait notamment appel à la mémoire de travail et à la mémoire à long terme pour fonctionner (Kristjánsson & Draschkow, 2021).

La perception ne peut être réduite à la détection de stimuli. Ainsi, l'attention permet d'être alerte et de capturer ce qu'il se passe (Grondin, 2016). Le lien entre l'environnement et l'individu peut se faire dans les deux sens : si l'environnement capture l'attention alors on parle de processus ascendant ; si l'individu décide de prêter attention alors on parle de processus descendant. L'attention allouée de manière trop importante sur un stimulus peut provoquer

une attention aveugle provoquant une absence de considération sur les éléments suivants. On perçoit l'aspect sélectif de l'attention et les possibles effets d'une telle attention en contexte sportif : identification et analyse d'un objet (effet positif) mais, réduction de la capacité à identifier d'autres informations possiblement pertinentes (effet néfaste).

3.4.2 Différents types d'attention

Au sein du système attentionnel, on peut distinguer trois types d'attention (Lithfous et al., 2018)(Figure 3.4) :

— Attention divisée/partagée : elle est le traitement de plusieurs informations en simultanée.

— Attention soutenue : elle maintient l'efficience lors d'une activité cognitive sur du long terme.

— Attention sélective/focalisée : elle correspond au couplage de l'orientation de l'attention et de la focalisation de l'attention (Palix, 2006).

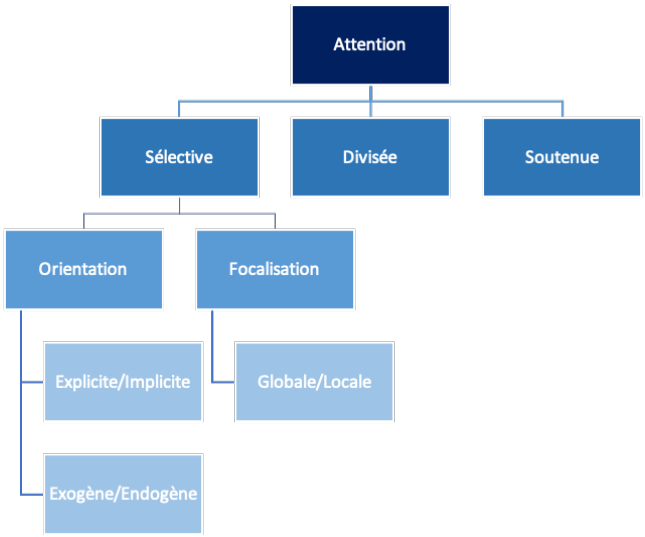


Figure 3.4 – Les types d'attention

L'attention sélective nous intéresse particulièrement ici afin d'en comprendre le fonctionnement puis le lien avec l'anticipation et les recherches visuelles. Ainsi, l'attention sélective se caractérise par son orientation spatiale et sa focalisation.

L'orientation de l'attention peut être explicite (avec déplacement oculaire) ou implicite (sans déplacement oculaire), exogène (attention automatique) ou endogène (attention délibérée de la personne) (Connell et al., 2016). L'orientation de l'attention est fortement impactée par la

sémantique attribuée à l'environnement (Henderson et al., 2018 ; Peacock et al., 2019). Cette information peut notamment permettre de comprendre les différences attentionnelles et de recherches visuelles entre des sportifs experts et novices dont la scène sportive visionnée peut avoir des éléments sémantiques différents selon le niveau d'expertise. Cependant, l'attention n'augmente pas la valeur, mais elle module l'information pertinente parmi de possibles choix (Sepulveda et al., 2020).

La focalisation de l'attention peut être globale ou locale. L'attention globale est une vision holistique expliquée par des processus automatiques et donc rapides. L'attention locale est une vision analytique impliquant des processus lents descendants. Les focalisations globale et locale sont mesurées par la tâche de Navon (1977). La Figure 3.5 présente un stimulus utilisé lors de la tâche de Navon (1977). Navon (1977) a montré que le traitement global précédait le traitement local. Ainsi, nous verrions d'abord la grande lettre avant la petite lettre. De manière générale, nous verrions la forêt avant de voir les arbres composant cette dernière. Ce phénomène est appelé la précédence globale et peut être impacté par différents facteurs comme la fatigue (van der Linden & Eling, 2006).



Figure 3.5 – Exemple de stimulus présenté lors de la tâche de *Navon*.

3.4.3 Différents modèles de l'attention

L'attention visuelle intervient dès les premiers niveaux du traitement visuels (McMains & Somers, 2004). Parmi les modèles explicatifs de l'attention, nous pouvons retrouver quatre grands modèles (Williams et al., 2000) :

— Modèle de la capacité limitée de l'attention : il y aurait un filtre entre la capacité limitée du système visuel et la richesse de l'environnement.

Si la capacité est dépassée, alors la performance est diminuée (sélection précoce : filtre attentionnel de D. E. Broadbent (1958) ; atténuation de (Treisman, 1964) ; sélection tardive : mémoire sélective de (Norman, 1968 ; Mackay, 1973)).

— Modèle de la capacité flexible de l'attention : il renvoie à la notion de stocks de ressources. Les ressources allouées dépendent de la tâche, de l'individu et de la manière d'utiliser ces ressources (Kahneman, 1973).

— Modèle des ressources attentionnelles multiples : l'attention serait plusieurs bassins de ressources individuelles ayant des capacités propres. Trois catégories de ressources : les étapes de traitement, la modalité des stimuli et la nature des informations traitées (Wickens, 2002).

— Modèle des réseaux attentionnels : modèle connexionniste de l'attention présentant un réseau neuronal d'unités de traitement (Rumelhart, 1989).

Au sein de ce modèle des réseaux attentionnels, l'attention visuelle impliquerait trois systèmes indépendants : alerte, orientation, contrôle exécutif (Posner, 1980). L'alerte module le niveau de l'attention en répondant à la question : *« quand faire attention ? »* (Dehaene, 2018). Elle comporte deux composantes : alerte phasique (signal d'alerte, alerte à court terme) ou alerte tonique (vigilance, alerte à long terme). L'orientation correspond au focus attentionnel soit au déplacement des ressources attentionnelles dans l'espace. Elle permet de sélectionner un objet en répondant à la question : *« à quoi prêter attention ? »* (Dehaene, 2018). Enfin le contrôle exécutif correspond à la résolution de conflit perceptif et à la discrimination entre la cible et les distracteurs. Cette fonction répond à la question : *« comment les informations sélectionnées sont traitées ? »*(Dehaene, 2018). Le contrôle exécutif permet d'activer les représentations perceptives et les actions motrices pertinentes, d'inhiber les moins pertinentes et de résister aux distractions. Le modèle de Posner (1980) semble faire consensus aujourd'hui et est le plus utilisé dans la littérature. Il a été mesuré par l'*Attentional Network Test* (Fan et al., 2002). Cette tâche consiste à indiquer l'orientation de la flèche centrale présentée dans un ensemble de cinq éléments les uns à côté des autres (Figure 3.6). Il y a deux conditions principales à la présentation de cet ensemble d'éléments : condition spatiale (présentation en haut ou en bas de l'écran d'ordinateur) et condition entre les éléments (orientation des éléments dans le même sens ou non). Avant cet ensemble de cinq éléments, un stimulus apparaît à l'écran qui est la présentation ou non d'un

astérisque appelé signal. La présentation de ce signal implique deux conditions : condition de présence (absence ou présence du signal) et condition spatiale (signal centré, en haut de l'écran ou en bas de l'écran).



Figure 3.6 – Exemple de stimulus présenté lors de l'*Attentional Network Test*.

Dans l'*Attentional Network Test* (Fan et al., 2002), il s'agit d'être attentif à la présence d'un signal (composante alerte), d'orienter son attention au lieu d'apparition du signal (composante orientation) et de ne pas être distrait par les éléments présentés autour de la flèche centrale (composante contrôle exécutif). Ainsi, les composantes de l'attention visuelle nous informent sur la sélection des informations visuelles. A la sélection de ces informations, nous retrouvons les connaissances sur la recherche et la détection des informations visuelles, au service de la prise d'informations visuelles. Cependant, quel est le lien entre prise d'informations visuelles, spécifiquement recherches visuelles, et attention ?

3.4.4 Attention et recherches visuelles

Le lien entre mouvements des yeux et attention est fortement questionné dans la littérature. Ainsi, il a été mis en évidence que les mouvements oculaires permettaient de manière indirecte de mesurer l'attention selon de nombreux auteurs (Hoffman & Subramaniam, 1995 ; McCarley & Kramer, 2007 ; Rayner, 2009 ; Sharafi et al., 2015). Cette vision théorique provient de l'hypothèse de la correspondance entre les fixations oculaires et le lieu de traitement de l'information développée par Just et Carpenter (1980). Ainsi, un nombre de fixations important sur une scène témoigne d'une recherche visuelle inefficace (Goldberg & Kotval, 1999) alors qu'un nombre de fixations important sur une localisation témoigne d'une zone d'intérêt (Poole et al., 2005). Le mouvement oculaire de la saccade ne donne pas d'information sur le traitement des stimuli, mais est une mesure permettant d'évaluer le déplacement de l'attention. La recherche visuelle de cibles à partir des fixations et des saccades implique un déploiement de l'attention visuelle guidé par cinq facteurs : un guidage ascendant induit par les caractéristiques des cibles, un guidage descendant induit par les connaissances sur les caractéristiques des cibles, un guidage de la scène vers des lieux pouvant contenir les cibles, un guidage basé sur la valeur attribuée

à certaines caractéristiques et un guidage basé sur l'historique des recherches précédentes (Wolfe & Horowitz, 2017). Dans le chapitre sur les recherches visuelles dans le sport, Williams et al. (2000) reprennent une représentation modélisée d'Abernethy (1988) des stratégies de recherches visuelles avec l'attention visuelle comme médiateur. En effet, les informations de l'environnement sont sélectionnées afin de ne conserver que les informations pertinentes en fixation visuelle permettant par la suite une sélection de la réponse et une décision. Cette étape de sélection avec la phase de fixation visuelle implique l'attention.

La définition générale de l'attention ainsi que les types d'attention, les modèles développés et le lien attention-recherches visuelles permettent d'appréhender l'implication de l'attention dans différents domaines d'application dont le sport.

3.4.5 Attention et sport

L'attention dans le domaine sportif manque encore de littérature et présente des limites liées au recrutement de pratiquants non spécialistes, de tâche éloignée du sport et de la non-prise en compte des différentes entrées sensorielles (Williams et al., 2000). Cependant, la littérature sportive sur l'attention et ses effets sur d'autres variables permet d'obtenir des informations sur les liens entre attention et type d'exercices physiques (Moreira et al., 2021), attention et type de sport (Meng et al., 2019), attention et expertise (Hagemann et al., 2006) et attention et recherches visuelles en sport(Vater et al., 2019).

3.4.5.1 Attention et type d'exercices physiques

Le contrôle attentionnel est dépendant du type d'exercices physiques effectués. Une revue de littérature (18 articles) a montré les effets de l'exercice aigu et chronique en double tâche sur les performances cognitives et motrices. Les résultats ont montré qu'un exercice aigu diminuait les performances cognitives alors qu'un exercice chronique améliorait notamment le contrôle attentionnel (Moreira et al., 2021).

3.4.5.2 Attention et type de sports

L'attention spatiale et les composantes de l'attention sont dépendantes du type de sport pratiqué. La comparaison entre des élites en badminton, en volleyball et chez des non-sportifs

sur l'attention et les habiletés sensorimotrices montre un effet de l'expertise et du type de sport (Meng et al., 2019). Les habiletés mesurées étaient l'attention spatiale (tâche de changement de tâche, tâche de détection des changements), la mémoire (tâche de mémoire visuelle, tâche de détection des changements), l'inhibition motrice (tâche du signal-stop) et le réseau attentionnel (*Attentional Network Test*). Les experts montraient de meilleures performances dans les tâches mesurant la capacité à changer de tâche, la mémoire visuelle et le réseau attentionnel. De plus, les joueurs de badminton étaient meilleurs en mémoire visuelle et en rapidité sensorimotrice simple (mesuré sur un bloc de la tâche de changement de tâche).

3.4.5.3 Attention et expertise sportive

L'expertise a un effet sur l'attention de manière globale et sur des aspects spécifiques de l'attention. Ainsi, les experts sont capables de moduler le focus attentionnel en fonction de la tâche réalisée (Nougier et al., 1991). L'expertise permet l'automatisation des gestes au service d'une réalisation motrice avec un minimum d'attention (Mallek, 2019). Enfin, les experts se différencient des novices par des capacités attentionnelles plus importantes (Abernethy & Russell, 1987a ; Memmert, 2009 ; Williams & Grant, 1999).

Concernant l'aspect sélectif de l'attention, il est meilleur chez les experts, caractérisé par des réponses plus justes et plus rapides selon l'étude d'Abernethy et Russell (1987b). Les experts sont capables de sélectionner une information pertinente au détriment d'une autre (Abernethy, 1988 ; Williams & Davids, 1998).

Concernant l'orientation de l'attention, les experts de sport dit à habiletés ouvertes présentent une orientation de l'attention plus flexible dans l'espace (Enns & Richards, 1997 ; Lum et al., 2002). Hagemann et al. (2006) ont proposé un entraînement vidéo basé à trois niveaux de joueurs de badminton (expert, intermédiaire, novice). Ils ont utilisé un stimulus exogène afin d'orienter l'attention sur trois zones d'intérêt : le haut du corps, le bras et la raquette selon trois temporalités par rapport au coup effectué par un adversaire. Les résultats ont montré un effet de l'entraînement sur les comportements d'anticipation (justesse des réponses en termes de profondeur et de largeur) sur les joueurs novices (pré-post et rétention), sur les joueurs intermédiaires (pré-post), mais pas sur les joueurs experts. Ainsi, l'entraînement vidéo en orientant l'attention visuelle permet d'améliorer le jugement d'anticipation.

Attention, expertise et expérience sportive

Récemment, Klatt et Smeeton (2021) se sont intéressés aux effets de l'âge et de l'expérience sur la perception, l'attention et la prise de décision. La tâche vidéo de prise de décision lors d'une situation en football analysait ces variables selon différents degrés de vision périphérique. Les résultats montrent un effet de l'âge et de l'expérience sur l'attention : plus les participants étaient âgés et avaient de l'expérience, plus leur performance sur la reconnaissance du déplacement de leurs partenaires était élevée. Ainsi, les auteurs concluent par les effets de l'expertise, développée par l'expérience, sur l'attention visuelle, comme prérequis dans la reconnaissance de postures.

3.4.5.4 Attention, recherches visuelles et sport

Si des liens existent entre les recherches visuelles et l'attention, il faut rester prudent sur les conclusions données par les études analysant les comportements visuels. En effet, la vision périphérique impliquant une attention localisée à un endroit différent du lieu de regard (attention implicite) n'est pas mesurable par les comportements visuels (Vater et al., 2019). Hüttermann et Memmert (2017) ont développé la notion de fenêtre attentionnelle lors de la perception de deux objets périphériques simultanés. Le champ attentionnel est une ellipse horizontale cinq à six fois plus petite que le champ visuel humain soit d'environ 29 °. La taille du focus attentionnel peut varier selon des facteurs non modifiables expérimentalement (âge, genre, expérience) et modifiables expérimentalement (comportements visuels, exercice physique proposé, orientation de la motivation, humeur). L'attention explicite est placée au niveau de la fovéa, c'est cette attention qui est mesurée par l'eye-tracker. Cependant, en sport collectif comme le basket-ball, le handball ou le football, la majorité des informations reçues implique une vision périphérique liée à une attention visuelle implicite (Ryu et al., 2013). De manière complémentaire, Golomb (2019) ont expliqué le déplacement attentionnel entre deux zones d'intérêt comme un processus où d'un côté il faut éteindre l'attention sur une zone d'intérêt et de l'autre, allumer l'attention sur l'autre zone d'intérêt. Ce processus implique une période dynamique où l'attention sera temporairement sur les deux localisations tel un projecteur. Ainsi, de nouveau, le lien entre les recherches visuelles et l'attention en sport doit être étudié avec précaution.

Attention, expertise et recherches visuelles en sport

Memmert (2009) effectuait une revue de littérature sur l'expertise en sport et les différentes composantes de l'attention. Il montrait que les experts ont des comportements visuels plus efficaces que les novices caractérisés par peu de fixation de longues durées avec de longues périodes de temps de *quiet-eye* (D. T. Y. Mann et al., 2007). Il concluait par le fait que ce n'est pas la quantité d'attention qui est importante, c'est-à-dire le nombre de fixations, mais le lieu du focus attentionnel (Williams & Davids, 1998). L'expertise dans les comportements visuels pouvait être caractérisée par une seule fixation permettant une visualisation intégrative présentant des changements d'attention non détectables. Selon Memmert (2009), les méthodes de mesure de recherches visuelles et spécifiquement l'eye-tracker ne permettaient pas de reconnaître une attention implicite ni une attention exogène ou endogène.

En sport, l'attention est donc dépendante du type d'exercices physiques réalisés, du sport pratiqué et de l'expertise des participants. Les principaux résultats montrent que l'exercice chronique améliore le contrôle attentionnel, les joueurs de badminton présentent une attention spatiale développée et les experts sont notamment caractérisés par une attention sélective au service du jugement d'anticipation. Le lien établi entre recherches visuelles et attention en sport mérite encore d'être enrichi par les connaissances scientifiques.

Pour conclure, l'attention et spécifiquement l'attention visuelle est polysémique. Les différents types d'attention et les modèles de l'attention peuvent impliquer des applications diverses dans le domaine sportif. Ces applications induisent des paradigmes variés, des exercices et des sports supports différents et des analyses de l'attention sur des composantes spécifiques. Ainsi, les conclusions des études portant sur l'attention visuelle méritent d'être précautionneuses et notamment sur les liens effectués entre l'attention visuelle et la prise d'informations visuelles.

3.5 L'essentiel à retenir

— L'anticipation est un jugement de reconnaissance du résultat de l'action réalisée par un autre athlète, avant que cette action ne soit exécutée.

— La notion d'anticipation-coïncidence est une habileté à intercepter un objet en déplacement en sport.

— Les déterminants de l'anticipation sont entre autres : les informations contextuelles, les recherches visuelles (stratégies de prélèvement de l'information et comportements visuels) et l'attention visuelle (maintien d'un focus sur un objet ou une action).

— Les récentes études sur l'anticipation et la prise d'informations visuelles invitent à effectuer des mesures au plus proche de la pratique sportive afin de conserver les liens entre perception, action et performance.

— Les conditions de mesure des recherches visuelles en laboratoire et *in situ* sont complémentaires. En laboratoire, le tronc puis l'adversaire et la raquette sont des zones d'intérêt majeures en badminton. En situation, le point d'impact volant/raquette est important lors de la réception d'une attaque.

— Les connaissances sur l'anticipation et ses déterminants en badminton (recherches visuelles, attention et connaissances) en condition de pratique sont peu nombreuses, p. ex. la temporalité des fixations n'a pas été analysée en condition.

Chapitre 4

L'impact de la fatigue sur le jugement d'anticipation et sur la performance

La réalisation d'un match de badminton, soit 3 sets de 21 points, implique des sollicitations physiologiques, biomécaniques et cognitives produisant une fatigue (Cabello Manrique, 2003). Ainsi, appréhender le jugement d'anticipation dans des conditions réelles de pratique c'est comprendre son évolution dans un contexte de fatigue.

4.1 Définition de la fatigue

La fatigue peut être définie comme une diminution des performances physiques associées à une augmentation de la difficulté perçue dans la tâche (MacIntosh et al., 2006). Les causes peuvent être multiples. Ainsi, on peut dissocier la fatigue centrale et la fatigue périphérique. La fatigue centrale se caractérise par une diminution de l'activation volontaire du muscle via les motoneurones α impliquant le nombre et la proportion de décharges des unités motrices du muscle. On peut distinguer la fatigue spinale et supraspinale. La fatigue spinale est une altération des propriétés et/ou de l'excitabilité des motoneurones α. La fatigue supraspinale est une altération du cortex moteur à générer un influx nerveux. La fatigue périphérique se caractérise par une diminution de la force de contraction des fibres du muscle et une modification des mécanismes de transmission des potentiels d'action (au niveau de la jonction neuromusculaire). Cependant, à cette définition dichotomique de la fatigue, Enoka et Duchateau (2016) proposent une définition holistique multifactorielle permettant de ne pas associer

d'adjectif particulier comme fatigues centrale, périphérique, physique ou mentale. Selon cette approche holistique, la fatigue serait une réduction des fonctions physiques et cognitives. Elle pourrait être due soit à un exercice impliquant une modification de la performance motrice ou soit à un aspect clinique impliquant une sensation de fatigue et de faiblesse. La fatigue se caractérise donc comme un symptôme où les fonctions physiques et cognitives sont impactées par les interactions entre la fatigue perçue et la fatigue de performance (Figure 4.1) (Kluger et al., 2013). La fatigue ne peut être qu'auto rapportée et peut être définie en tant que trait ou en tant qu'état. Ainsi, la fatigue perçue dépend de deux grandes variables évolutives : l'homéostasie (taux de glucose sanguin, température, hydratation, sommeil...) et l'état psychologique (éveil, attente, humeur, motivation, douleur...). La fatigue de performance est un déclin objectif de la performance sur une période définie à partir de deux variables : fonction contractile (cinématique de calcium, force, flux sanguin, métabolismes, produits,...) et activation du muscle (volontaire, motoneurone, feedback afférent, propagation neuromusculaire...). La détérioration d'une habileté physique, technique, psychologique ou une prise de décision peut être un symptôme de fatigue puisque déterminant la performance sportive (Knicker et al., 2011). La fatigue est impactée par de nombreux facteurs individuels (âge, genre, conditions physiques et psychologiques, hygiène de vie) (Finsterer & Mahjoub, 2014) et se trouve être un phénomène continu et évolutif.

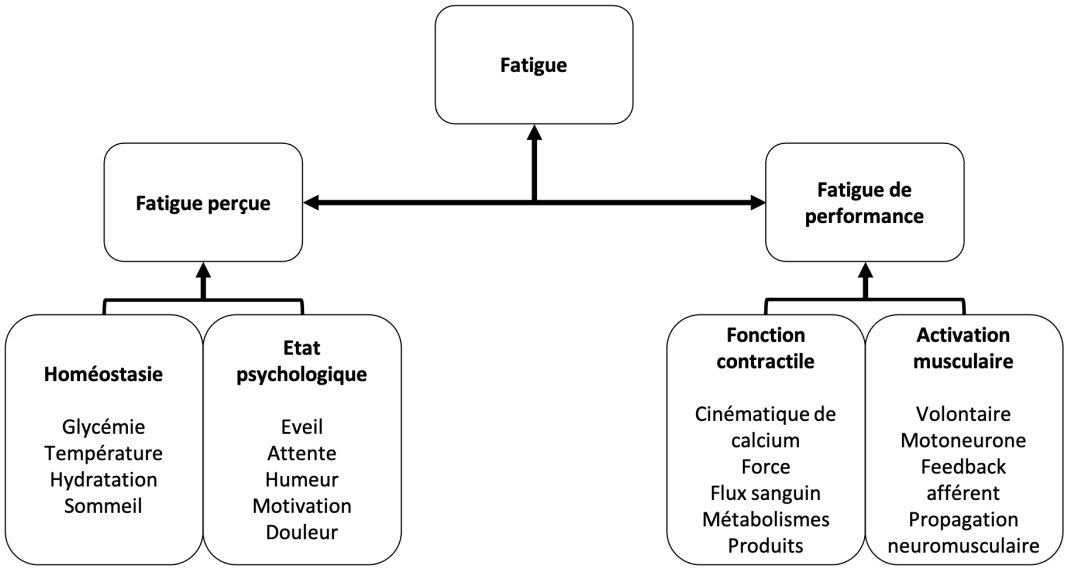


Figure 4.1 – Taxonomie de la fatigue selon deux attributs interdépendants : fatigue perçue et fatigue de performance, issue et traduite de Enoka et Duchateau (2016).

Cependant le modèle holistique multifactorielle de la fatigue (Enoka & Duchateau, 2016) est

peu utilisé dans la littérature. Ainsi pour préciser, les études dissocient deux types de fatigues : mentale et physique. Pour bien comprendre les études expliquées par la suite, la fatigue mentale se définit comme un ressenti pendant ou après une activité cognitive prolongée (Boksem & Tops, 2008) et la fatigue physique comme une modification de la performance du système moteur suite à une activité de contraction musculaire (diminution de la force ou de la puissance produite au niveau musculaire) (Wan et al., 2017).

4.2 Effet de la fatigue sur le jugement d'anticipation

4.2.1 Fatigue et comportement d'anticipation

Les études se sont intéressées aux effets de la fatigue mentale, physique ou combinée sur les comportements d'anticipation. Russell et al. (2018) ont relevé le peu d'étude relatif à l'influence de la fatigue mentale sur le temps de réponse (temps entre l'apparition du stimulus et la réalisation du mouvement volontaire) en contexte sportif alors que c'est un déterminant de la performance en termes de composant technico-cognitif. L'anticipation était impactée de manière négative par la fatigue mentale (Gredin et al., 2020 ; M. R. Smith, Zeuwts, et al., 2016). À partir d'une tâche d'anticipation (occultation temporelle via des vidéos spécifiques au football) auprès de joueurs de football de niveau intermédiaire, les résultats ont montré que la fatigue mentale a un impact sur la performance et notamment sur l'anticipation en modifiant l'intégration des informations contextuelles et visuelles (Gredin et al., 2020). Sur un protocole mesurant la prise de décision en football (occultation temporelle) avant et après une tâche induisant une fatigue mentale (*tâche de Stroop*), les résultats montraient une diminution de la justesse des réponses et une augmentation des temps de réaction chez des joueurs de football de niveau national et régional (M. R. Smith, Zeuwts, et al., 2016).

À partir de protocoles induisant une fatigue physique, les études montraient des résultats divers quant aux effets de la fatigue sur l'anticipation (Pavelka et al., 2020 ; Sant'Ana et al., 2013 ; Sant'Ana et al., 2017). Pavelka et al. (2020) ont évalué les effets de la fatigue physique (*Wingate test* sur haut du corps) sur une tâche visuelle de temps de réaction simple chez des pratiquants d'Arts Martiaux Mixtes (MMA) de niveau hétérogène (de deux à vingt-huit combats). La fatigue augmentait les temps de réaction et l'irrégularité des temps de mouvement

(temps entre l'initiation du mouvement et la réalisation du mouvement spécifique). À l'inverse, Sant'Ana et al. (2013) n'ont obtenu aucun effet de la fatigue physique (coups de pieds lâchés sur un rythme imposé jusqu'à épuisement) sur les temps de réaction et les temps de réponse chez des athlètes amateurs de taekwondo lors d'une tâche de réalisation de coup de pied circulaire sur un sac lors d'un stimulus lumineux. Ces mêmes auteurs trouvaient des résultats similaires concernant les temps de réponse (aucune modification), mais une augmentation des temps de réaction lors d'une tâche de test progressif spécifique au taekwondo consistant en des frappes imposées en termes de fréquence par étape et induites par des signaux sonores chez des athlètes compétiteurs de taekwondo (Sant'Ana et al., 2017).

Enfin, deux études ont évalué les effets de la fatigue à la fois mentale et à la fois physique sur l'anticipation. Ces deux études ont montré une diminution dans la justesse des réponses (Alder et al., 2020 ; M. J. Duncan et al., 2015). Alder et al. (2020) montraient une altération des jugements d'anticipation caractérisés par une diminution de la justesse des réponses pour les fatigues isolées (fatigue mentale induite par une tâche de *Stroop* et fatigue physique induite par une course sur tapis) et d'autant plus pour la fatigue combinée (mentale et physique) chez des joueurs de football semi-professionnels lors d'une tâche d'occultation temporelle sur écran. M. J. Duncan et al. (2015) ont induit chez des sportifs de sport collectif une fatigue mentale (compléter des grilles de concentration) et une fatigue physique (*test anaérobie de Wingate* puis cycloergomètre). Ils en ont évalué les effets sur deux tâches distinctes : un test de dextérité manuelle (*Minnesota Manual Dexterity Turning Test* (MMDT)) et un test d'anticipation coïncidence (*Bassin Anticipation Timer*). Ils ont constaté des effets des fatigues sur la dextérité (augmentation des temps de réalisation) et sur l'anticipation coïncidence (augmentation des erreurs absolues).

Ainsi, majoritairement dans des tâches standardisées de laboratoire, la fatigue mentale et physique semble impacter les comportements d'anticipation en diminuant la justesse des réponses et en augmentant les temps de réaction.

4.2.2 Fatigue et recherches visuelles

Un nombre restreint d'études en sport s'est intéressé aux effets de la fatigue mentale, physique ou combinée sur les recherches visuelles. Peu d'études ont porté sur l'impact de la

fatigue mentale sur les recherches visuelles en sport. Seuls M. R. Smith, Zeuwts, et al. (2016) ont étudié l'effet de la fatigue mentale (tâche de *Stroop*) sur la prise d'informations visuelles en football (occultation temporelle de vidéos de phase offensive avec port d'un eye-tracker monoculaire) chez des joueurs de football expérimentés. Ils ont montré des effets de la fatigue selon les situations rencontrées : 2 contre 1 ou 3 contre 2. Ainsi, le type de formation 2 contre 1 induit un nombre moyen de fixations plus faible et une durée de fixation plus longue. Pour la formation 3 contre 2, le pourcentage de fixations a diminué. Globalement, les joueurs montraient une modification du pourcentage total de temps passé à fixer des zones d'intérêt pour chaque essai : ils passaient plus de temps à fixer les joueurs en défense et moins de temps les joueurs en attaque. Les auteurs interprètent leurs résultats au regard des processus attentionnels (perte d'efficacité) expliquant une difficulté des joueurs à utiliser les informations de l'environnement leur permettant d'anticiper et d'interpréter les actions.

Les études des effets de la fatigue physique sur les recherches visuelles s'appuient sur des contextes expérimentaux variés. Lors d'une tâche de recherche visuelle visant à détecter une cible parmi des distracteurs, H.-B. Park et al. (2021) ont montré un effet de la fatigue physique sur les comportements visuels : la recherche visuelle était plus rapide, mais plus sensible à la distraction. La fatigue était induite par le maintien d'une poignée serrée à deux pourcentages de niveaux de force (5 et 40 % de la force maximale). En contexte sportif, face à des cibles statiques, Heinrich et al. (2020) ont évalué l'impact de la fatigue physique induite par un test de ski à roller sur tapis sur les comportements visuels chez des biathlètes experts. Ils n'ont montré aucun impact de la fatigue sur les durées de fixations ni sur la durée totale de la dernière fixation avant le tir. En situation dynamique contextualisée, Casanova et al. (2013) ont évalué les effets de la fatigue physique induite par un exercice intermittent sur les recherches visuelles chez des joueurs de football sur des séquences filmées. Les résultats ont montré l'impact de la fatigue sur les comportements visuels avec une diminution du nombre de fixations, du nombre de zones d'intérêt fixées et une augmentation de la durée de fixation. Enfin, Alder et al. (2019) ont cherché à déterminer l'impact d'une fatigue physiologique spécifique au badminton sur les habiletés d'anticipation, les comportements de recherches visuelles et sur l'effort mental chez des joueurs de badminton experts. À partir de vidéos de smash, les joueurs devaient anticiper la zone d'arrivée du volant en simulant le coup par un déplacement type shadow et par une

réponse verbale. Avant chaque essai, les joueurs effectuaient un parcours d'exercices composé de sprints, slalom et fentes ainsi que des exercices spécifiques au badminton dont nous n'avons pas le détail. Les joueurs étaient à environ 83 % de leur fréquence cardiaque maximale sur ces exercices. Les mesures effectuées étaient la fréquence cardiaque (Polar Electro), l'effort perçu (*Echelle de Borg*), la justesse des réponses, l'effort mental (*Echelle de l'effort mental*) et les comportements de recherche visuelle par le rapport entre le nombre de fixations et la durée totale des fixations pour chaque essai (système d'eye-tracking binoculaire). Au-delà d'une diminution de la performance sur le dernier bloc effectué (six blocs) et d'une augmentation des échelles d'effort, les résultats montraient une diminution d'efficience des comportements visuels traduits par une augmentation du rapport nombre de fixations/durée totale.

Afin de s'insérer dans une approche intégrative, Alder et al. (2020) ont évalué les effets de la fatigue mentale (tâche de *Stroop*) et physique (protocole de football) sur les recherches visuelles chez des joueurs experts de football. La fatigue mentale, physique ou combinée (mentale et physique) augmentait le nombre de fixations.
Ainsi, comme pour les comportements d'anticipation, les recherches visuelles sont impactées par la fatigue. Cependant, les résultats varient selon les variables associées à la recherche visuelle (durée et nombre de fixations, zones d'intérêt fixées).

4.2.3 Fatigue et attention

La fatigue a des effets différents selon le type d'attention considéré. Tout d'abord, la fatigue mentale induit une diminution de la performance pour traiter les informations locales comparées aux informations globales (van der Linden & Eling, 2006). Les processus globaux sont moins soumis à des variations que les processus locaux. La fatigue réduit le contrôle attentionnel, l'encodage et le stockage d'information pertinente réduisant les performances comportementales (Boksem & Tops, 2008). Ensuite, l'attention sélective est diminuée suite à une fatigue mentale induite par un test de *Stroop* (Slimani et al., 2018).

Au plus proches des conditions sportives, les études montrent un effet de la pratique sur l'attention. La fatigue physique induite chez des joueurs amateurs de basket-ball pendant quarante minutes d'exercice sur ergocycle a impacté l'amplitude de l'onde P3 pour des tâches d'alerte et de contrôle exécutif (*tâche Attention Network Test, ANT*), reflétant l'augmentation

de l'activité cérébrale au niveau des zones frontales (Fz), centrales (Cz) et pariétales (Pz) (Chang et al., 2015). L'amplitude de l'onde P3 révèle les ressources attentionnelles allouées et les zones où l'activité cérébrale augmente correspondent aux lieux des composantes alerte (frontale et pariétale) et contrôle exécutif (frontale et centrale) de l'attention (Chang et al., 2015). Il n'y a pas d'effet sur la composante orientation de l'attention. De même, l'étude de Connell et al. (2016) n'a pas révélé d'effet de la fatigue physique sur l'orientation de l'attention chez des participants actifs physiquement. Cependant les temps de réponse ont été augmentés. À partir d'un exercice sur ergocycle de cent quatre-vingts minutes à 65 % de la consommation maximale aérobie, Connell et al. (2016) ont mesuré l'attention implicite (déplacement attentionnel sans déplacement oculaire) par le paradigme de l'attention implicite endogène (délibérée) et exogène (automatique). Selon les auteurs, la planification pré motrice et l'exécution motrice étaient sensibles à la fatigue du système nerveux central. Enfin, il a été montré que l'attention spatiale exogène (stimuli périphériques) était plus importante pendant ou après un exercice physique impliquant de pédaler à un rythme imposé chez des participants actifs physiquement (Sanabria et al., 2011). Les temps de réponse de la tâche d'attention spatiale diminuaient surtout pendant, mais également après l'effort physique. Concernant l'analyse des intervalles de temps entre les différents stimuli (indice et cible de l'attention), les résultats sur les intervalles courts présentaient une amélioration du temps de réponse (plus court) alors que les résultats sur les intervalles longs montraient un effet d'inhibition de retour diminué (c.-à-d., difficulté à revenir sur un point de l'espace qui a déjà marqué l'attention, R. Klein (2000)) lors de l'exercice physique. Les effets des exercices physiques sur l'attention (explicite et implicite) impactent directement les comportements d'anticipation/réaction puisque la possibilité de changer entre les attentions permet les processus de prise d'informations visuelles.

Ainsi, l'exercice physique impacte différents types d'attention. Les études présentent des variables attentionnelles et des protocoles de fatigue variés, souvent éloignés de la pratique réelle du sport, rendant la généralisation des résultats délicate.

4.3 Effet de la fatigue sur la performance

En termes de résultats quantifiables, la fatigue impacte de manière diverse la performance notamment selon la fatigue induite et la tâche effectuée. Abd-Elfattah et al. (2015) à partir

d'une revue de littérature sur les conséquences physiques et cognitives de la fatigue concluaient par une corrélation de la fatigue avec des aspects physiologiques (diminution de l'activité musculaire et de la force produite), proprioceptifs (sens de la position des articulations) et cognitifs (interférence avec les performances motrices).

Le Mansec (2017) généralisait les résultats de la littérature sur la fatigue mentale en deux aspects :

(i) la fatigue mentale n'impactait pas la capacité de production de force maximale, le recrutement des unités motrices, les activités explosives, les activités de faible durée.

(ii) la fatigue mentale impactait les exercices d'endurance, le maintien d'une force constante faible, mais durable, le contrôle moteur et la perception de l'effort (due à l'altération de la transmission du neurotransmetteur de la dopamine).

Plus récemment, deux revues de littérature sur le sport se sont intéressées aux effets de la fatigue dite mentale sur différentes performances. Ainsi, Clemente et al. (2021) ont montré à partir de six articles sur le football en jeu réduit que la fatigue mentale n'impactait ni la distance totale parcourue ni les comportements tactiques (comportement d'attaque réussi, justesse de la prise de décision, index d'exploration de l'espace). A l'inverse, Habay et al. (2021) ont montré à partir de dix-neuf articles analysés que la fatigue mentale impactait les performances psychomotrices spécifiques au sport (prise de décision, temps de réaction et justesse des réponses).

Ainsi, selon les conditions expérimentales mises en place pour induire la fatigue ainsi que les variables dépendantes mesurées, les effets sont divers et difficilement généralisables. Les résultats peuvent donc dépendre du type de sport étudié.

4.3.1 Effet de la fatigue sur la performance en sport de raquette

4.3.1.1 Sports de raquette comme sports intermittents

De manière générale, les sports de raquette peuvent être analysés comme des sports intermittents duels où la fatigue peut impacter les performances cognitives et physiques. Une revue de littérature s'appuyant sur quarante articles relatifs aux effets de la fatigue physique sur des tâches cognitives montrait des résultats variés selon les exercices (Tomporowski, 2003). Les articles ont été regroupés en trois types d'exercices : exercice intense anaérobie, exercice court aérobie-anaérobie, exercice long aérobie. Les tâches cognitives étaient, par exemple, des

tâches de temps de réaction simple, des doubles tâches, des tâches de discrimination visuelle ou des tâches d'anticipation-coïncidence. Les performances cognitives étaient meilleures (temps de réaction plus courts) pour des exercices intenses (que nous pouvons associer aux sports de raquette) comparés au repos ou aux exercices de faible intensité. Cependant, Abd-Elfattah et al. (2015) proposaient à partir d'une revue de littérature un lien en U inversé entre les exercices physiques et les performances cognitives. L'optimal en termes de performances cognitives était un exercice sous-maximal entre 20 et 40 minutes. En termes d'impact sur la performance physique, la fatigue mentale affectait la réalisation d'exercices intermittents par une diminution de la distance parcourue (M. R. Smith, Coutts, et al., 2016). Par conséquent, et en référence à la littérature, on note que les effets de la fatigue lors de la réalisation d'exercices physiques intenses intermittents, comme en badminton, ne témoignent pas de consensus scientifique.

De manière spécifique aux sports de raquette, la fatigue peut impacter la performance physique réalisée. Girard et Millet (2009) ont évalué, à partir de la littérature, les causes physiologiques et neuronales de la fatigue neuromusculaire en tennis de table, tennis, badminton et squash. Les causes étaient multiples : modifications de la concentration des neurotransmetteurs, de la réponse au feedback afférent sensoriel, des propriétés métaboliques et mécaniques des muscles impactant les propriétés d'excitation-contraction. Ces modifications neuromusculaires induites par la fatigue impactaient la performance motrice par des altérations des coups techniques réalisés (diminution de la vitesse de frappe, trajectoire altérée), des déplacements produits sur le terrain, et la pertinence des choix tactiques. Girard et al. (2008) ont étudié l'activité électromyographique du quadriceps et la contraction volontaire maximale à différents instants d'un match de tennis, considéré comme un exercice intermittent. La fatigue diminuait à la fois la contraction maximale volontaire et l'activité électromyographique normalisée du quadriceps.

Ainsi, l'analyse des exercices intermittents, dont les sports de raquette font partie, montre un effet de la fatigue sur les performances cognitives et physiques. Cependant, la référence aux sports intermittents nous éloigne de protocoles de fatigue proche de la pratique des sports de raquette.

4.3.1.2 Fatigue et performance dans des protocoles adaptés aux sports de raquette

L'induction de fatigue proche des conditions de pratique des sports de raquette montre un effet sur les performances réalisées. En tennis, à travers un protocole de fatigue spécifique (*Loughborough Intermittent*), la fatigue diminuait la justesse de deux types de coups analysés (service et fond de court) et augmentait la fréquence cardiaque (Davey et al., 2002). La littérature montre également l'impact de l'intensité de l'exercice induisant de la fatigue et pouvant impacter la performance (Lyons et al., 2011). En effet, en tennis, la fatigue physique induite par un test spécifique à deux intensités (*Loughborough Intermittent Tennis Test* à 70 % et 90 % de fréquence cardiaque maximale) impactait la justesse des coups à haute intensité comparée à une intensité plus faible où la performance n'était pas impactée. La performance a été mesurée par la justesse de coup en fond de court (*Loughborough Tennis Skills Test*). La détérioration de la performance était également dépendante de l'expertise (expert *versus* non-expert) : les experts conservaient davantage leur performance que les novices (Lyons et al., 2011).

À partir d'un protocole de fatigue impliquant le corps entier, la littérature montre que les effets de la fatigue induite par un déplacement horizontal avec résistance et amplitude adaptées dépendaient de l'expertise (Aune et al., 2008). La fatigue n'impactait pas la performance réalisée (justesse spatiale d'attaques placées en coup droit) chez des joueurs experts de tennis de table qui compensaient par un ajustement des coordinations motrices. En revanche, la fatigue impactait la performance (diminution de la justesse) chez des joueurs loisirs en tennis de table par l'absence d'adaptation motrice des joueurs. En badminton, la fatigue mentale induite par une tâche de *Stroop* n'avait aucun effet sur les performances réalisées, sur la fréquence cardiaque, sur la fatigue perçue, sur la concentration en lactate lors d'un test spécifique de badminton (déplacement vers des coins du terrain en fonction des indications de l'ordinateur) sur dix-neuf joueurs experts de badminton (Kosack et al., 2020).

Ainsi, les effets néfastes de la fatigue sur la justesse des coups réalisés en sports de raquette semblent moins importants avec l'augmentation de l'expertise.

4.3.1.3 Fatigue et performance spécifique aux sports de raquette

La fatigue impacte la performance des coups réalisés en sports de raquette en termes de justesse (c.-à-d., comparaison à une valeur spécifique, à un point donné sur le terrain), de précision (c.-à-d., comparaison des coups entre eux) ou de vitesse d'exécution. Rota et al. (2014) se sont intéressés aux effets de la fatigue induite par un exercice intense en tennis sur deux types de coups (service et coup droit). Ils ont mesuré la vitesse et la justesse des coups ainsi que l'activité électromyographique des muscles du haut du corps. La fatigue impactait la justesse des coups, la vitesse des services, la régularité des coups droits et l'activité électromyographique selon les muscles considérés.

De même, la fatigue altérait la précision des coups en squash et notamment des revers chez des joueurs de niveau national ou en division 1 (Bottoms et al., 2006). Bottoms et al. (2006) ont montré l'impact de la fatigue induite par une course en aller-retour et 3*3 minutes de déplacement dans les coins du terrain de squash sur la précision des coups (diminution), sur la force du poignet (diminution) et sur des temps de réaction à choix multiple décontextualisé du squash (aucune modification).

En tennis de table, selon le type de fatigue considéré, les effets n'étaient pas les mêmes (Le Mansec et al., 2018). Ainsi, la fatigue mentale induite par une tâche de performance continue sur le contrôle cognitif diminuait la vitesse et la justesse des coups. La fatigue physique induite par des exercices excentriques du biceps et du quadriceps diminuait la production de force, et uniquement la fatigue physique du biceps diminuait la justesse des coups et augmentait la vitesse de la balle. Les deux types de fatigue mentale et physique impactaient les sensations de fatigue.

En badminton, Bottoms et al. (2012) ont analysé les effets de la fatigue physique sur un coup spécifique avant et après des exercices intermittents à 83 % de la fréquence cardiaque maximale (1 minute de shadow – 3 minutes de récupération sur tapis) chez des joueurs en compétition. La fatigue diminuait la justesse des services longs, mais n'avait aucun impact sur les services courts. Enfin, la fatigue physique induite par des déplacements spécifiques (sauts verticaux et fentes) impactait la performance réalisée en termes de vitesse du volant (diminution) et de précision de coups (augmentation du nombre de fautes et diminution de la justesse) lors d'analyse de smash coup droit chez des joueurs de badminton de niveau national (Mansec et al., 2019).

Ainsi, de manière générale, la fatigue impacte la réalisation des coups (justesse, précision, vitesse d'exécution) quel que soit le sport de raquette considéré. Cependant l'impact peut varier selon le coup analysé et la population recrutée.

En effet, concernant la performance experte, Fayt et al. (2005) montrent un impact différent de la fatigue en fonction des niveaux d'expertise. Ils ont analysé les renvois des joueurs de tennis de table de niveau national et départemental lors d'un exercice à intensité croissante consistant en une augmentation de la fréquence de renvoi en topspin coup droit dans des zones définies. De manière générale, la fatigue provoquait une diminution de la performance, une augmentation de la vitesse d'exécution et une augmentation de la fréquence cardiaque, quel que soit le niveau considéré. De plus, il y avait une différence significative entre les joueurs de niveau national et départemental concernant la performance (plus importante), la vitesse (plus rapide) et le rapport efficacité/fréquence cardiaque (ratio supérieur). De même, Van Cutsem et al. (2019) ont montré un effet de la fatigue induite par une tâche de *Stroop* sur les performances réalisées (diminution lors de la tâche de *Stroop*), sur la fatigue perçue (augmentation) et sur les temps de réaction lors d'une tâche visuo-motrice (augmentation) chez des participants non sportifs et chez des joueurs experts de badminton.

Ainsi, la fatigue impacte les performances spécifiques aux sports de raquette, quel que soit le niveau d'expertise. Cependant, les protocoles de fatigue proposés et les mesures de performance effectuées interrogent sur l'induction de contraintes identiques à celles vécues lors de la pratique des sports de raquette. Hornery et al. (2007) effectuait un état des lieux de la littérature sur les mécanismes de la fatigue et ses effets sur la performance en tennis. Dans un premier temps, ils expliquaient les principales limites de la littérature sur les effets de la fatigue en tennis sur la performance. Ces limites semblaient pouvoir être élargies à l'ensemble des sports de raquette : les mesures jugées restrictives des facteurs de performance en match, le manque de sensibilité ou la large variabilité des mesures de performance, les inducteurs de fatigue non spécifiques au tennis, et le niveau de fatigue non révélateur de celui effectif en match. Ces limites invitaient les chercheurs intéressés par cette thématique à effectuer une approche multidimensionnelle de la performance (perceptivo-cognitive et biomécanique), à améliorer la sensibilité des mesures sur le terrain et à utiliser des procédures expérimentales simulant réellement les demandes de match.

Cette partie sur l'impact de la fatigue sur le jugement d'anticipation et sur la performance nous a permis de définir les termes sous-jacents, mais également d'approcher un ensemble de méthodologies, reposant sur des protocoles induisant la fatigue, et des tâches, évaluant ses effets, différents. Ainsi les effets de la fatigue sur l'ensemble des variables perceptivo-cognitives et sur la performance diffèrent selon la tâche sportive considérée, le profil sportif de l'individu et l'environnement (Knicker et al., 2011). Les publications scientifiques nous amènent à nous orienter préférentiellement vers des protocoles s'appuyant sur des sollicitations physiologiques et cognitives proches de la réalité de la pratique sportive. D'autre part, le contexte de mesure des variables avant et après ces protocoles semble lui aussi pertinent s'il est associé à un environnement révélateur de la pratique. Nous nous inscrivons dans une démarche holistique plutôt que réductionniste de la fatigue (Knicker et al., 2011).

4.4 L'essentiel à retenir

— La fatigue peut être associée à un concept unitaire comme une réduction des fonctions physiques et cognitives pouvant être due à un exercice impliquant une modification de la performance motrice ou à un aspect clinique impliquant une sensation de fatigue et de faiblesse (Enoka & Duchateau, 2016).

— Les effets de la fatigue sont divers tant en termes d'impact (effets positif, négatif, neutre) qu'en termes de variables impactées (performance, physiologique, psychologique) :

- la performance peut être diminuée ou ne pas être modifiée.

- l'anticipation montre majoritairement une diminution des réponses justes et une augmentation des temps de réaction.

- la recherche visuelle peut être modifiée (augmentation ou diminution du nombre de fixations, augmentation de la durée de fixation) ou ne pas être modifiée.

- selon l'attention considérée, les résultats sont opposés : diminution de l'attention sélective, augmentation de l'alerte, aucun effet sur l'orientation de l'attention.

— En contexte sportif, les tâches mesurant les variables impactées et les protocoles de fatigue sont souvent éloignés des sollicitations physiologiques et psychologiques des situations sportives sur le terrain.

À partir de cette revue de littérature, la Figure 4.2 propose une représentation schématique du lien entre les jugements, les habiletés perceptivo-cognitives, l'antériorité et les actions réalisés, en mettant en exergue (encadrer orange), les variables étudiées et les modèles utilisés dans cette thèse.

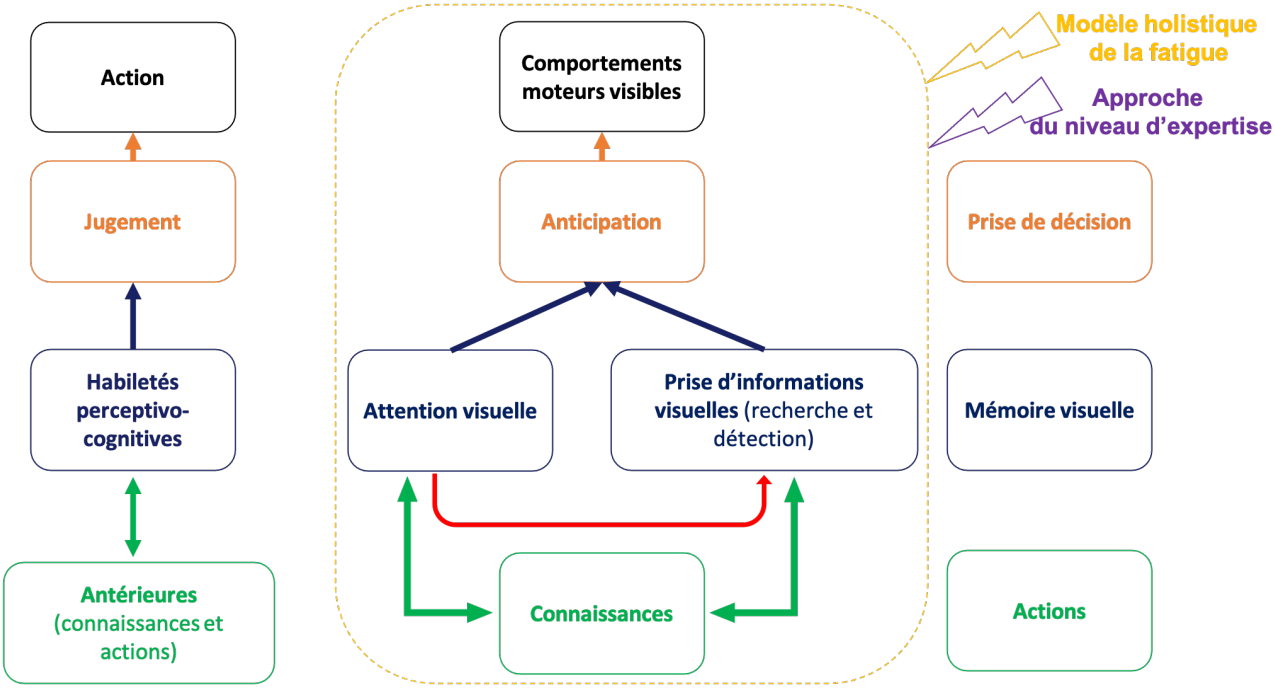


Figure 4.2 – Représentation schématique des variables étudiées dans ce projet de thèse à partir des liens entre les jugements, les habiletés perceptivo-cognitives et l'antériorité.
L'encadrer orange pointillé correspond aux variables étudiées dans cette thèse.

Chapitre 5

Problématique et objectifs

Parmi les informations sensorielles utilisées par un joueur de badminton, les informations visuelles représentent les informations les plus utilisées (Williams et al., 2000). Ces informations sont au service de la réalisation motrice et sont différentes entre les niveaux d'expertise des joueurs. Ainsi, prélever des informations afin de les intégrer pour effectuer un comportement moteur est un déterminant principal de la performance. En badminton, cette prise d'information est contrainte par le temps puisque le temps disponible pour agir est limité par la rapidité du jeu. Un déterminant de la performance est la prise d'information sous pression temporelle.
L'anticipation, comme jugement, et l'attention visuelle, comme habileté perceptivo-cognitive, se définissent à partir de la prise d'informations visuelles. L'anticipation implique une prise d'informations visuelles et l'attention visuelle permet cette prise d'informations.
Pour anticiper, il semble nécessaire de prendre en compte à la fois des informations contextuelles et des informations cinématiques (Loffing & Cañal-Bruland, 2017). Les informations contextuelles évoluent au cours des sets : le score, le placement sur le terrain, le rapport de force. Les informations cinématiques sont les stratégies de prélèvement de l'information et les comportements visuels et elles concernent notamment l'adversaire.
Percevoir ce n'est pas seulement la détection physiologique de stimuli visuels. L'attention est un ensemble de réseaux volontaires et involontaires permettant de prendre l'information sur certains points définis comme pertinents dans l'environnement et de laisser d'autres points jugés non pertinents. Ainsi, l'attention comme habileté à maintenir un focus sur un point permet la prise d'informations visuelles.

À partir de ces définitions, l'évaluation de la prise d'informations visuelles, de l'attention

visuelle et de l'anticipation implique des méthodes de mesure diverses (occultation temporelle, occultation spatiale, point lumineux, oculométrie) et évolue avec le développement de nouvelles technologies. La prise d'informations visuelles, l'attention visuelle et l'anticipation ont largement été étudiées dans des conditions contrôlées en laboratoire (Connor et al., 2018 ; Stone et al., 2017 ; Williams et al., 1994). Cependant, effectuer des mesures en situation réelle permet d'obtenir des résultats révélateurs des mécanismes en condition de pratique. Cette approche permet la compréhension de la performance réalisée. L'objectif est donc d'analyser et décrire les mécanismes sur le terrain puis de les comprendre au regard d'études en situation plus contrôlée (Aziz, 2017). Les études sur la prise d'informations visuelles, l'attention visuelle et l'anticipation effectuées au plus proche des conditions de terrain sont moins nombreuses (Russo & Ottoboni, 2019 ; van Maarseveen, Savelsbergh, & Oudejans, 2018 ; van Maarseveen, Oudejans, et al., 2018). La littérature s'est intéressée à ces habiletés sur les terrains de sports de raquette (Abernethy et al., 2001 ; Hayhoe et al., 2012). Cependant, l'intérêt d'effectuer des mesures au plus près des conditions réelles de pratique sur la prise d'informations visuelles, l'attention visuelle et l'anticipation en badminton est connu, mais il semblerait n'y avoir aucune étude à ce sujet à ce jour.

Si la performance en badminton est multifactorielle (Phomsoupha & Laffaye, 2015), des contraintes inhérentes à la réalisation de match peuvent impacter la pratique. Parmi ces facteurs, la fatigue intéresse les recherches scientifiques sur la performance sportive. En effet, réaliser un match en deux ou trois sets de vingt-et-un points implique des sollicitations physiologiques, biomécaniques et cognitives produisant une fatigue (Cabello Manrique, 2003) pouvant être une fatigabilité perçue et/ou une fatigabilité de performance (Enoka & Duchateau, 2016). Cependant, afin de conserver des performances sportives optimales, cette fatigue devrait impacter de manière négative le moins possible la performance réalisée. La littérature sur les effets de la fatigue montre des résultats controversés que cela soit pour la prise d'informations visuelles (Alder et al., 2019 ; Heinrich et al., 2020), pour l'attention (Connell et al., 2016 ; Hopstaken et al., 2016) ou pour l'anticipation (Alder et al., 2020 ; Gredin et al., 2020).

Au regard des protocoles expérimentaux proposés et des connaissances scientifiques actuelles, nous pouvons mettre en exergue : (i) un manque de connaissances sur les habiletés

perceptivo-cognitives en badminton, (ii) des variables étudiées de manière isolée dans des cadres expérimentaux parfois éloignés des situations de réelle pratique sportive, et (iii) des résultats contradictoires sur les effets de la fatigue. À partir d'un paradigme expérimental impliquant l'expertise et la fatigue, l'objectif de cette thèse est de comprendre le jugement d'anticipation en badminton dans des conditions proches de la pratique. Ces conditions impliquent les mécanismes de perception et d'action, en lien avec la performance réalisée. Comprendre le jugement d'anticipation à partir de l'expertise et de la fatigue permettrait d'apporter des connaissances sur la définition de la performance en badminton.

À partir de cette problématique, notre recherche s'articule autour de trois questions majeures, non explorées à ce jour dans la littérature sur l'expertise sportive en conditions réelles et plus particulièrement en badminton :

- Comment caractériser le jugement d'anticipation à partir des comportements moteurs et visuels des joueurs de badminton selon le niveau d'expertise ? (Études 1, 4 et 5) Les comportements moteurs et les comportements visuels sont des déterminants du jugement d'anticipation. Les comportements moteurs impliquent les temps de réaction et les déplacements effectués par les joueurs. Les comportements visuels sont les recherches visuelles caractérisées par la durée et le nombre de fixations.
- Quels sont les impacts de la fatigue sur ce jugement en fonction du niveau d'expertise (novice ; expert) ? (Études 2, 3, 4 et 5)
- Existe-t-il un lien entre le jugement d'anticipation, la fatigue et la performance réalisée ? La performance peut être réussie ou ratée en termes de sets, de points ou de coups effectués (Études 1 et 4).

Nous émettons l'hypothèse générale que l'expertise et la fatigue influencent le jugement d'anticipation à travers les temps de réaction, les stratégies de recherches visuelles, l'attention visuelle et les connaissances des joueurs. Ce jugement d'anticipation serait directement lié à la performance réalisée.

Notre réponse à ces questionnements s'organisera en trois temps. Dans un premier temps, nous caractériserons les comportements moteurs et visuels en fonction du niveau d'expertise en condition de reproduction de sets de badminton. Ces conditions proches de la pratique

nous amèneront à analyser les effets de la fatigue sur les comportements moteurs et visuels. Enfin, les résultats obtenus en condition de pratique suggèrent d'effectuer des analyses des comportements moteurs et visuels dans des conditions plus contrôlées. Ainsi, nous présentons le protocole expérimental général et les objectifs des cinq études (Figure 5.1).

L'étude 1 s'est intéressée à caractériser les comportements moteurs et visuels de joueurs de badminton novices d'une part et experts d'autre part, en situation de reproduction de sets de badminton.

L'étude 2 a évalué l'impact de la fatigue sur les comportements moteurs et visuels de joueurs novices en badminton.

L'étude 3 a évalué l'impact de la fatigue sur les comportements moteurs et visuels de joueurs experts en badminton.

L'étude 4 a caractérisé les comportements moteurs et visuels puis évalué les effets de la fatigue d'un niveau de joueurs experts en badminton en situation de défense à l'entraînement.

L'étude 5 s'est intéressée à la compréhension de l'anticipation comme jugement, et de l'attention visuelle comme habileté perceptivo-cognitive sur des tâches comportementales chez deux niveaux de joueurs.

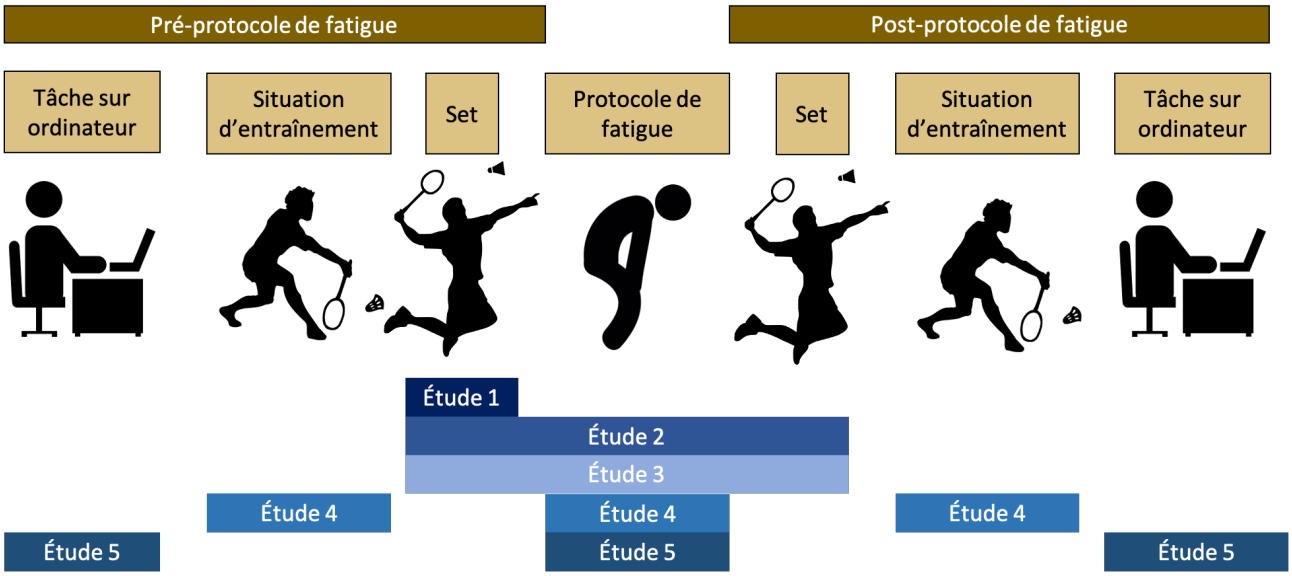


Figure 5.1 – Représentation schématique du protocole expérimental de chacune des cinq études.

À partir des connaissances scientifiques issues de notre recherche, les objectifs de terrain de cette thèse seront de rendre accessibles ces connaissances à des fins pédagogiques afin d'optimiser les programmes d'entraînement. En effet, il sera envisagé d'effectuer des retours écrits vulgarisés

sur les variables mesurées, des propositions de consignes à apporter aux joueurs en situation et des propositions de situations d'entraînement à l'anticipation, à l'attention visuelle et à la prise d'informations visuelles en situation réelle de pratique.

Deuxième partie

Méthodologie générale

Après avoir expliqué le projet global dans Problématique et objectifs (page 92), nous présentons, dans la Méthodologie générale, la procédure expérimentale commune aux différentes études ainsi que les variables mesurées, le matériel utilisé et le traitement des données effectué.

Chapitre 1

Participants

Vingt-cinq participants volontaires ont été recrutés pour les différentes études, répartis en deux groupes de niveau : novice (19) et expert (6) associé à la haute performance. Le Tableau 1.1 synthétise les informations générales des deux groupes, ainsi que les critères d'inclusion qui étaient la latéralité (droitier), le niveau d'activité physique (minimum modéré) et la vue (normale ou corrigée). Concernant le niveau de pratique en badminton, les novices ne devaient avoir aucune expérience de sport de raquette en club. Les experts devaient participer à des compétitions nationales et internationales en tant que joueurs de simple de badminton et s'entraîner au sein du pôle France de badminton de l'INSEP. Les joueurs s'entraînant au sein du pôle représentent la majorité des sportifs de haut niveau français en badminton. Ils ont tous été recrutés pour ce projet de thèse. L'ensemble des participants experts est classé sur les listes ministérielles de sportifs en catégorie sénior ou relève.

Tableau 1.1 – Informations générales sur les populations novices et expertes recrutées.

	Variables	Novices	Experts
Informations générales	Nombre	19	6
	Âge (ans)	27 ± 2,6	21,5 ± 6,2
	Taille (m)	1,76 ± 0,08	1,78 ± 0,08
	Poids (kg)	72,4 ± 9,6	70,2 ± 8,0
	Sexe	8 femmes – 11 hommes	1 femme – 5 hommes
	Fréquence cardiaque maximale (batt/min)	188,7 ± 2,4	184,5 ± 9,8
Critères d'inclusion	Latéralité manuelle	Droitier	Droitier
	Niveau d'activité physique (IPAQ)	Modéré ou élevé	Élevé
	Niveau de badminton	Aucune expérience de sport de raquette en club	Joueur de simple au sein du Pôle France (classement entre 1^{er} et 13^{eme} rang français)
	Vue	Normale ou corrigée	Normale ou corrigée
Études de la thèse		1 - 2 - 5	1 - 3 - 4 - 5

Les variables sont présentées en moyenne ± écart-type.

Les participants catégorisés comme novices disposent d'une expérience uniquement scolaire dans la pratique du badminton. Leur niveau de jeu se caractérise par le simple renvoi du volant dans le camp adverse (Dieu et al., 2014). Les participants caractérisés comme experts sont des joueurs effectuant des compétitions nationales et internationales (Swann et al., 2015), capables d'imposer leur jeu à l'adversaire (Dieu et al., 2014). Pour l'ensemble des études, le consentement éclairé de chaque participant a été obtenu, ainsi que celui de leurs responsables légaux le cas échéant. Le protocole expérimental a obtenu un avis favorable du Comité d'Éthique pour la Recherche (CER-Paris-Saclay-2019-058)(Annexe A). Ce protocole était conforme aux normes de contribution de participants humains en recherche, telles que définies dans la sixième déclaration d'Helsinki.

1.1 Latéralité

L'ensemble des participants a rempli le questionnaire de latéralité adapté d'Oldfield (Oldfield, 1971) demandant d'indiquer la main la plus utilisée à propos de dix actions proposées (Annexe B). Un score minimal de 60 % au quotient de latéralité $\left(\frac{Droite-Gauche}{Droite+Gauche} \times 100\right)$ était

requis pour que le participant soit considéré comme droitier et valide ce critère d'inclusion. Un participant expert n'a obtenu que 25 %, car plusieurs actions étaient effectuées par ses deux mains, cependant il jouait au badminton de la main droite donc nous l'avons inclus dans le protocole.

1.2 Questionnaire du niveau d'activité physique

L'ensemble des participants a rempli de manière auto rapportée la version française et courte du questionnaire international d'activité physique (Craig et al., 2003 ; Lee et al., 2011)(Annexe C). Ce questionnaire permettait de connaître le niveau d'activité physique (faible, modéré, élevé) à partir du type d'activité exprimé en équivalent métabolique noté MET (marche, intensité modérée, intensité élevée), du temps passé par jour exprimé en minutes et du nombre de jours par semaine sur ces différentes activités. Nos participants avaient un niveau d'activité modéré ou élevé, soit un minimum de cinq jours ou plus d'activité atteignant au moins 600 MET-minutes par semaine (c.-à-d., 30 minutes d'activité modérée par jour) ou trois jours ou plus d'activité intense de 20 minutes minimum.

Chapitre 2

Procédure expérimentale

2.1 Échauffement

Au sein des différentes études, chaque protocole expérimental comprenait un échauffement. Ce dernier était standardisé pour la population composée de novices et entrait dans les routines d'entraînements habituels pour la population composée d'experts. Ainsi, pour les participants novices en badminton, l'échauffement consistait en trois tours de terrain de badminton, trois allers-retours le long d'une longueur de terrain (pas chassés, talon/fesse, montées de genou), un échauffement articulaire de l'ensemble du corps (cou, épaule, coude, poignet, hanche, genou, cheville) et cinq minutes d'échanges avec leur adversaire. L'échauffement durait environ 15 minutes. L'échauffement des experts suivait une trame identique, mais pouvait être individualisé selon les besoins des participants : des déplacements, un échauffement articulaire puis une session d'échange avec un adversaire sur le terrain.

2.2 Protocole de fatigue

Afin d'harmoniser le protocole de fatigue entre les participants experts et novices, ce protocole a été défini avec l'entraîneur national des joueurs de simple de badminton de l'INSEP afin de correspondre aux sollicitations physiques et mentales de l'activité badminton. Il correspond aux entraînements des sportifs de haut niveau afin de refléter la réalité des entraînements et des compétitions. Il a été adapté selon les deux niveaux d'expertise de notre population tout en conservant la durée des séries (8 minutes) et de récupération (2 minutes).

Il se déroulait sur un demi-terrain de badminton avec une raquette à la main. Les exercices effectués s'apparentaient à des entraînements type « shadow » et simulaient des actions de défense ou d'attaque. Les participants avaient pour consigne d'effectuer chaque exercice le plus rapidement possible afin de reproduire le même niveau de fatigue que celui induit par les sets de badminton. Les exercices de ce protocole étaient différents en fonction des populations étudiées, mais devaient conduire au même niveau de fatigue.

2.2.1 Novices

Le protocole de fatigue durait 18 minutes au total. Il consistait en deux séries de douze exercices (six exercices répétés deux fois) pendant 8 minutes impliquant 20 secondes d'exercice et 20 secondes de repos (Figure 2.1). Il y avait 2 minutes de repos entre les séries. Les exercices impliquaient des déplacements en ligne droite ou en diagonale, en avançant ou en reculant. Les participants choisissaient de courir ou d'effectuer des pas chassés.

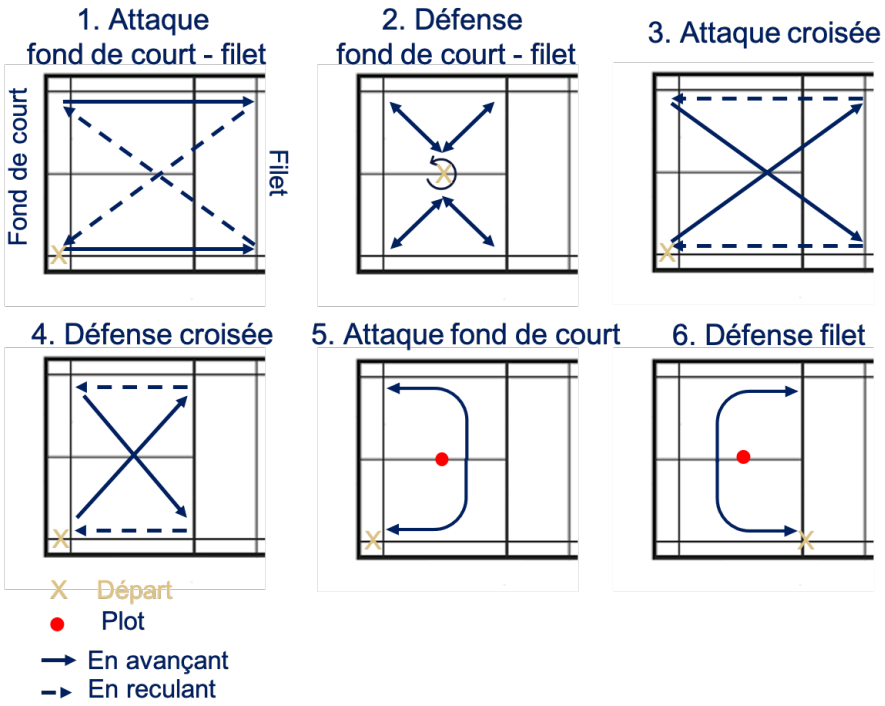


Figure 2.1 – Protocole de fatigue des participants novices

Chaque exercice correspond à des situations d'attaque ou de défense rencontrées en badminton ainsi que l'action de déplacement correspondant à la situation. 1. Exercice reproduisant une attaque en fond de court puis un déplacement vers le filet. 2. Exercice reproduisant une défense aux niveaux du fond de court ou du filet puis un déplacement au centre du terrain. 3. Exercice reproduisant une attaque croisée en fond de court puis un déplacement vers le filet 4. Exercice reproduisant une défense croisée en fond de court puis un déplacement vers le filet 5. Exercice reproduisant une attaque en fond de court puis un déplacement vers le centre du terrain pour enchaîner une attaque en fond de court de l'autre côté du terrain 6. Exercice reproduisant une défense au filet puis un déplacement vers le centre du terrain pour enchaîner une défense au filet de l'autre côté du terrain.

2.2.2 Experts

Le protocole de fatigue de la population d'experts consistait uniquement en des déplacements à partir d'un point central auxquels s'ajoutait la notion d'incertitude (Figure 2.2). Il consistait en deux ou trois séries d'exercices identiques pendant 8 minutes impliquant 30 secondes d'exercice et 30 secondes de repos. Il y avait 2 minutes de repos entre les séries. Dans la mesure où le protocole était inclus dans une séance d'entraînement, le nombre de séries pour chaque participant était déterminé par l'entraîneur en fonction de l'état de forme de l'athlète et de sa planification. Le protocole de fatigue reprend le test de vitesse spécifique au badminton (*BST*) validé par Madsen et al. (2015, 2016). Ce test consiste à se déplacer avec sa raquette vers des récepteurs placés dans les quatre coins du demi-terrain. Les déplacements proposés par ce test sont identiques à ceux de notre protocole de fatigue. Les participants effectuaient tous les exercices en pas chassés. Les participants ne savaient pas à l'avance la direction vers laquelle ils devaient se rendre. Cette dernière était déterminée lors du retour du déplacement précédant soit visuellement soit oralement. Les conditions d'incertitude visuelle ou orale différaient entre les participants. Cependant, ces conditions restaient identiques pour un participant pendant son protocole de fatigue. La condition d'incertitude visuelle impliquait soit une personne sur l'autre demi-terrain qui montrait la direction à prendre (déplacement en miroir) soit une personne qui montrait un plot de couleur parmi quatre (un plot de couleur différente par coin du terrain). La condition d'incertitude orale impliquait une personne donnant un numéro correspondant à un côté ou à une diagonale du terrain.

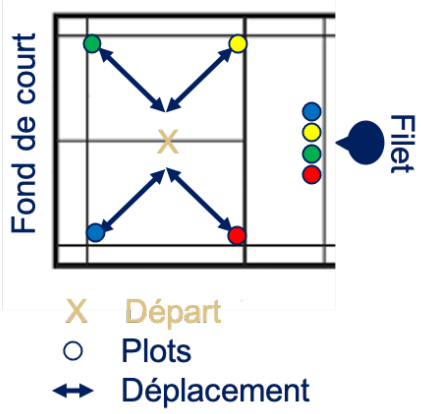


Figure 2.2 – Protocole de fatigue des participants experts en condition d'incertitude visuelle avec des plots de couleur
Les déplacements Départ-Plots se font vers l'avant pour les deux plots situés dans l'avant du terrain et vers l'arrière pour les deux plots de fond de court. Les déplacements Plots-Départ se font vers l'arrière pour les deux plots de devant et vers l'avant pour les deux plots de fond de court.

Le paradigme expert-novice implique de proposer une tâche en laboratoire identique à ces deux niveaux d'expertise (Abernethy et al., 1993). Williams et al. (2000) exposent les limites de ce paradigme par son éloignement avec les sollicitations de terrain, la difficulté dans la définition de l'expertise, la différence entre les groupes liée à la familiarité sur la tâche proposée, la mesure de l'anticipation à partir d'une seule variable dépendante et les études uniquement ponctuelles. Si ce paradigme a orienté nos recherches, la mise en application a été adaptée à notre volonté d'être au plus proche de la pratique pour les deux niveaux impliquant des tâches sur le terrain, des protocoles de fatigue différenciés, comme expliqué ici, et une approche la plus complète possible de l'anticipation à partir des mesures effectuées.

2.3 Pré- et post-protocole de fatigue

Les études concernées par des tâches pré- et post-protocole de fatigue ont des procédures expérimentales spécifiques (voir la représentation schématique globale, Figure 5.1, page 92). Les tâches sont des sets de badminton (Études 2 et 3), une situation d'entraînement (Étude 4) ou des tâches sur ordinateur (Étude 5). Ainsi, ces procédures expérimentales sont décrites dans les chapitres par étude (sections Méthode).

Chapitre 3

Matériel et mesures

Le matériel utilisé lors des expérimentations nous a permis de mesurer les variables suivantes : comportements visuels, comportements moteurs (anticipation/réaction et performance), caractérisation de l'attention et fatigue. Nous allons expliquer chaque matériel utilisé au regard des mesures effectuées.

3.1 Comportements visuels

Les recherches visuelles ont été enregistrées à l'aide d'un eye-tracker, outil utilisé pour l'analyse oculomotrice. Les participants portaient un système eye-tracker portable binoculaire (Core, Pupil Labs, Allemagne)(Figure 3.1)(MacInnes et al., 2018). Le système de lunettes du modèle Core est composé de deux caméras infrarouges qui enregistraient de manière continue le mouvement des deux pupilles des deux yeux à 120 Hz et une caméra de champ permettait d'enregistrer la scène visuelle (scène correspondant à la direction du regard du participant) à 200 Hz (Pupil Capture version 1.20.5, Pupil Labs, Allemagne) (Kassner et al., 2014). Un algorithme de détection des pupilles puis une fonction de transfert permettaient de synchroniser les trois caméras afin d'estimer la position du regard dans la caméra de champ. Le système eye-tracker ne comporte pas de verre, le support est très fin et très léger (22,75 g) permettant d'éviter d'obstruer le champ visuel. Les lunettes eye-tracker étaient connectées à un téléphone portable via une connexion USB-C. Le téléphone portable (A6003, OnePlus, Chine) était positionné dans une pochette accrochée dans le dos, au niveau de la taille du participant permettant de ne pas gêner les mouvements. La justesse des mesures des fixations a été jugée de 0,6 ° avec une

précision de 0,08 ° selon Kassner et al. (2014) pour le modèle monoculaire et une précision de 0,02 ° pour le binoculaire selon Pupil Labs. La justesse correspond au décalage angulaire moyen, c'est-à-dire la distance en degré entre le lieu de fixation et la cible réellement fixée. La précision correspond à la capacité de l'eye-tracker à reproduire les fixations lors de différents essais successifs fixant la même cible. De manière manuelle, nous avons souhaité estimer l'incertitude de l'outil utilisé sur un terrain de badminton (Figure 3.2). Pour cela nous avons calculé deux incertitudes : (i) une lorsque le participant était situé au fond du terrain et regardait son adversaire situé au fond de court (incertitude sur la distance la plus lointaine possible) ; (ii) une lorsque le participant était situé au filet et son adversaire également (incertitude sur la distance la plus proche). Sur la plus longue distance, la longueur d'un terrain de badminton est de 13,40 m. L'angle de 0,6 ° (justesse des mesures) induit une incertitude sur la position du regard de 0,01 m pour un objet placé à 1 m de la personne portant l'eye-tracker et de 0,14 m pour un objet placé à 13,40 m.



Figure 3.1 – Modèle Core de Pupil Labs relié au téléphone portable A6003 de OnePlus
Source : © INSEP – Isabelle AMAUDRY

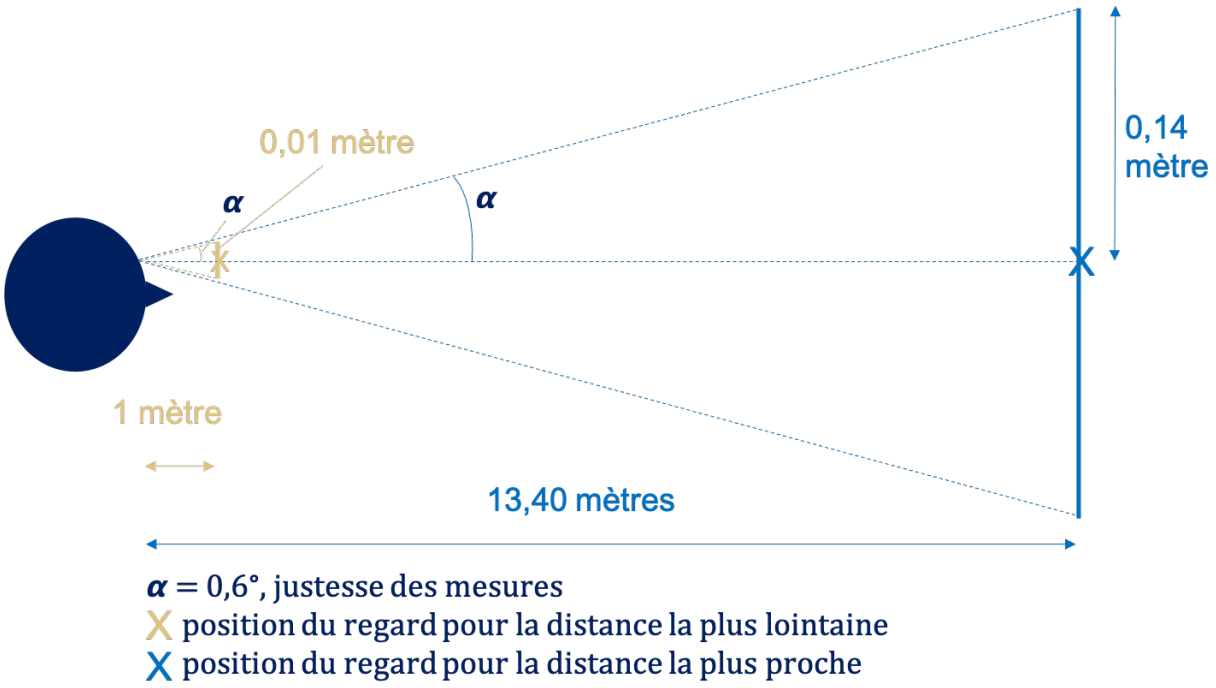
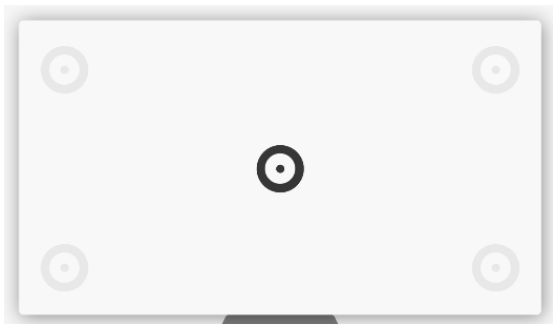
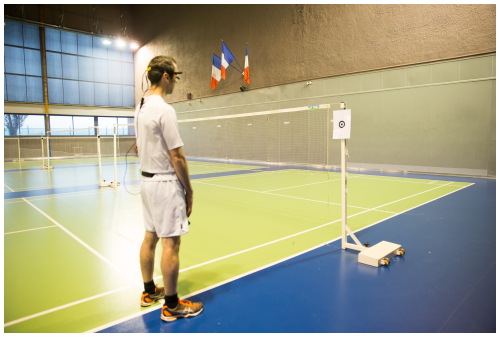


Figure 3.2 – Estimation de l'incertitude de mesure liée à l'outil eye-tracker Core de Pupil Labs sur un terrain de badminton

La calibration du matériel permettait de transférer les positions des pupilles, enregistrées à partir des deux caméras, vers la scène visuelle afin d'obtenir le lieu de regard. La calibration des lunettes eye-tracker s'était effectuée selon les modalités du fabriquant. Chaque participant a procédé à une première calibration sur ordinateur sur cinq cibles (Figure 3.3a). Une seconde calibration sur cible unique au début de chaque session expérimentale (situations d'entraînement et sets) était réalisée sur le terrain (Figure 3.3b). Le participant fixait une cible positionnée à distance de 1,98 m. Cette cible unique servait également de calibration après chaque point marqué lors des études 1 à 3. Ces calibrations en cours d'expérimentation permettent au matériel de détecter un point de fixation régulier dont la justesse de la mesure est assurée.



(a) Avec 5 cibles sur ordinateur



(b) Avec une cible unique sur le terrain
Source : © INSEP – Isabelle AMAUDRY

Figure 3.3 – Deux types de calibration de l'outil eye-tracker sur ordinateur

Les variables liées aux comportements visuels étaient :

— Durée de regard par zone d'intérêt

— Zone d'intérêt regardée

Neuf zones d'intérêt ont été définies en amont et affinées lors des analyses à partir de la littérature et notamment de Chia et al. (2017) et Hagemann et al. (2006) en badminton (Figure 3.4). Une dixième zone a été identifiée au cours des analyses et ajoutée pour les études avec les participants experts. Les dix zones d'intérêt définies étaient :

— volant

— raquette de l'adversaire

— haut du corps de l'adversaire

— bas du corps de l'adversaire

— lignes du terrain

— anticipation du futur point d'impact volant/raquette de l'adversaire. Cette zone d'intérêt fait référence aux recommandations sur la localisation prédictive de Vater et al. (2019).

— zone vide après l'impact du volant/raquette de l'adversaire lors de la réception du volant

— zone vide avant l'impact du volant/raquette du participant

— zone indéfinie nommée zone vide

— zone vide après l'impact du volant/raquette du participant lors de l'envoi du volant. Cette dernière zone était la zone absente du traitement dans l'étude 1 et 2 à propos de la population de novices.

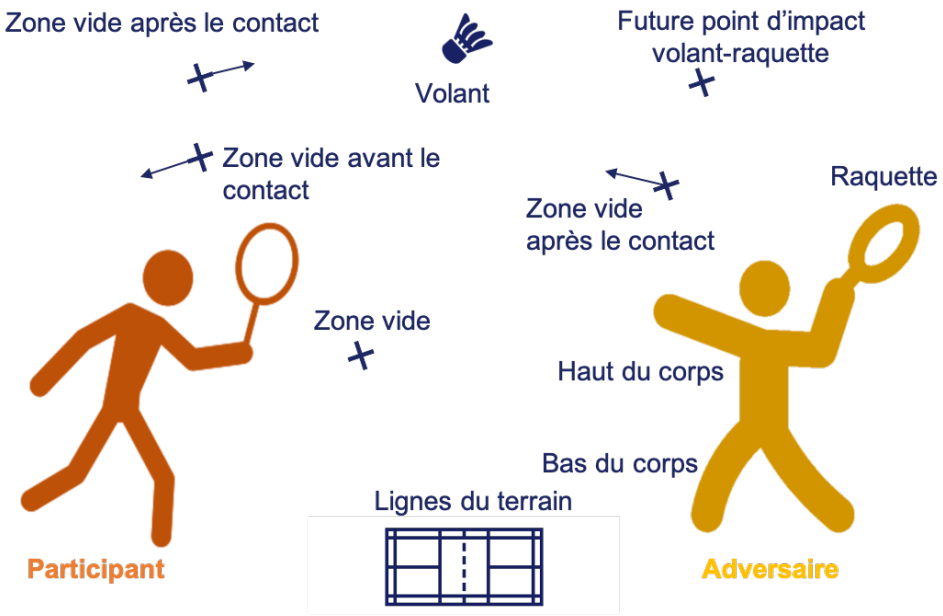


Figure 3.4 – Zones d'intérêt définies

3.2 Comportements moteurs sur le terrain

Les comportements moteurs en termes d'action (anticipation/réaction) et la performance ont pu être analysés à partir d'un enregistrement vidéo à 100 Hz de l'ensemble des sets et des situations d'entraînement de badminton (GC PX100 BEU, JVC, Japon). Le caméscope a été placé de manière à voir l'ensemble du terrain et à visualiser tous les coups effectués par le participant et l'adversaire (Figure 3.5a). Il était situé dans la diagonale, en arrière du demi-terrain du participant, à hauteur de 2,20 m et à distance de 4,05 m de la ligne du fond de court.

L'incertitude de mesure associée à l'utilisation du caméscope pouvait être d'une image pour le temps de contact volant/raquette de l'adversaire (0,01 seconde) et de deux images pour le premier mouvement du participant (erreur d'une image avant ou d'une image après l'exécution motrice soit 0,02 seconde). Les cinq temps suivants concernant les comportements moteurs ont été relevés :

— contact du volant et de la raquette de l'adversaire (Figure 3.5b)

— contact du volant et de la raquette du participant (Figure 3.5c)

— contact du premier pied au sol lors de la reprise d'appui (Figure 3.5d)

— premier mouvement du participant (Figure 3.5e)

— contact du pied avant au sol au moment du contact du volant et de la raquette du

participant (Figure 3.5f)



(a) Placement de l'outil vidéo sur le terrain



(b) Contact du volant et de la raquette de l'adversaire



(c) Contact du volant et de la raquette du participant



(d) Contact du premier pied au sol lors de la reprise d'appui



(e) Premier mouvement du participant



(f) Contact du pied avant au sol

Figure 3.5 – Outil vidéo sur le terrain et comportements moteurs relevés
Source Figure a : © INSEP – Isabelle AMAUDRY

Les trois variables dépendantes sur la performance ont été recueillies :

— Sets gagnés ou perdus. Un set était gagné lorsque le participant a obtenu 21 points ou lorsque le participant menait de 2 points lorsque le score était de 20-égalité.

— Points gagnés ou perdus. Un point était gagné lorsque le volant envoyé par le participant cessait d'être en jeu car il touchait la surface du terrain de l'adversaire ou que l'adversaire avait commis une faute. Un point était perdu lorsque le volant envoyé par l'adversaire touchait la surface du terrain du participant ou que le participant avait effectué une faute (volant envoyé dans le filet ou volant envoyé en dehors des limites du terrain adverse).

— Coups réussis ou ratés. Un coup était réussi lorsque le participant envoyait le volant dans

le terrain adverse. Un coup était raté lorsque le participant avait effectué une faute.

3.3 Comportements moteurs et caractérisation de l'attention hors du terrain

Le comportement moteur d'anticipation et la caractérisation de l'attention ont été mesurés à partir de trois tâches comportementales sur ordinateur :

— *Navon* : mesure l'attention globale et locale.

— *Attentional Network Test (ANT)* : mesure les composantes de l'attention.

— *Bridge Coïncident Timing Game* : mesure l'anticipation coïncidence.

Ces tâches ne concernent qu'une seule étude et sont donc décrites dans le chapitre Étude 5 (section Méthode) (page 206).

3.4 Fatigue

Le niveau de fatigue de chaque joueur a été estimé à travers une variable dépendante instrumentée : la fréquence cardiaque et deux variables auto rapportées : les échelles de fatigue et d'effort perçus.

3.4.1 Cardiofréquencemètre

La fréquence cardiaque est un indice de l'intensité de l'exercice (Ament & Verkerke, 2009). L'intensité associée à une durée d'exercice permet d'estimer un niveau de fatigue induite par l'exercice. La fréquence cardiaque a été mesurée pendant l'ensemble de la procédure avec un cardio fréquencemètre RS400 (Engström et al., 2012) ou Vantage V (Düking et al., 2020) (Polar, Finlande) pour obtenir un indicateur de la fatigue (Figure 3.6). Ces cardiofréquencemètres étaient des technologies de capteurs portables permettant d'être utilisés lors de la pratique sportive et d'obtenir un enregistrement continu de la fréquence cardiaque. La fréquence d'échantillonnage était de cinq secondes pour le RS400 et d'une seconde pour le Vantage V. La montre cardiofréquencemètre était positionnée sur le poignet gauche. Le Polar RS400 impliquait un émetteur Polar Wearlink (Polar, Finlande) à placer autour de la poitrine après

humidification. Les capteurs du Polar Vantage V étaient placés sur la montre à partir de la technologie de fusion de capteurs Polar Precision Prime^{TM}. Ce dernier était un modèle plus récent, permettant d'utiliser les dernières technologies en termes de capteurs, de sélectionner le sport effectué et de faciliter le transfert des données après les expérimentations. Il fonctionnait avec l'application Polar Flow afin de synchroniser les données enregistrées. L'ensemble de la population de novices a porté le cardiofréquencemètre RS400 et l'ensemble de la population d'experts a utilisé le polar Vantage V. Des temps intermédiaires ont été enregistrés sur le cardiofréquencemètre afin d'obtenir des repères temporels au début et à la fin des procédures expérimentales suivantes : situations d'entraînement, sets et protocole de fatigue.



Figure 3.6 – Polar Vantage V

Source : © INSEP – Isabelle AMAUDRY

3.4.2 Échelle de fatigue perçue

L'échelle de fatigue perçue utilisée était une échelle d'évaluation numérique de 0 (pas fatigué du tout) à 10 (totalement fatigué – épuisement total)(Figure 3.7). Elle permettait d'évaluer une fatigue à un instant *t*. Elle a été validée dans la pratique physique (Micklewright et al., 2017). Les participants donnaient leur chiffre verbalement et l'expérimentateur le notait. Cette mesure a été effectuée à chaque tâche de la procédure expérimentale c'est-à-dire à la fin des tâches sur ordinateur, des situations d'entraînement, des sets et du protocole de fatigue.

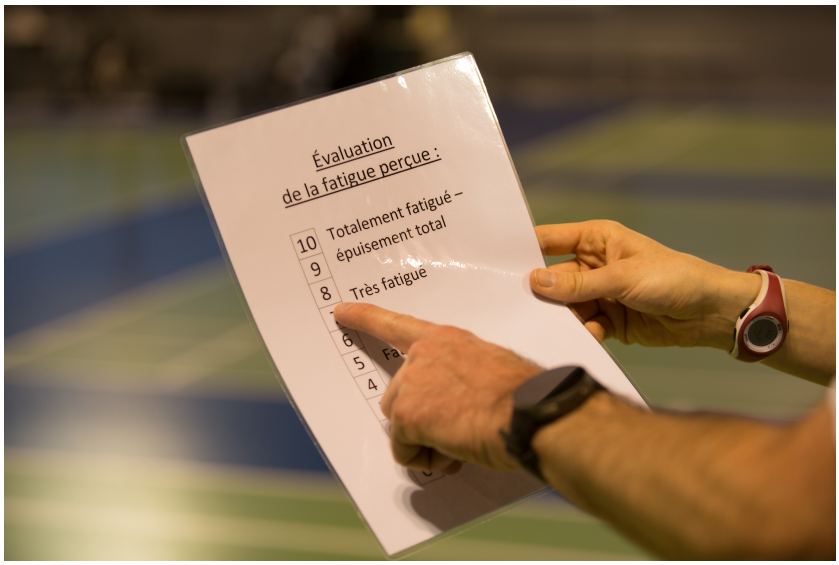


Figure 3.7 – Échelle d'évaluation numérique de fatigue perçue
Source : © INSEP – Isabelle AMAUDRY

3.4.3 Échelle d'effort perçu

L'échelle d'effort perçu utilisée était l'échelle d'évaluation numérique de Borg démarrant à 6 (aucun effort) et allant jusqu'à 20 (effort exténuant) (Borg, 1982) (Figure 3.8). Elle permettait de mesurer l'intensité de l'effort perçu lors de l'exercice. Les participants donnaient leur chiffre verbalement et l'expérimentateur le notait. Cette mesure a été effectuée à chaque tâche de la procédure expérimentale c'est-à-dire à la fin des tâches sur ordinateur, des situations d'entraînement, des sets et du protocole de fatigue.

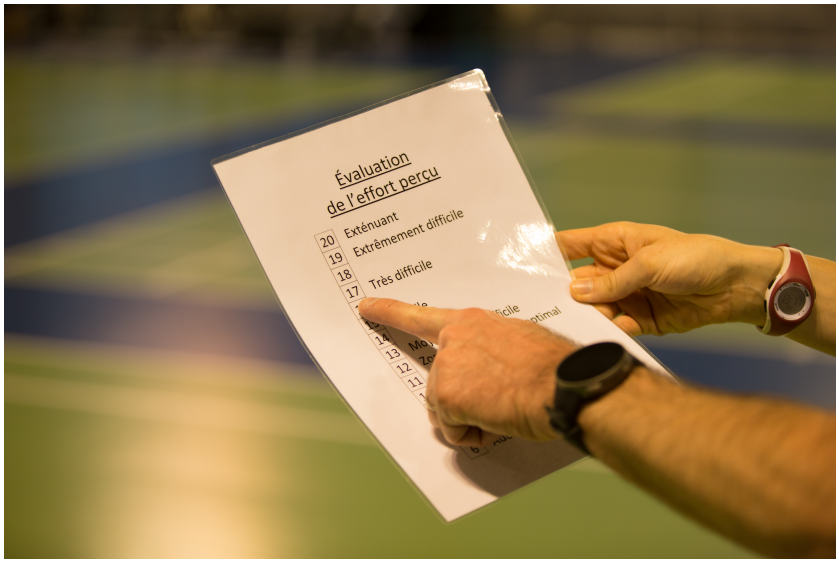


Figure 3.8 – Échelle d'évaluation numérique d'effort perçu
Source : © INSEP – Isabelle AMAUDRY

Chapitre 4

Traitement des données

Le traitement des données a été effectué selon une approche quantitative et déductive permettant l'utilisation de statistiques inférentielles. Les variables associées au matériel utilisé et aux mesures effectuées sont résumées dans la Figure 4.1.

Tableau 4.1 – Mesures effectuées, matériel utilisé et variables mesurées.

Mesures	Matériel	Variables
Comportements visuels	Eye-tracker	Durée moyenne de fixations Durée moyenne de fixations par échange Nombre moyen de fixations par échange Nombre moyen de changements de regard par échange Durée moyenne de fixation par zone d'intérêt Nombre total de fixations par zone d'intérêt
Comportements moteurs	Caméscope	Temps de réaction Délai de la reprise d'appui Délai de la pose de pied au sol
Performance	Caméscope	Sets Points Coups
Fatigue	Cardiofréquencemètre Échelles d'évaluation numérique	Fréquence cardiaque Échelles de fatigue et d'effort perçus

4.1 Comportements visuels

Les enregistrements des positions des pupilles et de la scène visuelle ont été associés en une seule vidéo à partir des enregistrements obtenus par Pupil Capture (120 Hz, Pupil Player version 1.23.5, Pupil Labs, Allemagne). Sur Pupil Player, à chaque recalibration, nous réalignions le point de regard avec la cible afin de toujours faire correspondre le centre de la cible et le point de regard. Une croix matérialisait le lieu de regard à chaque instant de la vidéo. Celle-ci apparaissait uniquement lorsque le degré de confiance de détection de l'algorithme des pupilles pour les données enregistrées était supérieur ou égal à 0,60 °.

Après avoir obtenu une vidéo de l'eye-tracker par set ou par situation d'entraînement présentant les lieux de regard, nous avons traité ces vidéos à partir du logiciel Kinovéa 0.8.15, manuellement image par image. A chaque image, définie par un temps sur la vidéo, nous définissions le lieu de regard parmi les zones d'intérêt prédéfinies ainsi que la phase à laquelle l'instant correspondait : phase d'envoi ou phase de réception du volant. Nous avons également différencié les phases de service et les phases d'échanges. Le nombre total d'images traitées pour les vidéos des sets était de 4 031 897 images.

À partir des durées de regard par zone d'intérêt et des zones d'intérêt regardées, nous n'avons conservé que les fixations, c'est-à-dire les regards maintenus sur une même zone d'intérêt au moins 100 ms (Piras & Vickers, 2011). Nous avons ensuite effectué les calculs suivants afin de mesurer les comportements visuels en lien avec le jugement d'anticipation :

- Durée moyenne de fixations (ms)
- Durée moyenne de fixations par échange (ms)
- Nombre moyen de fixations par échange
- Nombre moyen de changements de regard par échange. Cette variable correspondait au changement de regard entre deux zones d'intérêt (nombre de *switches*).
- Durée moyenne de fixation par zone d'intérêt (ms)
- Nombre total de fixations par zone d'intérêt. Cette variable correspondait à la somme des fixations par zone d'intérêt à chaque session expérimentale (set ou situation d'entraînement), divisée par le nombre d'échanges effectués par session expérimentale.

4.2 Comportements moteurs

À partir des enregistrements vidéo obtenus avec le caméscope (100 Hz), le logiciel Kinovéa 0.8.15 a permis d'obtenir image par image manuellement les comportements moteurs, le type de coup et le rapport de force associé. Le nombre total d'images traitées pour les vidéos des sets était de 3 184 017 images. Le rapport de force exprime le fait que le joueur soit en attaque ou en défense. Ce rapport a été déterminé à partir des coups réalisés et de la posture du joueur pour effectuer ce coup : si le joueur présentait des signes de retard (initiation du déplacement du joueur à partir d'un bassin en arrière des appuis et non-alignement des segments du corps lors du contact volant/raquette), le rapport était classé comme défensif. Les coups et le rapport de force associé ont été définis ainsi (Phomsoupha & Laffaye, 2015) :

- Service (défense ou attaque) : initiation d'un échange à partir d'un revers ou d'un coup droit bas ne dépassant pas la hanche. Les joueurs sont situés dans le carré dédié à cet effet sur le terrain.
- Dégagé (défense ou attaque) : trajectoire du volant en cloche initiée majoritairement à partir d'un coup droit ou d'un revers haut. L'objectif est d'amener le volant en fond de court.
- Smash (attaque) : trajectoire du volant rectiligne, descendante avec une recherche de vitesse initiée à partir d'un coup droit ou d'un revers haut. L'objectif est de prendre de vitesse l'adversaire.
- Amorti (attaque) : coup permettant de modérer la vitesse du volant initié à partir de coup droit ou de revers haut ou bas. L'objectif est d'amener le volant proche du filet obligeant l'adversaire à effectuer un important déplacement.
- Drive (attaque) : trajectoire du volant rectiligne, latérale initiée à partir de coup droit ou de revers haut ou bas. L'objectif est de déplacer le joueur sur les côtés.
- Lift/lob (défense ou attaque) : trajectoire du volant montante puis descendante à la verticale initiée par un coup droit ou un revers bas. L'objectif est d'amener le volant derrière l'adversaire.
- Net (attaque) : trajectoire du volant descendante initiée par une position de la raquette fixée au filet. L'objectif est de contrer le volant adverse.

À partir des cinq temps prélevés sur les vidéos (Matériel et mesures, Comportements moteurs

sur le terrain, page 110), les trois variables motrices suivantes liées à l'anticipation ont été calculées :

— Temps de réaction (ms) : différence de temps entre le moment de l'impact volant/raquette de l'adversaire et le premier mouvement effectué par le participant. Cette variable motrice a été retenue puisqu'expérimentalement, elle est liée au jugement d'anticipation (Schmidt & Lee, 2017).

— Délai de la reprise d'appui (ms) : différence de temps entre le moment de l'impact volant/raquette de l'adversaire et la pose du premier pied au sol lors de la reprise d'appui du participant. Cette variable a été retenue puisqu'elle est un reflet de l'expertise et de la performance en permettant d'orienter les appuis et d'augmenter la vitesse de déplacement (Slawinski et al., 2017).

— Délai de la pose de pied (ms) : différence de temps entre le moment de l'impact volant/raquette du participant et la pose de pied avant au sol lors du contact volant/raquette. Cette variable a été définie par l'entraîneur national comme un facteur de performance. En effet, un délai proche de 0 ms montre que le joueur a eu le temps de se déplacer sur le terrain et de se placer sous le volant pour effectuer son coup.

Ainsi, les comportements moteurs (temps de réaction, délai de reprise d'appui, délai de la pose de pied) et les coups réalisés pour chaque échange ont été obtenus. Un échange a été défini comme le déroulé entre le contact volant/raquette de l'adversaire et le contact volant/raquette du participant. Un point était composé d'un ensemble d'échanges.

4.3 Fatigue via la fréquence cardiaque et les échelles

Les valeurs de fréquence cardiaque ont été exprimées de manière relative à la fréquence cardiaque maximale (FCMax) pour chaque set, chaque situation d'entraînement et chaque protocole de fatigue. La fréquence cardiaque maximale a été définie soit théoriquement (novices) soit expérimentalement (experts). De manière théorique, nous avons utilisé les formules définies par Shargal et al. (2015), spécifiques au sexe ($FCMax = 209,273 - 0,804 \times \hat{a}ge$ pour les femmes ; $FCMax = 208,609 - 0,716 \times \hat{a}ge$ pour les hommes). Dans le cadre de leur préparation physique, les participants experts ont effectué un exercice incrémental jusqu'à épuisement en laboratoire, nous permettant ainsi d'obtenir leur fréquence cardiaque maximale. Les données obtenues pour

les échelles et pour le pourcentage de fréquence cardiaque maximale ont été moyennées pour chaque set de badminton, chaque situation d'entraînement et chaque protocole de fatigue.

4.4 Performance

À partir des enregistrements vidéo obtenus, le logiciel Kinovéa 0.8.15 a permis d'obtenir la performance réalisée :

— set gagné-perdu

— point gagné-perdu

— coup réussi-raté

4.5 Traitements statistiques

4.5.1 Analyses statistiques

L'ensemble de nos analyses statistiques a été effectué sur RStudio Version 1.4.1106. Les données des variables sont présentées moyennées avec plus ou moins l'écart-type (M ± E-T).
La normalité de la distribution des variables numériques continues sur les comportements moteurs (temps) et visuels (durées et nombre de fixations) a été testée à partir du test de Kolmogorov-Smirnov, test d'ajustement des données à une loi normale pour des échantillons supérieurs à 50. Une analyse a été ensuite effectuée en deux étapes : une détection d'anomalie univariée puis une suppression des données supérieures ou inférieures à deux écarts-types. La détection d'anomalie univariée (Planchon, 2005) permet de détecter les valeurs aberrantes correspondant à des valeurs déviantes par rapport aux autres observations (Everitt & Skrondal, 2002). Le plancher à deux écarts-types a été défini car 95,45 % des valeurs sont compris dans cet intervalle (Everitt & Skrondal, 2002).
L'ensemble de nos hypothèses sur les effets de la fatigue et de l'expertise a été testé par des modèles linéaires mixtes. Un modèle linéaire mixte comprend des variables à effets fixes et des variables à effets aléatoires (Kliegl, 2010). L'avantage de l'utilisation de modèles mixtes est la souplesse dans la construction du modèle, la possibilité d'avoir des données manquantes et de modéliser les variances et covariances. L'objectif est de montrer les relations entre la

variable dépendante et les variables à effets fixes tout en contrôlant les effets des variables à effets aléatoires. Les variables à effets fixes correspondent aux variables indépendantes dont nous avons manipulé les conditions. Les résultats obtenus ont pour but d'être généralisés. La variable Participant a été définie comme variable à effet aléatoire car elle est spécifique à nos échantillons et l'objectif est d'inférer les résultats de nos échantillons à l'ensemble de la population. Cette variable aléatoire est traitée comme une source de variabilité, elle peut influencer les résultats malgré qu'elle ne soit pas manipulée par l'expérimentateur. Pour générer les coefficients de régression, les données sont traitées de manière individuelle contrairement aux moyennes effectuées par l'analyse de la variance (Cocić et al., 2020). Nous avons défini un niveau de référence pour chaque facteur à effet fixe permettant la compréhension de chaque test d'hypothèse (Cocić et al., 2020)(Tableau 4.2).

Pour toutes les analyses, la significativité a été définie à $p<0,05$. Pour tous les modèles linéaires mixtes, nous avons indiqué la puissance totale explicative du modèle (R conditionnel), l'estimation et la taille d'effet de l'ordonnée à l'origine du modèle en utilisant l'intervalle de confiance (IC) à 95 % (Akl & Panchuk, 2016 ; Conte et al., 2020). Chaque résultat de modèle était présenté de la manière suivante : R^2 conditionnel = , taille d'effet, Ordonnée à l'origine : estimation (95 % IC [,], p-value). La puissance a été définie comme faible pour les valeurs strictement inférieures à 0,13, modérée pour les valeurs supérieures ou égales à 0,13 et strictement inférieures à 0,26 et importante pour les valeurs supérieures ou égales à 0,26 (Cohen, 1988). Pour tous modèles linéaires mixtes significatifs, nous avons effectué des tests post-hoc de *Tukey* afin d'identifier les différences deux à deux.

Tableau 4.2 – Facteurs, niveau de référence et niveaux des variables à effet fixe.

Facteurs à effet fixe	Niveau de référence	Niveaux
Niveau	Novice	Novice ; Expert
Performance	Gagné ou Réussi	Set Gagné ; Set Perdu Point Gagné ; Point Perdu Coup Réussi ; Coup Raté Séquence Réussie ; Séquence Ratée
Latéralité	Droite	Droite ; Gauche
Moment de l'expérimentation	Protocole de fatigue	Pré- ; Protocole ; Post-protocole de fatigue
Fatigue	Pré-protocole de fatigue	Pré- ; Post-protocole de fatigue
Zones d'intérêt	Volant	9 zones pour les novices et 10 zones pour les experts

4.5.2 Puissances statistiques

La puissance statistique correspond à une probabilité théorique d'obtenir un résultat significatif rejetant l'hypothèse nulle et acceptant l'hypothèse alternative. Dans nos études, la puissance statistique des données sur les comportements visuels, les comportements d'anticipation/réaction et la caractérisation de l'attention est l'aptitude à obtenir un résultat significatif mettant en évidence l'effet de la fatigue ou de l'expertise. Elle est majoritairement dépendante du nombre de participants, mais est également modulée par le nombre de stimuli présentés (Baker et al., 2020 ; Brysbaert & Stevens, 2018). À partir de la puissance statistique pour des modèles mixtes développée par Westfall et al. (2014), nous avons déterminé le nombre minimum de participants et de stimuli pour chaque étude. Les paramètres définis étaient la taille d'effet (définie à 0,5, effet « modéré »), la valeur alpha (définie à 0,05), le nombre de participants (6, 19 ou 25 selon l'étude considérée) et la puissance souhaitée (définie à 0,8). Le nombre de stimuli correspondait au nombre d'échanges effectués pour les études 1 à 4 et au nombre d'essais pour l'étude 5. Il a été estimé à partir des paramètres définis précédemment (puissance, taille d'effet, nombre de participants) et du calcul des variances (participants, stimuli, résidu) via le design expérimental croisé proposé par Westfall et al. (2014) (http ://jakewestfall.org/power/).

Pour les études 1 et 5 (n = 25), le nombre minimum de stimuli théorique était de 29,2. Lors de ces expérimentations, le nombre d'échange était de 103,1 ± 57,5 par participant (étude 1) et le nombre d'essais minimum était de 40 par participant (étude 5, tâche d'anticipation coïncidence : 40 essais, tâche Navon : 256 essais, tâche ANT : 196 essais). Pour l'étude 2 (n = 19), le nombre minimum de stimuli théorique était de 48,7. Dans cette expérimentation, le nombre d'échanges était de 147,3 ± 20,0 par participant. Pour les études 3 et 4 (n = 6), nous ne pouvions recruter plus de participants car cela correspondait au nombre de sportifs de haut niveau s'entraînant au Pôle France de Badminton. Cet échantillon étant petit, la puissance statistique maximale pouvant être obtenue est de 0,3 avec un nombre minimum de stimuli théorique de 18,4. Dans ces expérimentations, le nombre d'échange était de 370,5 ± 99,3 et de 93,3 ± 23,0 par participant respectivement pour les études 3 et 4. Nous avons un nombre d'échanges suffisant pour ces deux études avec une puissance statistique de 0,30.

Troisième partie

Caractérisation du jugement d'anticipation en condition de reproduction de sets de badminton

Chapitre 1

Étude 1 - Les caractéristiques de la prise d'informations visuelles et des comportements moteurs en badminton selon l'expertise

1.1 Contexte scientifique

La littérature s'accorde pour définir les experts comme plus rapides et plus justes en termes de réponses que les novices dans la prédiction du comportement adverse (Abernethy & Russell, 1987b ; Piras et al., 2014, 2016). Cependant, l'anticipation diffère selon les sports et les tâches réalisées (D. T. Y. Mann et al., 2007 ; Triolet et al., 2013). Ainsi, on perçoit l'importance d'effectuer des mesures expérimentales au plus proche des conditions de pratique afin de décrire le jugement d'anticipation dans des sports définis. Ce jugement d'anticipation engage les comportements moteurs et visuels permettant de prédire le geste adverse (anticipation) et d'intercepter l'objet (anticipation-coïncidence). Ainsi, Brenton et Müller (2018) questionnent les facteurs de l'anticipation : est-ce l'expertise visio-perceptive ou l'expertise motrice qui influencerait le plus l'anticipation ? Concernant l'expertise visio-perceptive, les experts sont capables de prélever uniquement les informations jugées pertinentes au détriment de signaux moins pertinents pour l'action à réaliser (Brams et al., 2019). La littérature montre que les experts se caractérisent par moins de fixations de plus longue durée comparés aux novices

(Abernethy & Russell, 1987b ; Piras et al., 2014, 2016) et qu'ils utiliseraient des informations cinématiques et contextuelles pour sélectionner l'information et anticiper (Abernethy & Zawi, 2007 ; Müller et al., 2020). De plus, ces comportements visuels peuvent varier selon la performance réalisée (aucune variation, Savelsbergh et al. (2002) ; variation, Sáenz-Moncaleano et al. (2018)). Cependant, ces résultats ne concernent que peu le badminton (Abernethy & Russell, 1987a ; Alder et al., 2014 ; Hagemann et al., 2006). Pourtant, le badminton est le sport de raquette le plus rapide par la fréquence des échanges et la vitesse du volant montrant l'intérêt de comprendre l'expertise visio-perceptive au service de l'anticipation (Nadolny, 2014). Si les capacités d'anticipation peuvent être considérées comme un facteur important de performance en badminton (Phomsoupha & Laffaye, 2015), aucune donnée ne permet aujourd'hui de caractériser et quantifier les comportements qu'ils soient visio-perceptifs ou moteurs pour expliquer cette capacité. Il apparaît alors difficile de déterminer si cette capacité se développe avec l'expertise en badminton, et si oui de quelle façon.

1.2 Objectifs et hypothèses

Le premier objectif de cette étude est de caractériser l'anticipation selon l'expertise à partir de la prise d'informations visuelles et des comportements moteurs. Le second objectif est d'analyser le lien entre les comportements (visuels et moteurs) favorisant l'anticipation et la performance réalisée. Conformément aux résultats de la littérature obtenus en condition de laboratoire, nous émettons l'hypothèse, que sur le terrain, les joueurs experts auraient une meilleure anticipation (c.-à-d., ils seraient plus rapides pour répondre aux coups adverses), auraient des durées de fixations plus longues et moins nombreuses comparés aux joueurs novices (Abernethy & Russell, 1987a ; Alder et al., 2014 ; Hagemann et al., 2006). Deuxièmement, nous supposons, à partir de la littérature (Sáenz-Moncaleano et al., 2018) qu'il existerait des comportements distincts selon la performance réalisée (points et coups réussis ou ratés) impliquant des temps de réaction plus courts et des comportements visuels moins aléatoires : la durée et le nombre de zones d'intérêt fixées seraient inférieurs lors de performances réussies comparés aux performances ratées.

1.3 Méthode

Les détails méthodologiques sont présentés dans la partie Méthodologie générale (page 98).

1.3.1 Participants

Vingt-cinq participants ont participé à cette étude : dix-neuf participants novices et six participants experts (partie Méthodologie générale, chapitre Participants, page 99).

1.3.2 Mesures et variables analysées

Les comportements moteurs et visuels ont été enregistrés. La performance a été évaluée. Le détail de ces mesures se situe dans la partie Méthodologie générale (chapitre Matériel et mesures, page 106). Les comportements moteurs mesurés et utilisés pour cette étude étaient les temps de réaction (TR), le délai de reprise d'appui (DRA) et le délai de la pose d'appui au sol (DPS). Les comportements visuels mesurés et utilisés pour cette étude étaient la durée de fixation (DF), le nombre de fixations (NF) et le nombre de changements de regard (NC) par échange et par zone d'intérêt. La performance était classée en tant que sets réussis ou ratés, points gagnés ou perdus et coups réussis ou ratés.

1.3.3 Procédure expérimentale

Les deux groupes jouaient un set de badminton selon les règles officielles de la Fédération Internationale de Badminton. Tous les participants novices jouaient contre le même adversaire. Les participants experts jouaient contre un adversaire de leur niveau et de même sexe. Le détail des mesures effectuées lors de cette procédure expérimentale se situe dans la partie Méthodologie générale (chapitre Procédure expérimentale, page 102). La Figure 1.1 résume la procédure expérimentale et les mesures effectuées.

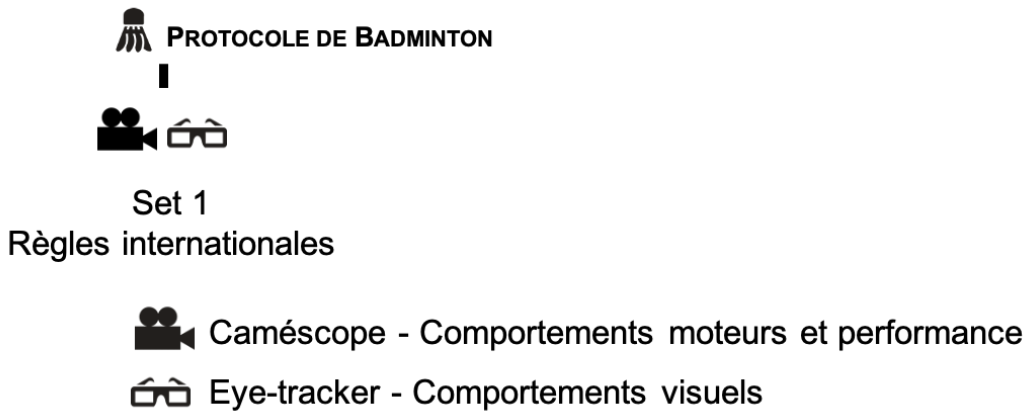


Figure 1.1 – Représentation schématique de la procédure expérimentale et mesures effectuées.

1.3.4 Traitements des données

Les données étaient traitées comme expliqué dans la partie Méthodologie générale (chapitre Traitement des données, page 115). Nous avons ajouté une analyse descriptive des comportements visuels en fonction de la phase d'envoi et de la phase de réception pour chaque échange. La phase d'envoi débutait au contact volant/raquette du participant et se terminait au contact volant/raquette de l'adversaire. La phase de réception débutait au contact volant/raquette de l'adversaire et se terminait au contact volant/raquette du participant.

1.3.5 Analyses statistiques

La visualisation graphique et le test de normalité Kolmogorov-Smirnov ne valident pas l'hypothèse de la normalité de distribution des variables numériques continues sur les comportements moteurs et visuels ($p<0{,}001$). Après filtrage des données, 9,9 % des temps de réaction et 7,6 % des durées de fixations ont été exclus de l'analyse (voir les justifications dans la Méthodologie générale, chapitre Traitement des données, page 115). Sur l'ensemble des participants, nous avons analysé 2322 échanges (1314 pour le groupe de novices et 1008 pour le groupe d'experts) et 4935 fixations oculaires (1873 pour le groupe de novices et 3062 pour le groupe d'experts). Concernant les comportements visuels lors des réceptions de service, après suppression des durées inférieures à 100 ms (c.-à-d., des comportements visuels non considérés comme fixations, Méthodologie générale, chapitre Traitement des données, page 115), nous avions seulement trois fixations pour les novices et quinze fixations pour les experts. Nous n'avons donc pas effectué d'analyse séparée des services au vu du nombre de données. L'ensemble

des tests de nos hypothèses a été effectué à partir de modèles linéaires mixtes. Pour chaque test, le Tableau 1.1 donne le test d'hypothèse et les variables impliquées (dépendante et à effet fixe). La variable Participant était paramétrée comme variable à effet aléatoire.

Tableau 1.1 – Tests d'hypothèse et variables impliquées dans les analyses statistiques.

Tests d'hypothèse	Variable dépendante	Variable à effet fixe
Zones d'intérêt les plus regardées	Nombre de fixations	Zone d'intérêt
Effet de l'expertise sur les comportements moteurs	Temps de réaction (TR)	Niveau
	Délai de la reprise d'appui (DRA)	Niveau
	Délai de la pose du pied avant (DPS)	Niveau
Effet de l'expertise sur les comportements visuels	Durée moyenne de fixation (DF)	Niveau
	Nombre moyen de fixations par échange (NF)	Niveau
	Nombre moyen de changements de regard par échange (NC)	Niveau
	Durée moyenne de fixation par zone d'intérêt	Niveau
	Nombre de fixations par zone d'intérêt	Niveau
Lien performance et comportements moteurs	Temps de réaction (TR)	Niveau Performance
	Délai de la reprise d'appui (DRA)	Niveau Performance
	Délai de la pose du pied avant (DPS)	Niveau Performance
Lien performance et comportements visuels	Durée moyenne de fixation (DF)	Niveau Performance
	Nombre moyen de fixations par échange (NF)	Niveau Performance
	Nombre moyen de changements de regard par échange (NC)	Niveau Performance
	Durée moyenne de fixation par zone d'intérêt	Niveau Performance
	Nombre de fixations par zone d'intérêt	Niveau Performance

Les variables à effet fixe présentaient au moins deux conditions différentes :

— Niveau (2 conditions : Novice ; Expert, niveau de référence : Novice)

— Performance (2 conditions : Réussie, Ratée ; niveaux de référence : Set Gagné ; Point Gagné ; Coup Réussi)

— Zone d'intérêt (9 conditions pour les novices et 10 conditions pour les experts, niveau de référence : Volant)

1.4 Résultats

1.4.1 Descriptif des comportements lors d'un set

1.4.1.1 Comportements moteurs

Les comportements moteurs analysés correspondent aux données prélevées lors des sets réalisés (Tableau 1.2). Les types de coups effectués par les participants ont également été répertoriés (Tableau 1.3). Le TR est significativement différent selon le niveau d'expertise (novice ; expert) ($p<0,001$, R^2 conditionnel = 0,1, modéré, Ordonnée à l'origine : 0,2 (95 % CI [0,2, 0,2], $p<0,001$)). En effet, le TR des participants experts est significativement plus faible que le TR des participants novices. Le DPS est significativement différent selon le niveau d'expertise (novice ; expert) ($p<0,01$, R2 conditionnel = 0,1, faible, Ordonnée à l'origine : -0,3 (95 % CI [-0,3, -0,2], $p<0,001$)). En effet, le DPS des participants experts est significativement plus faible que le DPS des participants novices. Le DRA ($p=0,10$) n'est pas significativement différent entre les deux niveaux d'expertise. Ainsi, l'expertise diminue les TR et les DPS et ne montre aucun résultat significatif sur les DRA.

Tableau 1.2 – Descriptif des comportements moteurs lors des sets pour les populations novices et experts.

	Novices			Experts			p
TR (ms)	201,1	±	87,7	159,8	±	57,2	***
DRA (ms)	134,3	±	194,1	104,8	±	56,8	0,10
DPS (ms)	- 258,3	±	332,7	-126,0	±	235,9	**

Les résultats sont présentés en moyenne ± écart-type. TR : Temps de réaction, DRA : Délai de reprise d'appui, DPS : Délai pose de pied avant au sol.
**p<0,01, ***p<0,001

Tableau 1.3 – Pourcentage de coups en fonction du type de coups effectués par les participants.

	Novices			Experts		
Dégagé (défense ou attaque)	46,3	±	14,5	11,8	±	4,5
Smash (attaque)	10,2	±	8,7	15,9	±	5,7
Amorti (attaque)	17,7	±	13,6	30,9	±	1,4
Drive (attaque)	3,3	±	2,9	12,6	±	5,6
Lift/lob (défense ou attaque)	22,4	±	7,7	27,5	±	8,9
Net (attaque)	0,1	±	8,7	1,3	±	2,3

Les résultats sont présentés en moyenne ± écart-type.

1.4.1.2 Comportements visuels

Globalement

Les comportements visuels analysés correspondent aux données prélevées lors des sets réalisés (Tableau 1.4). La DF, le NF et le NC par échange sont significativement différents entre les participants novices et les experts (p<0,001 pour toutes). En effet, la DF est inférieure chez les participants novices comparée aux participants experts (R^2 conditionnel = 0,2, modéré, Ordonnée à l'origine : 0,2 (95 % CI [0,2, 0,2], p<0,001)). Le NF est inférieur chez les participants novices comparé aux participants experts (R^2 conditionnel = NA, Ordonnée à l'origine : 1,3 (95 % CI [1,2, 1,4], p<0,001)). Le NC est inférieur chez les participants novices comparé aux participants experts (R^2 conditionnel = NA, Ordonnée à l'origine : 1,9 (95 % CI [1,7, 2,1], p<0,001)).

Tableau 1.4 – Descriptif des comportements visuels lors des sets pour les populations novices et experts.

	Novices			Experts			p
DF (ms)	165,1	±	45,5	296,9	±	18,4	***
DF par échange (ms)	167,1	±	39,4	302,9	±	199,7	***
NF par échange	1,3	±	0,5	2,5	±	1,2	***
NC par échange	1,8	±	2,1	3,6	±	8,4	***

Les résultats sont présentés en moyenne ± écart-type. DF : Durée de fixations, NF : nombre de fixations, NC : nombre de changements de regard.
***p<0,001

Par zone d'intérêt

De manière descriptive, les novices regardent majoritairement trois zones d'intérêt : le *volant* (105,6 ± 30,9), la zone *anticipation* (21,3 ± 13,9) et le *haut du corps de l'adversaire* (3,3 ± 4,5) (R^2 conditionnel = 0,9, important, Ordonnée à l'origine : 109,2 (95 % CI [104,9, 113,4], p<0,001). Seules les zones *volant* et *anticipation* sont les zones d'intérêt significativement plus regardées que les autres zones (p<0,001 pour toutes). Les experts regardent majoritairement le *volant* (124,9 ± 33,1), les zones *vides après les impacts du volant/raquette du participant* (40,5 ± 23,1) et du *volant/raquette de l'adversaire* (38,5 ± 26,6) puis l'adversaire (*haut du corps* : 21,6 ± 10,5 et *raquette* : 23,3 ± 14,1) ou proche de l'adversaire (*anticipation* : 21,1 ± 12,7) (R^2 conditionnel = 0,9, important, Ordonnée à l'origine : 132,1 (95 % CI [119,6, 144,6], p<0,001). Seul le *volant* est la zone d'intérêt significativement plus regardée que les autres zones (p<0,001 pour toutes).

Pour chaque zone d'intérêt, la Figure 1.2 présente le temps passé en fonction du temps total de fixations selon la phase d'envoi et de réception et selon le niveau d'expertise.

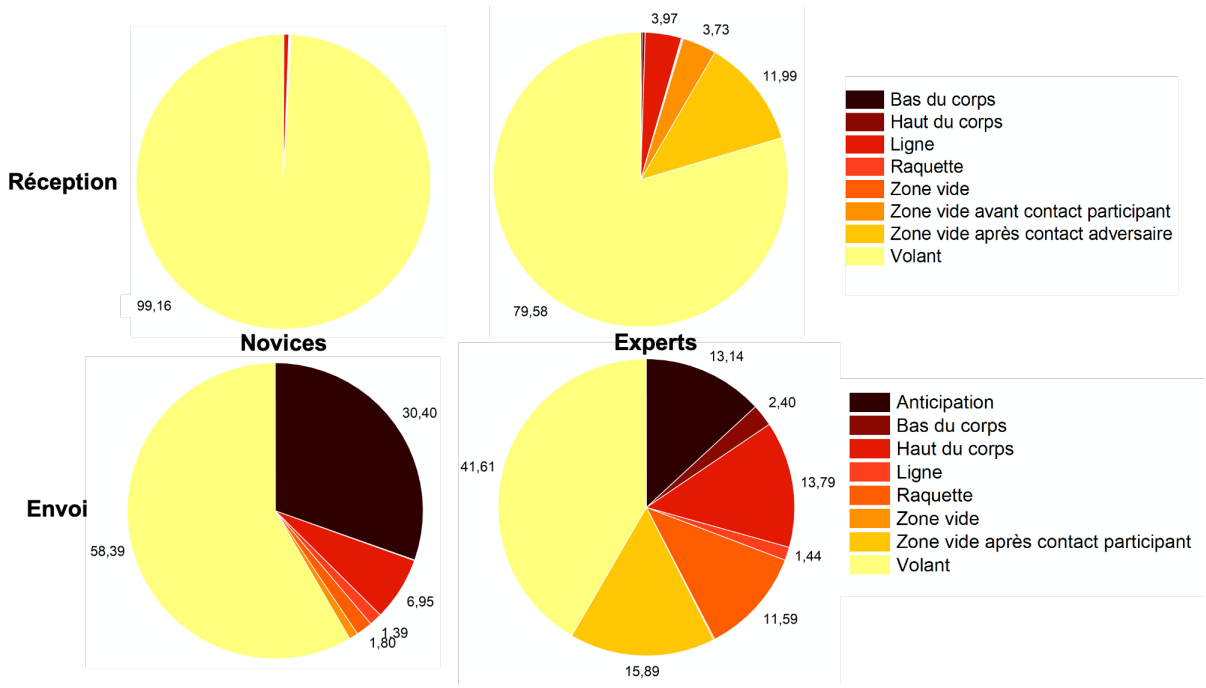


Figure 1.2 – Temps passé sur chaque zone d'intérêt en fonction du temps total de fixations selon la phase d'envoi et la phase de réception et selon le niveau d'expertise.
Les résultats sont présentés en pourcentage de temps passé.

Pour chaque zone d'intérêt, le Tableau 1.5 présente les durées moyennes de fixations en fonction du nombre de coups effectués lors du set. Les DF pour les zones d'intérêt *anticipation*, *haut du corps*, *ligne*, *raquette* et *volant* sont significativement différentes entre les participants novices et les participants experts (p<0,001 pour toutes). En effet, la DF dans le vide correspondant à la zone d'*anticipation* est significativement plus courte pour les participants novices que pour les participants experts (R^2 conditionnel = NA, Ordonnée à l'origine : 0,2 (95 % CI [0,1, 0,2], p<0,001)). La DF sur le *haut du corps de l'adversaire* est significativement plus courte pour les participants novices comparés aux participants experts (R^2 conditionnel = NA, Ordonnée à l'origine : 0,2 (95 % CI [0,1, 0,2], p<0,001)). La DF sur la *ligne* est significativement plus courte pour les participants novices comparés aux participants experts (R^2 conditionnel = 0,95, important, Ordonnée à l'origine : 0,1 (95 % CI [0,1, 0,2], p<0,001)). La DF sur la *raquette de l'adversaire* est significativement plus courte pour les participants novices comparés aux participants experts (R^2 conditionnel = 0,8, important, Ordonnée à l'origine : 0,2 (95 % CI [0,13, 0,17], p<0,001)). La DF sur le *volant* est significativement plus courte pour les participants novices comparés aux participants experts (R^2 conditionnel = NA , Ordonnée à

l'origine : 0,2 (95 % CI [0,2, 0,2], p<0,001)). Certaines zones d'intérêt n'ont aucune ou peu de valeurs pour la DF pour les participants novices ne permettant pas de comparer les deux niveaux d'expertise (*corps bas, zone vide après le contact de l'adversaire, zone vide, zone vide retard avant le contact du participant, zone vide retard après le contact du participant*).

Tableau 1.5 – Durées moyennes de fixations (DF) pour les populations novices et experts pour chaque zone d'intérêt.

Zone d'intérêt	DF (ms)		
	Novices	Experts	p
Volant	171,0 ± 11,4	382,4 ± 23,8	***
Raquette	147,9 ± 30,0	268,7 ± 33,5	***
Haut du corps de l'adversaire	149,3 ± 22,4	298,3 ± 44,0	***
Bas du corps de l'adversaire	117,0 ± NA	270,1 ± 10,0	NA
Ligne	120,1 ± 16,4	328,3 ± 51,0	***
Anticipation du futur point d'impact	148,4 ± 19,0	310,8 ± 70,9	***
Zone vide après l'impact volant/raquette de l'adversaire	175,0 ± NA	115,3 ± 8,5	NA
Zone vide avant l'impact volant/raquette du participant	175,0 ± NA	127,0 ± 20,5	NA
Zone vide	159,2 ± 43,5	226,7 ± 61,3	NA
Zone vide après l'impact volant/raquette du participant	NA	210,4 ± 47,3	NA

Les résultats sont présentés en moyenne ± écart-type.
***p<0,001

Pour chaque zone d'intérêt, le Tableau 1.6 présente le nombre total de fixations en fonction du nombre de coups effectués lors du set. Les NF pour les zones d'intérêt *bas du corps*, *haut du corps*, *ligne*, *raquette*, zones *vide avant le contact volant/raquette du participant* et zone *vide après le contact volant/raquette de l'adversaire* sont significativement différents entre les deux niveaux d'expertise (p<0,001 pour toutes sauf ligne p<0,01). En effet, le NF sur *bas du corps de l'adversaire* est significativement plus petit pour les participants novices que pour les participants experts (R^2 conditionnel = 0,7, important, Ordonnée à l'origine : 0,1 (95 % CI [-0,6, 0,8], p=0,80)). Le NF sur le *haut du corps de l'adversaire* est significativement plus petit pour les participants novices comparés aux participants experts (R^2 conditionnel = 0,7, important, Ordonnée à l'origine : 1,7 (95 % CI [0,3, 3,2], p<0,001)). Le NF sur la *ligne* est significativement plus petit pour les participants novices (2,2 ± 4,9) comparés aux participants experts (7,0 ± 4,7) (R^2 conditionnel = NA, Ordonnée à l'origine : 23,6 (95 % CI [18,7, 28,6], p<0,001)). Le NF sur la *raquette de l'adversaire* est significativement plus petit pour les participants novices comparés

aux participants experts (23,3 ± 14,1) (R^2 conditionnel = NA, Ordonnée à l'origine : 1,8 (95 % CI [-1,3, 4,8], p<0,001)). Le NF sur la zone *vide avant le contact volant/raquette du participant* est significativement plus petit pour les participants novices comparés aux participants experts (R^2 conditionnel = 0,87, important, Ordonnée à l'origine : 0,1 (95 % CI [-0,6, 0,7], p=0,8)). Le NF sur la *zone vide après le contact volant/raquette de l'adversaire* est significativement plus petit pour les participants novices comparés aux participants experts (R^2 conditionnel = NA, Ordonnée à l'origine : 0,1 (95 % CI [-5,7, 5,8], p=0,98)). La zone *vide après le contact volant/raquette du participant* n'a pas été analysée puisqu'elle ne concerne que la population experte.

Tableau 1.6 – Nombre total de fixations (NF) pour les populations novices et experts pour chaque zone d'intérêt.

Zone d'intérêt	NF		
	Novices	Experts	p
Volant	105,6 ± 30,9	124,9 ± 33,1	0,09
Raquette	1,2 ± 2,7	23,3 ± 14,1	***
Haut du corps de l'adversaire	3,3 ± 4,5	21,6 ± 10,5	***
Bas du corps de l'adversaire	0,1 ± 0,4	4,5 ± 2,5	***
Ligne	2,2 ± 4,9	17,0 ± 4,7	**
Anticipation du futur point d'impact	21,3 ± 13,9	21,1 ± 12,7	0,81
Zone vide après l'impact volant/raquette de l'adversaire	0,1 ± 0,5	38,5 ± 26,6	***
Zone vide avant l'impact volant/raquette du participant	0,0 ± 0,2	8,8 ± 4,8	***
Zone vide	0,6 ± 1,6	0,4 ± 0,7	0,65
Zone vide après l'impact volant/raquette du participant	NA	40,5 ± 23,1	NA

Les résultats sont présentés en moyenne ± écart-type.
**p<0,01, ***p<0,001

Ainsi, les résultats descriptifs montrent deux comportements distincts selon le niveau d'expertise. Les joueurs novices ont un TR moyen de 201,1 ± 87,7 ms, effectuent majoritairement des coups en dégagé, fixent majoritairement le volant en phase de réception ; le volant et la zone d'anticipation du futur point d'impact en phase d'envoi. Les joueurs experts ont un TR moyen de 159,8 ± 57,2 ms, effectuent principalement des coups types amortis et lift/lob, fixent majoritairement le volant en phase de réception ; le volant, la zone d'anticipation du futur point d'impact et le haut du corps de l'adversaire en phase d'envoi. De plus, les résultats comparatifs montrent que les comportements moteurs et visuels entre les niveaux

d'expertise diffèrent par des TR plus courts, de plus longues DF sur les zones d'intérêt suivantes : *anticipation*, *haut du corps de l'adversaire*, *ligne*, *raquette de l'adversaire* et *volant* et un plus grand NF pour les experts sur les zones d'intérêt suivantes : *bas et haut du corps de l'adversaire*, *raquette de l'adversaire*, *ligne*, et zones *vides avant le contact volant/raquette du participant* et *après le contact volant/raquette de l'adversaire* en comparaison des novices.

1.4.2 Lien performance : points gagnés/perdus et comportements

1.4.2.1 Comportements moteurs

Nous nous intéressons uniquement aux résultats concernant Point (Gagné ; Perdu)∗Niveau (Novice ; Expert). Le DRA est significativement différent selon le niveau d'expertise (novice ; expert) et les points (gagné ; perdu) ($p<0,001$, R^2 conditionnel = 0,41, important, Ordonnée à l'origine : 0,11 (95 % CI [0,06, 0,16]), $p<0,001$). En effet, le DRA des participants novices est inférieur pour les points gagnés (novices : 104,7 ± 202,3 ms) comparés aux points perdus (novices : 144,7 ± 190,9 ms ; $p<0,001$). De plus, le DRA des points perdus des novices (144,7 ± 190,9 ms) est supérieur aux points perdus des experts (105,5 ± 51,8 ms ; $p<0,01$). Ainsi, les participants novices ont un DRA qui diminue lors des points gagnés comparés aux points perdus. Il n'y a aucune différence entre les points gagnés et perdus pour les participants novices sur les TR et les DPS. Les participants experts ne présentent aucune différence significative entre les points gagnés et les points perdus sur l'ensemble des trois variables liées aux comportements moteurs (TR, DPS, DRA).

1.4.2.2 Comportements visuels

Nous nous intéressons uniquement aux résultats concernant Point (Gagné ; Perdu)∗Niveau (Novice ; Expert). Le NF et le NC par échange sont significativement différents entre les points gagnés et les points perdus selon le niveau d'expertise ($p<0,01$ pour tous)(Figure 1.3). En effet, le NF par échange est significativement plus petit pour les points gagnés des experts (2,5 ± 0,6) comparés aux points perdus des experts (2,7 ± 0,5 ; $p<0,05$). Les NF pour les points gagnés (2,5 ± 0,6) et perdus (2,7 ± 0,5) des experts sont significativement supérieurs aux points gagnés (1,3 ± 0,2) et perdus des novices (1,3 ± 0,1) ($p<0,001$) (R^2 conditionnel = 0,94, important, Intercept : 1,31 (95 % CI [1,19, 1,43], $p<0,001$)). Seul le niveau d'expertise diffère pour le NC

par échange. Les NC des points gagnés (2,8 ± 0,6) et perdus (3,2 ± 0,5) des experts sont significativement supérieurs aux points gagnés (1,7 ± 0,3) et perdus des novices (1,6 ± 0,1 ; p<0,001) (R^2 conditionnel = 0,89, important, Ordonnée à l'origine : 1,67 (95 % CI [1,52, 1,82], p<0,001)).

Les NF pour les zones d'intérêt *bas du corps de l'adversaire*, *vide avant le contact volant/raquette du participant*, *vide après le contact volant/raquette du participant* et *vide après le contact volant/raquette de l'adversaire* sont significativement différents entre les points (gagné ; perdu) et les niveaux d'expertise (novice ; expert) (Figure 1.3). En effet, le NF sur le *bas du corps de l'adversaire* est significativement plus important pour les points gagnés des experts que pour les points perdus des experts (p<0,05). Les NF sur le *bas du corps de l'adversaire* des points gagnés et perdus des experts sont significativement supérieurs aux points gagnés et perdus des novices (p<0,001) (R^2 conditionnel = 0,8, important, Ordonnée à l'origine : 0,1 (95 % CI [-0,4, 0,7], p=0,61)). Le NF sur la zone *vide avant contact volant/raquette du participant* est significativement plus faible pour les points gagnés des experts que pour les points perdus des experts (p<0,001). Les NF sur la zone *vide avant contact volant/raquette du participant* des points gagnés et perdus des experts sont significativement supérieurs aux points gagnés et perdus des novices (p<0,001 pour tous) (R^2 conditionnel = NA, Ordonnée à l'origine : -1,00e-15 (95 % CI [-0,9, 0,9], p>0,999)). Le NF sur la zone *vide après contact volant/raquette du participant* est significativement plus faible pour les points gagnés des experts que pour les points perdus des experts (p<0,001) (R^2 conditionnel = 0,99, important, Ordonnée à l'origine : 1,91e-15 (95 % CI [-5,0, 5,0], p>0,999)). Le NF sur la zone *vide après contact volant/raquette de l'adversaire* est significativement plus faible pour les points gagnés des experts que pour les points perdus des experts (p<0,01). Les NF sur la zone *vide après contact volant/raquette de l'adversaire* des points gagnés et perdus des experts sont significativement supérieurs aux points gagnés et perdus des novices (p<0,001 pour tous) (R^2 conditionnel = 0,99, important, Ordonnée à l'origine : 0,2 (95 % CI [-5,6, 6,0], p=0,95)).

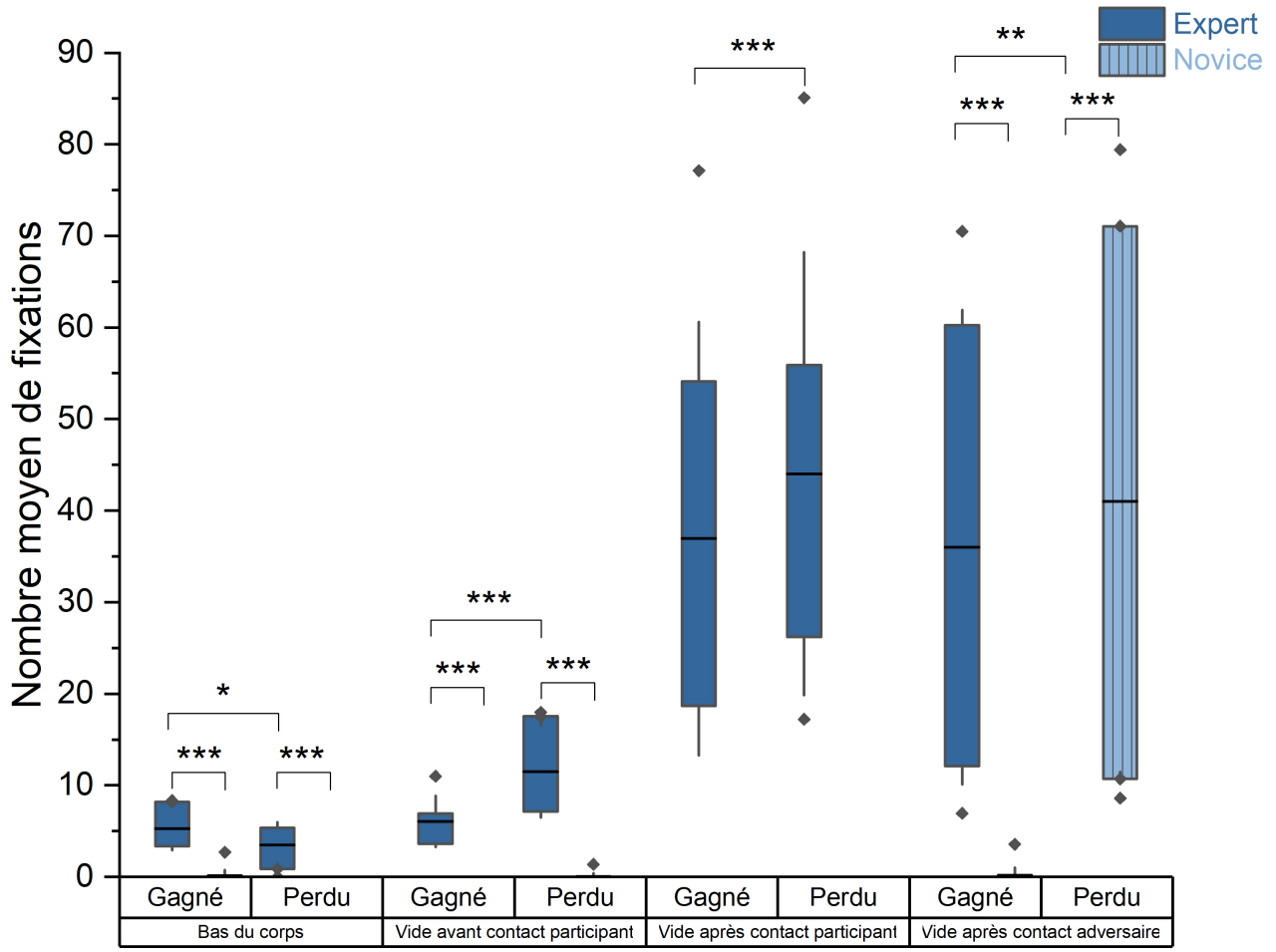


Figure 1.3 – Nombre de fixation pour les zones d'intérêt bas du corps de l'adversaire, vide avant le contact volant/raquette du participant, vide après le contact volant/raquette du participant et vide après le contact volant/raquette de l'adversaire en fonction de la performance réalisée (point gagné ; point perdu) et de l'expertise (novice ; expert).
Les résultats sont présentés en moyenne ± écart-type. *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001

Ainsi, les comportements visuels des experts pour les points gagnés diffèrent par des NF et NC plus importants, par un NF sur le *bas du corps de l'adversaire* plus important et des NF sur les zones *vides (avant et après contact du participant et après contact de l'adversaire)* moins importants comparés aux points perdus. Il n'y a pas de différence entre les points (gagné ; perdu) quel que soit le niveau d'expertise sur la DF et la DF par zone d'intérêt. Les comportements visuels ne sont pas modifiés pour les participants novices en fonction de la performance réalisée (point gagné ; point perdu).

1.4.3 Lien performance : coups réussi/ratés et comportements

1.4.3.1 Comportements moteurs

Nous nous intéressons uniquement aux résultats concernant Coup (Réussi ; Raté)∗Niveau (Novice ; Expert). Le DRA est significativement différent selon le niveau d'expertise (novice ; expert) et les coups (réussi ; raté) (R^2 conditionnel = 0,3, important, Ordonnée à l'origine : 0,2 (95 % CI [0,1, 0,2], p<0,001). En effet, chez les novices, le DRA est supérieur pour les coups réussis (158,1 ± 183,4 ms) comparés aux coups ratés (104,1 ± 175,5 ms ; p<0,05). Le DRA des coups réussis des experts (104,7 ± 58,0 ms) est significativement inférieur au DRA des coups réussis des novices (158,1 ± 183,4 ms)(p<0,001). Ainsi, les participants novices ont un DRA qui augmente lors des coups réussis comparés aux coups ratés. Il n'y a aucune différence entre les coups réussis et ratés pour les participants novices sur les TR et les DPS. Les participants experts ne présentent aucune différence significative entre les coups réussis et les coups ratés sur l'ensemble des trois variables liées aux comportements moteurs.

1.4.3.2 Comportements visuels

Nous nous intéressons uniquement aux résultats concernant Coup (Réussi ; Raté)∗Niveau (Novice ; Expert). Les DF pour les zones d'intérêt : *anticipation* et *raquette de l'adversaire* sont significativement différentes entre les coups réussis et les coups ratés en fonction du niveau d'expertise (Figure 1.4). En effet, la DF sur la zone vide *anticipation* est significativement plus petite pour les coups réussis des experts que pour les coups ratés des experts (p<0,01). Les DF sur la zone *anticipation* des coups réussis et ratés des experts sont significativement supérieures aux coups réussis et ratés des novices (p<0,001) (R^2 conditionnel = 0,99, important, Ordonnée à l'origine : 0,2 (95 % CI [0,11, 0,2], p<0,001)). La DF sur la *raquette de l'adversaire* est significativement plus grande pour les coups réussis des experts que pour les coups ratés des experts (p<0,001). La DF sur la *raquette* des coups réussis des experts est significativement supérieure aux coups réussis des novices (p<0,001) (R^2 conditionnel = 0,98, important, Ordonnée à l'origine : 0,2 (95 % CI [0,1, 0,2], p<0,001)).

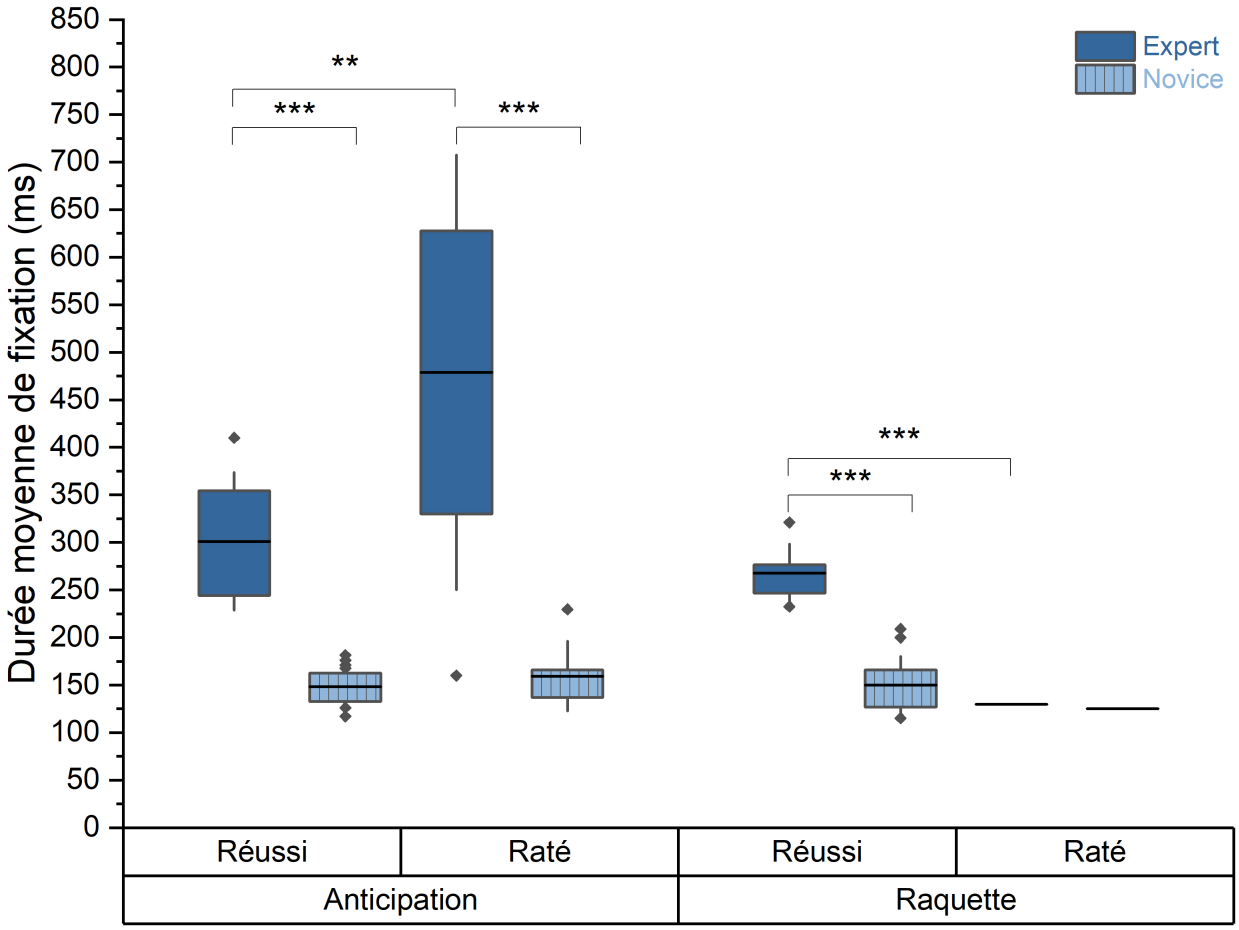


Figure 1.4 – Durée de fixation moyenne pour les zones d'intérêt anticipation et raquette de l'adversaire en fonction de la performance réalisé (coup réussi ; coup raté)
Les résultats sont présentés en moyenne ± écart-type. **p<0,01, ***p<0,001

Le NF par échange est significativement différent entre les coups (réussi ; raté) et le niveau d'expertise (novice ; expert) (p<0,01) (Figure 1.5). En effet, le NF par échange est significativement plus grand pour les points gagnés des experts (2,7 ± 0,6) et des novices (1,4 ± 0,1) comparés aux points perdus des experts (2,2 ± 0,4) et des novices (1,1 ± 0,1 ; p<0,001) (R^2 conditionnel = 0,97, important, Ordonnée à l'origine : 1,4 (95 % CI [1,2, 1,5], p<0,001)). Les NF pour les zones d'intérêt *haut du corps de l'adversaire*, *ligne*, *raquette de l'adversaire*, *vide après le contact volant/raquette du participant* et *vide après le contact volant/raquette de l'adversaire* sont significativement différents entre les coups (réussi ; raté) et les niveaux d'expertise (novice ; expert)(Figure 1.5). En effet, le NF sur le *haut du corps de l'adversaire* est significativement plus important pour les coups réussis des experts et des novices que pour les coups ratés des experts et des novices (p<0,001) (R^2 conditionnel = 0,8, important, Ordonnée à l'origine : 5,6 (95 % CI [2,9, 8,3], p<0,001)). Le NF sur la *ligne* est significativement plus petit

pour les coups réussis des experts que pour les coups ratés des experts (p<0,001). Le NF sur la *ligne* des coups ratés des experts est significativement supérieur aux coups ratés des novices (p<0,001) (R^2 conditionnel = 0,66, important, Ordonnée à l'origine : 0,54 (95 % CI [-2,34, 3,42], p=0,71)). Le NF sur la *raquette de l'adversaire* est significativement plus grand pour les coups réussis des experts que pour les coups ratés des experts (p<0,001). Le NF sur la *raquette* des coups réussis des experts est significativement supérieur aux coups réussis des novices (p<0,001) (R^2 conditionnel = 0,7, important, Ordonnée à l'origine : 2,5 (95 % CI [-0,1, 5,0], p=0,06)). Le NF sur la zone vide après contact volant/raquette du participant est significativement plus grand pour les coups réussis des experts que pour les coups ratés des experts (p<0,001) (R^2 conditionnel = 0,99, important, Ordonnée à l'origine : 0,00 (95 % CI [-5,6, 5,6], p>0,999)). Le NF sur la zone *vide après contact volant/raquette de l'adversaire* est significativement plus petit pour les coups réussis des experts que pour les coups ratés des experts (p<0,01). Le NF sur la zone *vide après contact volant/raquette de l'adversaire* des coups réussis et ratés des experts est significativement supérieur aux coups réussis et ratés des novices (p<0,001) (R^2 conditionnel = 0,97, important, Ordonnée à l'origine : 0,09 (95 % CI [-6,62, 6,80], p=0,98)).

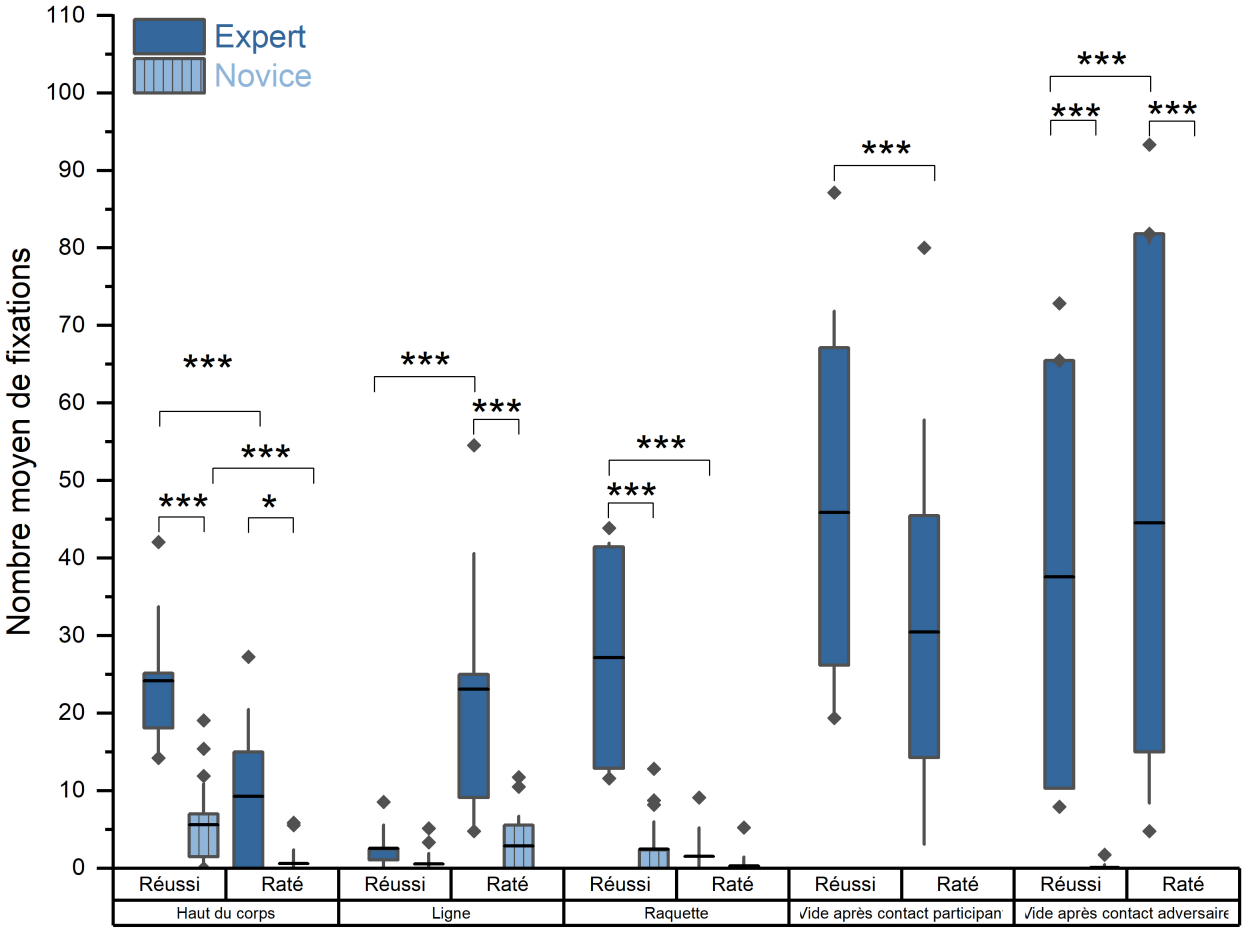


Figure 1.5 – Nombre moyen de fixations et nombre de fixations pour les zones d'intérêt haut du corps de l'adversaire, ligne, raquette, vide après le contact volant/raquette du participant et vide après le contact volant/raquette de l'adversaire en fonction de la performance réalisé (coup réussi ; coup raté).
Les résultats sont présentés en moyenne ± écart-type. ***p<0,001

Ainsi, les comportements visuels des experts pour les coups réussis diffèrent par une DF sur la zone vide *anticipation* moins longue, une DF sur la *raquette de l'adversaire* plus longue, des NF sur le *haut du corps de l'adversaire*, sur la *raquette de l'adversaire* et sur la zone *vide après contact volant/raquette du participant* plus grands et des NF sur les *lignes* et sur la zone *vide après contact volant/raquette de l'adversaire* plus petits comparés aux coups ratés. Concernant les participants novices, seule la DF sur la *raquette de l'adversaire* est plus importante pour les coups réussis comparés aux coups ratés. Les autres variables et zones d'intérêt liées aux comportements visuels ne sont pas modifiées en fonction de la performance réalisée (coup réussi ; coup raté).

1.5 Discussion

À partir d'une démarche essentiellement descriptive, cette étude visait à caractériser l'anticipation selon l'expertise à partir de la prise d'informations visuelles et des comportements moteurs en condition de pratique de badminton. L'analyse montre que les experts répondent plus rapidement que les novices, réalisent des fixations de plus longues durées et plus nombreuses. Cependant la zone d'intérêt la plus regardée reste le volant, et ce, sans distinction des profils considérés. L'analyse de la performance témoigne d'une indépendance entre TR et performance ainsi que l'utilisation de stratégies visuelles de la part des experts pour gagner des points et réussir des coups. En effet, ces derniers fixent plus longtemps et plus souvent certaines zones d'intérêt (raquette, adversaire) lors de performance réussie.

1.5.1 Expertise et comportements moteurs

Nos hypothèses quant à l'expertise présupposaient que les joueurs experts seraient plus rapides pour répondre comparés aux joueurs novices. Nos résultats vont effectivement dans le sens de TR plus courts pour les experts comparés aux novices. Ces résultats sont en adéquation avec les études sur l'anticipation montrant une capacité des experts à répondre plus rapidement et de manière plus juste (D. T. Y. Mann et al., 2007). En effet, spécifiquement en sport de raquette, S. Kim et al. (2007) ont montré des TR plus rapides chez des joueurs de niveau national comparé à des joueurs de niveau universitaire en situation de retour de service en badminton. Nous obtenions des TR de 159,8 $\pm$ 57 ms pour la population de joueurs experts et de 201,1 $\pm$ 87,7 ms pour la population novices. De manière descriptive, Alder et Broadbent (2017) ont étudié l'anticipation en badminton à travers une analyse vidéo de matchs issus des Finales des Masters. Les TR chez les experts étaient de 262 ms. La différence de TR obtenus peut s'expliquer par la méthodologie employée. En effet, le TR obtenu parAlder et Broadbent (2017) correspond à une moyenne sur différents formats de jeu (homme simple, femme simple, homme double et femme double). De plus, les outils utilisés présentaient des précisions de mesure différentes pouvant impacter l'incertitude de mesure comme expliqué dans la partie Méthodologie (chapitre Matériel et mesures). En effet, Alder et Broadbent (2017) utilisent un logiciel à la fréquence de 50 Hz, impliquant une justesse de 40 ms/image alors que nous avons utilisé un caméscope enregistrant à 100 Hz et nous avons estimé l'incertitude à 30 ms/image.

La différence significative de TR obtenue entre les deux populations étudiées peut s'expliquer par les connaissances inscrites en mémoire des joueurs experts leur permettant de sélectionner plus rapidement la réponse jugée pertinente à la situation puis de programmer et exécuter un comportement moteur associé (Brams et al., 2019 ; Farrow & Abernethy, 2015). À partir de la définition de l'anticipation (information cinématique et information contextuelle) nous pouvons également expliquer la rapidité de TR par une prise d'informations visuelles efficiente (Abernethy & Russell, 1987a ; Piras et al., 2014, 2016).

1.5.2 Expertise et comportements visuels

Nos hypothèses sur l'expertise présupposaient que les joueurs experts auraient des durées de fixations plus longues et moins nombreuses comparés aux joueurs novices. Nos résultats vont également dans le sens de notre hypothèse : en effet, la DF est plus longue chez les experts que chez les novices. Ces résultats sont similaires à la littérature (Abernethy & Russell, 1987a ; D. T. Y. Mann et al., 2007 ; Piras et al., 2017). En effet, en sport de raquette, les experts en tennis de table montraient des DF plus longues sur des séquences vidéo d'occultation temporelle (Piras et al., 2017). Les fixations longues sont effectuées sur des zones d'intérêt permettant de prélever l'information pertinente pour répondre à la situation (Murray & Hunfalvay, 2017 ; Piras et al., 2014, 2017 ; Russo & Ottoboni, 2019). Les processus attentionnels impliqués placent la zone d'intérêt au centre de la fovéa afin d'avoir une attention focalisée sur cet élément (Posner, 1980 ; Remington & Goodwin, 2011). Nos résultats ne valident pas notre hypothèse sur le NF et le NC puisque les experts présentent des nombres plus importants que les novices. Dans la littérature, le NF est inférieur pour les experts comparés aux novices (revue de littérature de D. T. Y. Mann et al. (2007)). Nos résultats sont similaires pour le NC. Il est à noter que d'après notre définition de la fixation (temps supérieurs à 100 ms), le nombre de valeurs exclues pour les novices s'est avéré important. Ainsi, la différence entre les deux niveaux d'expertise peut être associée au peu de fixations effectuées par la population de novices. De plus, cette population est caractérisée par une focalisation importante sur deux zones d'intérêt (*volant* et *zone anticipation*) impactant le NF et le NC lorsqu'on souhaite comparer à une population experte se focalisant sur quatre zones d'intérêt distinctes (*volant*, zones *vides après l'impact volant/raquette du participant et de l'adversaire*, *adversaire*). Cependant, quelle que soit la

population envisagée, le *volant* reste la zone d'intérêt significativement plus regardée que les autres zones.

Enfin, le pourcentage de temps passé sur chaque zone d'intérêt selon la phase considérée (envoi ou réception) permet de définir les stratégies visuelles selon le niveau d'expertise. Les novices regardent majoritairement le *volant*, quel que soit la phase considérée ainsi que la zone *anticipation* uniquement sur la phase d'envoi. Cette zone *anticipation* pourrait être identifiée comme une zone à l'interface d'autres zones d'intérêt (*volant*, *adversaire*, *raquette*). Selon des stratégies différentes, en phase de réception, les experts fixent principalement le *volant*, les zones *vide après le contact volant/raquette de l'adversaire* et *avant le contact volant/raquette du participant* et les *lignes* du terrain. Lors de cette phase, le joueur doit se déplacer, programmer et réaliser son coup afin d'intercepter le volant. En phase d'envoi, les experts fixent principalement la zone *vide après le contact volant/raquette du participant*, le *volant*, la zone *anticipation*, la *raquette* et le *haut du corps de l'adversaire*. Lors de cette phase, le participant prédit le lieu d'arrivée du volant envoyé, mais surtout prend des informations quant au futur coup de son adversaire à partir des informations disponibles. Ces zones d'intérêt permettent de définir les stratégies visuelles développées par les experts en fonction des phases à partir des informations disponibles et de l'action à réaliser.

Klostermann et Moeinirad (2019) remettent en question l'évidence empirique de la supériorité des experts sur les habiletés perceptivo-cognitives, dont les recherches visuelles, à partir d'une méta-analyse. En effet, la majorité des études ne montrent pas d'effets significatifs concernant la durée de fixations et le nombre de fixations mais montrent une différence significative sur les zones d'intérêt. Ainsi, nos résultats nous ont permis de caractériser les comportements visuels des populations expertes et novices. Il est à noter que d'une part les contradictions avec certaines études peuvent s'expliquer par l'absence de consensus scientifique à ce sujet, et d'autre part, que les absences de différences entre les niveaux d'expertise peuvent s'expliquer par l'implication d'autres mécanismes non analysés ici.

1.5.3 Performance et comportements moteurs

Nos hypothèses sur la performance présupposaient que des performances réussies étaient associées à des TR plus courts comparés aux performances ratées. Nos résultats montrent qu'il

n'existe pas de lien entre la performance réalisée et les TR. Ces résultats sont contradictoires à la littérature puisque les études montrent que l'anticipation (mesurée par les TR) est liée à la performance (réponses justes) (Abernethy & Russell, 1987a ; Piras et al., 2016). Cependant la performance en badminton est multifactorielle (Phomsoupha & Laffaye, 2015). Ainsi, elle ne dépend pas uniquement des TR et de leur évolution au cours d'un set. Le TR peut être divisé en deux composantes : un temps pré-moteur associé aux fonctions cognitives centrales et un temps moteur/délai électromécanique associé aux fonctions motrices périphériques (Le Mansec et al., 2018). On peut envisager différents facteurs pouvant participer à la performance à partir de ces composantes. Par exemple, la réalisation motrice c'est-à-dire la nature du coup envisagé et la technique employée peut être un indicateur de performance, non mesurée dans cette étude. En amont, la prise d'informations comme fonction cognitive centrale est également un facteur pouvant influer la performance motrice. De manière descriptive, Alder et Broadbent (2017) reprennent en badminton les résultats de Triolet et al. (2013) obtenus en tennis. Triolet et al. (2013) ont étudié l'anticipation en tennis à travers une analyse vidéo de matchs issus de tournois ATP. Ils ont différencié les actions d'anticipation qui se déroulaient 140 ms avant le contact balle-raquette de l'adversaire, des actions de réaction qui se déroulaient 160 ms après le contact balle-raquette de l'adversaire. L'intervalle de temps [140 à 160 ms] correspondait à une transition entre ces deux comportements qu'il est difficile de dissocier. D'après les temps définis par Triolet et al. (2013), Alder et Broadbent (2017) expliquent que 14,03 % des coups effectués en badminton sont des coups associés à de l'anticipation. La majorité des comportements des joueurs de badminton ne sont donc pas anticipatoires. La performance ne peut donc pas s'expliquer par des comportements d'anticipation. Seuls les DRA chez les novices montraient des résultats significatifs entre les points (gagné ; perdu) et les coups (réussi ; raté). Cependant, les novices sont caractérisés par peu de reprises d'appui (peu de valeurs). Ainsi une analyse pertinente au regard de la performance de ce comportement moteur n'est pas possible. Enfin, les caractéristiques motrices des deux populations recrutées montrent que les experts sont majoritairement sur un rapport de force attaquant (74,1 ± 6,7 %) traduit par des coups d'attaque tels que l'amorti et lift/lob (coup attaque/défense) alors que les novices sont majoritairement sur un rapport de force défensif (41,6 ± 22,2 %) traduit par le dégagé qui peut être à la fois un coup de défense et un coup d'attaque. Les résultats sur les experts sont en

adéquation avec la littérature puisque ces joueurs jouent davantage de coups d'attaque que de défense (Oswald, 2006). De plus, ces comportements sont en adéquation avec l'étape conative experte qui consiste à imposer son style de jeu à l'adversaire (Dieu et al., 2014). Concernant les novices, le jeu en défense témoigne de leur comportement de réaction face à l'adversaire caractéristique de leur étape conative structurale qui consiste à renvoyer le volant (Dieu et al., 2014).

1.5.4 Performance et comportements visuels

1.5.4.1 Performance et durée moyenne de fixations

Nos hypothèses sur la performance présupposaient que des performances réussies étaient associées à des DF inférieures et moins nombreuses comparées aux performances ratées. Nos résultats montrent des DF indépendantes de la performance. Nos résultats ne sont pas en adéquation avec le peu d'études sur le lien performance et comportements visuels (Sáenz-Moncaleano et al., 2018), d'autant plus en situation (Dicks, Button, & Davids, 2010 ; Panchuk & Vickers, 2006 ; van Maarseveen, Oudejans, et al., 2018). En effet, la performance, lors de retours de service en tennis, en termes de coups réussis est associée à des DF plus longues sur la balle avant le rebond et à des durées de temps de *quiet-eye* plus longues (c.-à-d., dernière fixation sur une cible avant l'initiation du mouvement, Vickers (1996a))((Sáenz-Moncaleano et al., 2018)). De même, la performance en termes de tirs arrêtés en hockey sur glace est associée à des durées de temps de *quiet-eye* plus longues et plus précoces (Panchuk & Vickers, 2006). Cependant, au-delà du lien entre la dernière fixation (temps de *quiet-eye*) et la performance, aucune étude en sport de raquette et plus spécifiquement en badminton n'a démontré de lien entre les recherches visuelles et la performance réalisée en termes de points et de coups. Ainsi, d'après nos résultats, il n'y a pas de lien entre la DF moyenne et la performance réalisée en badminton.

1.5.4.2 Performance et durée de fixations par zone d'intérêt

Aucune DF en fonction des différentes zones d'intérêt ne varie selon la performance en termes de points gagnés ou perdus. Cependant, les DF pour certaines zones d'intérêt sont liées à la performance réalisée en termes de coups réussis ou ratés. En effet, les résultats montrent

des liens entre les coups réussis et des DF courtes sur la zone d'intérêt *anticipation* et des DF longues sur la zone d'intérêt *raquette* de l'adversaire pour les joueurs experts. Si peu d'études se sont intéressées au lien entre zones d'intérêt et performance réalisée en termes de points ou de coups, nous pouvons expliquer nos résultats au regard de la littérature sur les zones d'intérêt des experts. En effet, la zone d'intérêt *anticipation* semble être une information pertinente à relever mais sur des durées courtes. On peut expliquer son intérêt par sa localisation située entre plusieurs zones d'intérêt : volant, raquette, corps de l'adversaire (Vater et al., 2019). Cependant, elle nécessite d'être réajustée à chaque instant, car elle est liée à la trajectoire du volant, aux mouvements de la raquette et de l'adversaire. De plus, la capacité à avoir une vision périphérique à partir de ce point de fixation se développe avec l'expertise (Brams et al., 2019). Ainsi, des durées de fixation sur cette zone d'intérêt peuvent être scientifiquement expliquées, mais montre ses limites lorsque sa durée est trop longue. À l'inverse, la zone d'intérêt *raquette* est associée à de plus longues durées de fixation pour les coups réussis montrant qu'il y a des informations pertinentes à prélever. Cette zone d'intérêt a déjà été relevée dans la littérature en badminton (Abernethy & Russell, 1987a ; Hagemann et al., 2006 ; S. Kim et al., 2007). On peut émettre l'hypothèse que l'armée de la raquette et l'orientation de celle-ci renseignent sur le type de coup effectué. On constate que prélever des informations pertinentes sur cette zone *raquette* semble relever d'un certain niveau d'expertise puisqu'uniquement notre population experte a montré des résultats significatifs sur cette zone d'intérêt. Ainsi, des durées de fixations spécifiques sur les zones d'intérêt *anticipation*(courte durée de fixation) et *raquette* (longue durée de fixation) sont liées à la réussite de la performance.

1.5.4.3 Performance et nombre moyen de fixations

Nos résultats montraient des NF différents selon la performance réalisée (points gagnés ; perdus, coups réussis ; ratés) mais pas de modifications des NC. Ces résultats sont contraires à nos hypothèses. À notre connaissance, il n'y a pas d'étude témoignant d'un lien direct entre les performances sportives réalisées et le NF et/ou le NC. Cependant, nous pouvons tenter d'expliquer nos résultats significatifs selon l'expertise et la performance réalisée : (i) résultat significatif avec la population d'experts pour les points gagnés/perdus et, (ii) résultats significatifs pour les populations de novices et d'experts pour les coups réussis/ratés. Pour

gagner des points, les experts effectuent moins de fixations et moins de changements de regard. Ces comportements visuels témoignent d'une focalisation sur des zones d'intérêt restreintes en adéquation avec des stratégies visuelles et une attention focalisée dans le but de prélever des informations pertinentes au service de la performance réalisée (Eysenck et al., 2007 ; Memmert, 2009 ; Williams et al., 2000). A l'inverse, pour réussir des coups, les experts et les novices effectuent davantage de fixations mais ne présentent aucune modification du NC entre les coups réussis et les coups ratés. Le NF important peut s'expliquer par le prélèvement d'informations sur des zones d'intérêt pertinentes permettant de réaliser le coup le plus efficace dans le but de gagner le point (expert) ou de renvoyer le volant (novice). En effet, la différence majeure entre ces performances (points versus coups) réside dans l'analyse de la temporalité. Le point se construit à travers plusieurs échanges et, le NF et le NC témoignent d'une recherche visuelle sur plusieurs échanges. A l'inverse, un coup consiste uniquement en un échange réalisé avec l'adversaire et, le NF et le NC témoignent d'une réponse au coup adverse effectué.

1.5.4.4 Performance et nombre de fixations par zone d'intérêt

Pour gagner des points, les experts regardent davantage le *bas du corps de l'adversaire* et moins les zones vides (*avant ou après le contact volant/raquette du participant* et *après le contact volant/raquette de l'adversaire*). Les résultats sur le *bas du corps* sont en adéquation avec la littérature qui qualifie cette zone comme d'intérêt en sport de raquette (Abernethy & Russell, 1987a ; Hagemann et al., 2006). Ainsi, le lien avec la performance en termes de coups gagnés confirme l'intérêt de fixer cette zone. En effet, cette zone permet au joueur d'intégrer des informations et d'anticiper le futur déplacement et/ou coup de son adversaire. Les plus faibles NF sur les zones vides suivantes : *avant ou après le contact volant/raquette du participant* peuvent s'expliquer par une diminution de la centration du joueur sur la réalisation motrice de son coup au profit d'un retour rapide sur des zones d'intérêt lui permettant de prélever des informations sur la suite de l'échange. La fixation sur la zone *vide après le contact volant/raquette de l'adversaire* révèle un retard du joueur à fixer une zone d'intérêt pertinente dû au délai entre la vitesse du volant et la poursuite visuelle du joueur. Ainsi, le plus faible NF sur cette zone lors des points gagnés montre que le joueur ne fixe pas ou peu cette zone sans information pertinente.

Pour réussir des coups, les experts regardent davantage le *haut du corps*, la *raquette de l'adversaire* et la zone *vide retard après le contact volant/raquette du participant* mais ils regardaient moins les *lignes du terrain* et la zone *vide après contact volant/raquette de l'adversaire*. Nous retrouvons ici deux zones d'intérêt identifiées dans la littérature : le haut du corps de l'adversaire et sa raquette (Abernethy & Russell, 1987a ; Hagemann et al., 2006 ; S. Kim et al., 2007). Ainsi, fixer ces zones d'intérêt permettrait de prélever des informations pertinentes au service d'un coup réussi. La zone vide suivante : *retard après le contact volant/raquette du participant* peut témoigner d'une centration sur la réalisation motrice du coup. En effet, d'après la littérature sur le temps de *quiet-eye* (c.-à-d., dernière fixation sur une cible pertinente avant l'initiation du mouvement Vickers (1996a)), des temps de *quiet-eye* prolongés sont associés à une meilleure performance (D. T. Y. Mann et al., 2007). Enfin, les *lignes du terrain* et la zone *vide après contact volant/raquette de l'adversaire* semblent des zones moins informatives, non analysées dans la littérature. En effet, les fixations sur la ligne relèvent notamment de vérification sur la validité du volant adverse et cela au détriment d'information sur des zones d'intérêt comme le volant ou l'adversaire (Abernethy & Russell, 1987a ; Hagemann et al., 2006 ; S. Kim et al., 2007) ; et les fixations sur le *vide retard après le contact volant/raquette de l'adversaire* relèvent d'un retard du joueur après le coup de son adversaire pour retrouver le volant qui arrive dans son terrain.

Les participants novices ne présentent pas de comportements spécifiques concernant le NF ou le NC par rapport à la performance réalisée excepté pour les coups réussis : NF supérieur et NF sur le *haut du corps* supérieur. Ces résultats peuvent s'expliquer par le faible nombre de points gagnés ne permettant pas d'effectuer une comparaison entre les comportements visuels lors de points gagnés et lors de points perdus. Concernant les coups réussis/ratés, le *haut du corps* a été identifié comme une zone pertinente pour prélever de l'information (Abernethy & Russell, 1987a ; Hagemann et al., 2006 ; S. Kim et al., 2007) permettant d'effectuer le lien avec les coups réussis. De plus, pour les coups réussis, on peut suggérer que le NF plus important et le NF sur le *haut du corps* témoignent d'une attention sur des zones d'intérêt permettant une prise d'informations visuelles au service d'une réponse motrice adéquate au coup reçu. De manière plus globale, la régularité des comportements entre les performances réussies et ratées révèle l'absence de stratégies visuelles chez les joueurs novices, caractéristiques de leur niveau

d'expertise (Connor et al., 2018).

1.6 Conclusion

Les objectifs de cette première étude étaient de caractériser l'anticipation selon l'expertise à partir des comportements moteurs et visuels et d'analyser le lien avec la performance réalisée. Ainsi, nous pouvons conclure par un effet de l'expertise sur le jugement d'anticipation, ceci dans des conditions proches de la réalité de terrain via des temps de réaction et des recherches visuelles spécifiques aux deux niveaux d'expertise étudiée (novices *versus* experts). De plus, nous pouvons effectuer des liens entre les performances réalisées (points ; coups) et les comportements moteurs et visuels des deux niveaux d'expertise. Nos résultats sont à considérer au regard de la méthodologie employée et peuvent apporter un éclairage sur les mécanismes propres au jugement d'anticipation impliquant des comportements moteurs, visuels et attentionnels de deux niveaux de joueurs Au-delà de définir le jugement d'anticipation à travers deux niveaux d'expertise et la performance, ces résultats peuvent aboutir à deux applications pratiques majeures : (i) aider à l'entraînement pour améliorer la performance et (ii) comprendre le continuum d'apprentissage entre des niveaux de joueurs différents. L'entraînement peut être adapté à partir de consignes données (lieux de fixation pertinents tels que le *haut du corps* ou la *raquette* de l'adversaire) ou des situations d'entraînements proposées (entraînement à définir le *futur point d'impact du volant/raquette de l'adversaire* ou mises en exergue de certaines zones d'intérêt comme l'adversaire). L'accompagnement des novices vers de meilleurs niveaux de pratique semble s'effectuer à partir de temps de réaction plus rapides et une tendance des recherches visuelles plus longues et moins nombreuses. Pour compléter ces premiers résultats descriptifs, nous pouvons interroger dans des conditions réelles de pratique de badminton les effets induits, telle la fatigue, sur le jugement d'anticipation. Ces questionnements font l'objet des études suivantes.

Quatrième partie

Évaluation des effets de la fatigue sur le jugement d'anticipation en condition de reproduction de sets de badminton

Chapitre 1

Étude 2 - Les effets de la fatigue sur la prise d'informations visuelles et sur les comportements moteurs d'une population de joueurs et joueuses novices en badminton

Une partie de cette étude a été publiée (Annexe D) : Loiseau-Taupin M, Ruffault A, Slawinski J, Delabarre L and Bayle D (2021) Effects of Acute Physical Fatigue on Gaze Behavior and Performance During a Badminton Game. Front. Sports Act. Living 3 :725625. https ://doi.org/10.3389/fspor.2021.725625

1.1 Contexte scientifique

La littérature caractérise les comportements d'anticipation et les comportements visuels des novices comparées aux experts : des temps de réaction plus longs, des réponses moins justes, plus de fixations de moins longues durées (Abernethy & Russell, 1987a ; D. T. Y. Mann et al., 2007 ; Piras et al., 2014, 2016). En badminton, nous avons pu voir des résultats similaires dans la littérature et lors de l'étude 1. Néanmoins, ces études peuvent se différencier par deux grandes approches : contrôlée en laboratoire (Abernethy & Russell, 1987a ; Abernethy & Zawi,

2007 ; Alder et al., 2014 ; Hagemann et al., 2006) et descriptive sur le terrain (Roberts et al., 2019). Étudier le badminton sur le terrain implique de prendre en compte l'activité comme un enchaînement d'actions intermittentes (Phomsoupha & Laffaye, 2015). Ainsi, la fatigue s'avère être une contrainte inhérente à cette pratique. La fatigue peut se définir comme une diminution des performances physiques associée à une augmentation de la difficulté perçue ou réelle de la tâche (MacIntosh et al., 2006). Peu d'études se sont intéressées aux effets de la fatigue sur les comportements moteurs d'anticipation/réaction et/ou les comportements visuels en badminton (Alder et al., 2019). En effet, seuls Alder et al. (2019) ont cherché à déterminer l'impact d'une fatigue physiologique spécifique au badminton (parcours d'exercices physiques spécifiques au badminton) sur les habiletés d'anticipation, les comportements de recherches visuelles et sur l'effort mental chez des joueurs de badminton experts. À partir de vidéos de smash, les joueurs devaient anticiper la zone d'arrivée du volant en simulant le coup par un déplacement type shadow et par une réponse verbale. Au-delà d'une diminution de la performance sur le dernier bloc effectué (six blocs) et d'une augmentation des échelles d'effort, les résultats montraient une diminution d'efficience des comportements visuels traduite par une augmentation du rapport nombre de fixations/durée totale. Cependant, à notre connaissance, aucune étude ne s'est questionnée sur l'impact de la fatigue sur les comportements d'anticipation et visuels de joueurs en condition réelle de pratique. Ces conditions permettent de comprendre les mécanismes sous-jacents à la performance en badminton. L'étude 1 nous a permis d'identifier des comportements moteurs et visuels caractéristiques de l'expertise lors de condition de pratique. Cependant, nous avons besoin de vérifier la méthodologie employée en condition réelle de pratique, c'est-à-dire induisant de la fatigue, pour récolter les données dans une finalité de compréhension de la performance. Ainsi, on perçoit l'intérêt méthodologique d'étudier pour la première fois sur le terrain, les effets de la fatigue sur les comportements moteurs et sur les comportements visuels chez une population novice à partir d'une analyse des comportements oculaires.

1.2 Objectifs et hypothèses

L'objectif théorique de cette étude est d'évaluer les effets de la fatigue sur les comportements moteurs et sur la prise d'informations visuelles d'une population novice en condition réelle de badminton. Un objectif méthodologique s'ajoute visant à vérifier la faisabilité des mesures en

condition de pratique. Cette faisabilité pourrait permettre de confirmer que les observations en laboratoire sont réplicables sur le terrain. Nous émettons l'hypothèse que la fatigue induite impacterait (i) les comportements moteurs par une augmentation des temps de réaction et, (ii) les comportements visuels par des recherches visuelles aléatoires caractérisées par une diminution des durées de fixations et de nombreuses zones d'intérêt fixées. Ces hypothèses sont issues de l'étude d'Alder et al. (2019) en condition contrôlée montrant un impact de la fatigue sur le nombre de fixations ainsi que de l'étude 1 définissant des comportements moteurs de réaction et des comportements visuels aléatoires chez les joueurs novices. Nous supposons que ces caractéristiques issues de l'étude 1 sont renforcées sous des contraintes extérieures aux joueurs, comme la fatigue.

1.3 Méthode

Les détails méthodologiques sont présentés dans la partie Méthodologie générale (page 98).

1.3.1 Participants

Dix-neuf sportifs inexpérimentés en sport de raquette ont participé à cette étude (partie Méthodologie générale, chapitre Participants, page 99).

1.3.2 Mesures et variables analysées

Les comportements moteurs et visuels ont été enregistrés. La fatigue et la performance ont été évaluées. Le détail de ces mesures se situe dans la partie Méthodologie générale (chapitre Matériel et mesures, page 106). Les comportements moteurs mesurés et utilisés pour cette étude étaient les temps de réaction (TR), le délai de reprise d'appui (DRA) et le délai de la pose d'appui au sol (DPS). Les comportements visuels mesurés et utilisés pour cette étude étaient la durée de fixation (DF) et le nombre de fixations (NF) et de changements de regard (NC) par échange et par zone d'intérêt. La fatigue était mesurée de manière instrumentée (intensité de l'exercice : fréquence cardiaque, FC) et auto référencée (échelles d'évaluation numérique). La performance était classée en tant que sets réussis ou ratés, points gagnés ou perdus et coups réussis ou ratés.

1.3.3 Procédure expérimentale

Les participants jouaient contre le même adversaire qui était identique pour l'ensemble de la population. Il était spécialiste de sport de raquette, mais pas de badminton. Cet adversaire n'effectuait pas le protocole de fatigue. La procédure expérimentale incluait trois phases : (i) un set de badminton pré-protocole de fatigue, (ii) un protocole de fatigue, (iii) un set de badminton post-protocole de fatigue. Les sets étaient joués en 21 points selon les règles internationales définies par la Fédération Internationale de Badminton. Le détail du protocole de fatigue ainsi que le détail des mesures effectuées à chaque phase de la procédure expérimentale se situent dans la partie Méthodologie générale (chapitre Procédure expérimentale, page 102). La Figure 1.1 résume la procédure expérimentale et les mesures effectuées.

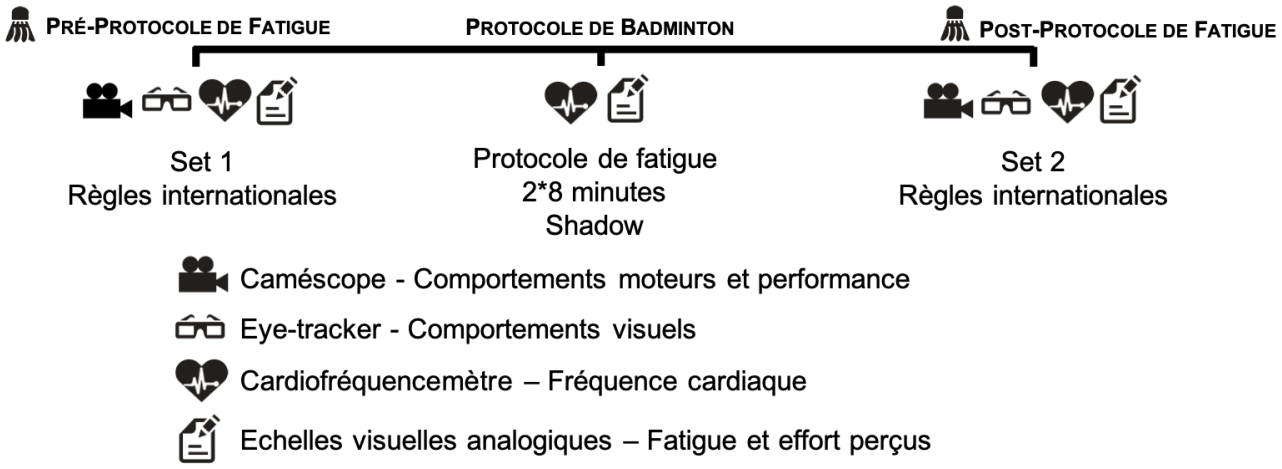


Figure 1.1 – Représentation schématique de la procédure expérimentale et mesures effectuées.

1.3.4 Traitements des données

Les données étaient traitées comme expliqué dans la partie Méthodologie générale (chapitre Traitement des données, page 115).

1.3.5 Analyses statistiques

La visualisation graphique et le test de normalité Kolmogorov-Smirnov ne valident pas l'hypothèse de la normalité de distribution des variables numériques continues sur les comportements moteurs et visuels ($p<0{,}001$). Après filtrage des données, 8,4 % des temps de réaction et 5,7 % des durées de fixations ont été exclus de l'analyse (voir les justifications dans la partie Méthodologie générale, chapitre Traitement des données, page 115). Sur l'ensemble

des participants, nous avons analysé 2570 échanges (1314 en pré-protocole de fatigue et 1256 en post-protocole de fatigue) et 3750 fixations oculaires (1873 en pré-protocole de fatigue et 1877 en post-protocole de fatigue). Les analyses descriptives des comportements moteurs et visuels ont été réalisées, comme expliqué dans la partie Méthodologie générale (chapitre Traitement des données, page 115). L'ensemble des tests de nos hypothèses a été effectué à partir de modèles linéaires mixtes. Pour chaque test, le Tableau 1.1 donne le test d'hypothèse et les variables impliquées (dépendante et à effet fixe). La variable Participant était paramétrée comme variable à effet aléatoire.

Tableau 1.1 – Tests d'hypothèse et variables impliquées dans les analyses statistiques.

Tests d'hypothèse	Variable dépendante	Variable à effet fixe
Vérifier l'induction de fatigue	Fréquence cardiaque (FC)	Moment de l'expérimentation
	Échelle de fatigue perçue	Moment de l'expérimentation
	Échelle d'effort perçu	Moment de l'expérimentation
Effet de la fatigue sur les comportements moteurs	Temps de réaction (TR)	Fatigue
	Délai de la reprise d'appui (DRA)	Fatigue
	Délai de la pose du pied avant au sol (DPS)	Fatigue
Effet de la fatigue sur les comportements visuels	Durée moyenne de fixation (DF)	Fatigue
	Nombre moyen de fixations par échange (NF)	Fatigue
	Nombre moyen de changements de regard par échange (NC)	Fatigue
	Durée moyenne de fixation par zone d'intérêt	Fatigue
	Nombre de fixations par zone d'intérêt	Fatigue
Effet de la fatigue sur la performance	Nombre de sets	Performance
		Fatigue
	Nombre de points	Performance
		Fatigue
	Nombre de coups	Performance
		Fatigue

Les variables à effet fixe présentaient au moins deux conditions différentes :

— Moment de l'expérimentation (3 conditions : Pré-protocole de fatigue, Protocole de fatigue, Post-protocole de fatigue ; niveau de référence : Protocole de fatigue)

— Fatigue (2 conditions : Pré-protocole de fatigue, Post-protocole de fatigue, niveau de référence : Pré-protocole de fatigue)

— Performance (2 conditions : Réussie, Ratée ; niveaux de référence : Set Gagné ; Point Gagné ; Coup Réussi)

1.4 Résultats

1.4.1 Effets de la fatigue

1.4.1.1 Mesure de la fatigue

Nous présentons les résultats obtenus sur les trois marqueurs d'intensité et de fatigue en fonction des trois temporalités de l'expérimentation : pré-protocole fatigue, protocole de fatigue, post-protocole de fatigue (Tableau 1.2) .

Tableau 1.2 – Pourcentage moyen de fréquence cardiaque maximale (%FCMax) pendant les sessions expérimentales, fatigue perçue moyenne et effort perçu moyen après chaque session expérimentale.

	Set 1 Pré-protocole de fatigue			Protocole de fatigue				Set 2 Post-protocole de fatigue			
%FCMax	77,2	±	10,3	92,7	±	4,2	***	85,5	±	7,8	*** , $$$
Fatigue perçue	4,1	±	1,1	7,8	±	0,9	***	5,9	±	1,2	*** , $$$
Effort perçu	12,0	±	1,6	16,6	±	1,5	***	13,6	±	2,3	** , $$$

Les résultats sont présentés en moyenne ± écart-type. La fréquence cardiaque est exprimée en pourcentage de fréquence cardiaque maximale et les échelles perçues correspondent au nombre de chaque échelle d'évaluation numérique.
**p<0,01, ***p<0,001 comparé au set pré-protocole de fatigue ; $$$p<0,001 comparé au protocole de fatigue.

Le %FCMax est significativement différent entre le set pré-protocole de fatigue, le protocole de fatigue et le set post-protocole de fatigue (p<0,001 pour toutes) (R^2 conditionnel = 0,8, important, Ordonnée à l'origine : 92,7 (95 % CI [89,1, 96,2], p<0,001)). La fatigue perçue est significativement différente entre le set pré-protocole de fatigue, le protocole de fatigue et le set post-protocole de fatigue (p<0,001 pour toutes) (R^2 conditionnel = 0,8, important, Ordonnée à l'origine : 7,8 (95 % CI [7,3, 8,3], p<0,001)). L'effort perçu est significativement supérieur lors du protocole de fatigue (p<0,001) et du set post-protocole de fatigue (p<0,01) comparé au set pré-protocole de fatigue. Il est également significativement inférieur entre le protocole de fatigue et le set post-protocole de fatigue (p<0,001) (R^2 conditionnel = 0,7, important, Ordonnée à l'origine : 16,6 (95 % CI [15,8, 17,5], p<0,001)). Ainsi, le protocole de fatigue modifie de

manière significative les trois marqueurs mesurés. Ce dernier induit bien une fatigue, et plus spécifiquement une fatigue proche de celle vécue en match.

1.4.1.2 Fatigue et comportements moteurs

Nous présentons les résultats obtenus pour les TR, DRA et DPS en pré- et post-protocole de fatigue (Tableau 1.3).

Tableau 1.3 – Temps de réaction (TR), délai de reprise d'appui (DRA) et délai de la pose du pied au sol (DPS) en pré- et post-protocole de fatigue.

	Set 1 Pré-protocole de fatigue	Set 2 Post-protocole de fatigue	p
TR (ms)	201,1 ± 87,7	206,0 ± 92,9	0,17
DRA (ms)	134,3 ± 194,1	191,7 ± 230,8	0,06
DPS	- 258,3 ± 332,7	- 244,5 ± 768,4	0,88

Les résultats sont présentés en moyenne ± écart-type.

La fatigue n'a aucune influence sur les TR, le DRA et le DPS (p> 0,05 pour tous).

1.4.1.3 Fatigue et comportements visuels

Globalement

Nous présentons les résultats obtenus pour la DF, le NF par échange et le NC par échange en pré- et post- protocole de fatigue (Tableau 1.4).

Tableau 1.4 – Durée de fixation (DF), nombre de fixations par échange (NF) et nombre de changements de regard par échange (NC) en pré- et post- protocole de fatigue.

	Set 1 Pré-protocole de fatigue	Set 2 Post-protocole de fatigue	p
DF (ms)	165,1 ± 45,5	165,3 ± 45,3	0,97
NF	1,3 ± 0,1	1,3 ± 0,1	0,43
NC	1,6 ± 0,1	1,6 ± 0,1	0,55

Les résultats sont présentés en moyenne ± écart-type.

La fatigue n'influence pas de manière significative les DF, NF par échange et NC par échange (p>0,05 pour tous).

Par zone d'intérêt

La DF par zone d'intérêt est significativement différente entre le pré-protocole de fatigue et le post-protocole de fatigue pour deux zones d'intérêt différentes : le *haut du corps de l'adversaire* et la *raquette de l'adversaire*. En effet, la DF sur le *haut du corps de l'adversaire*

est significativement inférieure lors du post-protocole de fatigue comparé au pré-protocole de fatigue (R^2 conditionnel = 0,61, important, Ordonnée à l'origine : 0,14 (95 % CI [0,13, 0,15], p<0,001)). La DF sur la *raquette de l'adversaire* est significativement inférieure lors du post-protocole de fatigue comparé au pré-protocole de fatigue (R^2 conditionnel = 0,4, important, Ordonnée à l'origine : 0,1 (95 % CI [0,1, 0,1], p<0,001)) (Figure 1.2). Les autres zones d'intérêt ne montrent pas de différence significative entre le pré-protocole de fatigue et le post-protocole de fatigue (p>0,05 pour toutes). Concernant le NF par zone d'intérêt, seul le modèle linéaire mixte sur la zone *vide avant le contact volant/raquette du participant* est significatif (p<0,05). En effet, le NF sur cette zone vide est significativement plus grand lors du post-protocole de fatigue (0,4 ± 0,7) que lors du pré-protocole de fatigue (0,1 ± 0,3) (R^2 conditionnel = 0,5, important, Ordonnée à l'origine : 0,4 (95 % CI [0,1, 0,6], p<0,01)). Ainsi la fatigue montre des résultats significatifs sur la DF et le NF sur des zones d'intérêt définies. Les DF sur le haut du corps de l'adversaire et sur la raquette de l'adversaire diminuent avec la fatigue. Le NF sur la zone vide avant contact volant/raquette du participant augmente avec la fatigue.

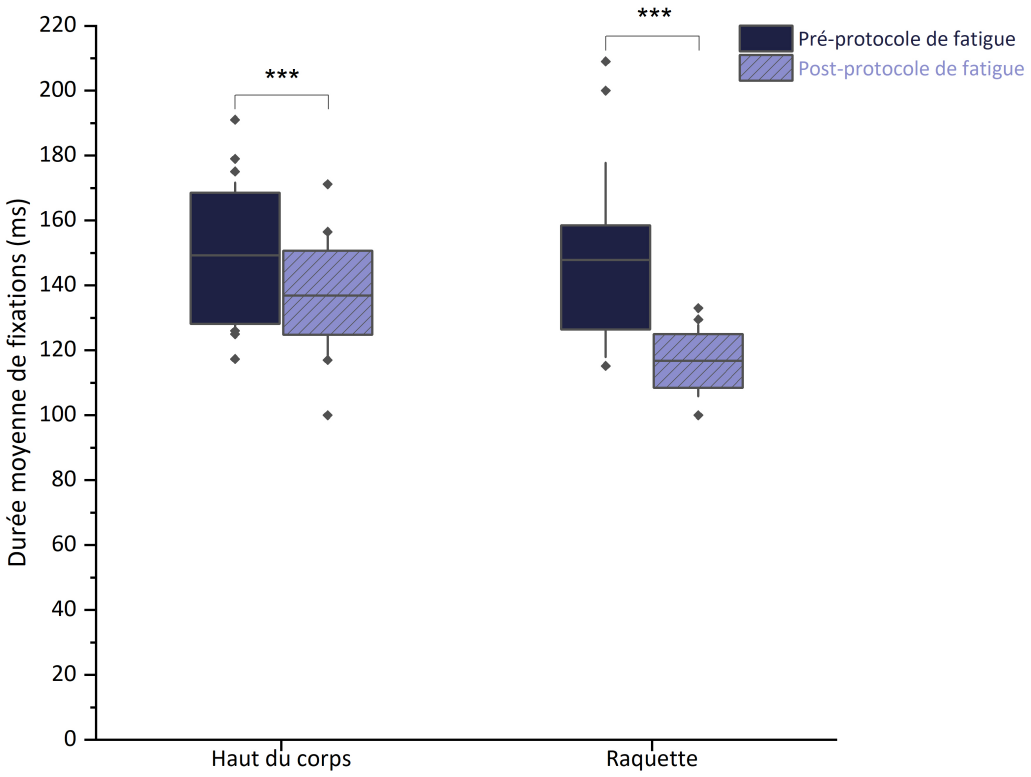


Figure 1.2 – Durée moyenne de fixation pour les zones haut du corps de l'adversaire et raquette de l'adversaire en pré- et post-protocole de fatigue.
Les résultats sont présentés en moyenne ± écart-type.***p<0,001

1.4.1.4 Fatigue et performance

La fatigue n'influence pas de manière significative la performance que cela soit en termes de set (gagné/perdu), de point (gagné/perdu) ou de coup (réussi/raté). En effet, le nombre de sets gagnés et perdus ne varie pas de manière significative entre le pré-protocole de fatigue et le post-protocole de fatigue (R^2 conditionnel = NA, Ordonnée à l'origine : 0,1 (95 % CI [-0,1, 0,2] p=0,32)). Le nombre de points gagnés et perdus ne varie pas de manière significative entre le pré-protocole de fatigue et le post-protocole de fatigue (R^2 conditionnel = NA, Ordonnée à l'origine : 15,4 (95 % CI [9,9, 21,0], p<0,001)). Enfin, le nombre de coups réussis et ratés ne varie pas de manière significative entre le pré-protocole de fatigue et le post-protocole de fatigue (R^2 conditionnel = 0,8, important, Ordonnée à l'origine : 47,3 (95 % CI [43,1, 51,5], p<0,001)) (Tableau 1.5). Ainsi, la fatigue n'a pas d'effet significatif sur la performance réalisée.

Tableau 1.5 – Nombre de sets, points et coups avant et après le protocole de fatigue.

Performance		Set 1 Pré-protocole de fatigue	Set 2 Post-protocole de fatigue	p
Set	Gagné	0,1 ± 0,2	0,1 ± 0,2	1
	Perdu	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,2	
Point	Gagné	15,4 ± 9,2	13,1 ± 10,1	0,77
	Perdu	53,7 ± 14,5	53,1 ± 14,5	
Coup	Réussi	47,3 ± 13,2	45,1 ± 12,7	
	Raté	18,3 ± 2,5	18,6 ± 2,1	0,47

Les résultats sont présentés en moyenne ± écart-type.

1.5 Discussion

À partir d'objectifs théorique et méthodologique, cette étude visait à évaluer les effets de la fatigue sur les comportements moteurs d'anticipation/réaction et sur la prise d'informations visuelles d'une population novice à partir de mesures en condition de pratique. Les résultats montrent que la fatigue n'impacte pas les comportements moteurs, ni les comportements visuels globaux, ni la performance. Cependant, elle impacte les DF sur le *haut du corps* de l'adversaire et sur la *raquette* de l'adversaire (diminution) ainsi que le NF sur la zone *vide avant contact volant/raquette du participant* (augmentation). Cette étude a également montré la faisabilité des mesures des comportements moteurs et visuels en condition de fatigue en badminton.

1.5.1 Fatigue et protocole expérimental

La fatigue induite par le protocole d'entraînement en shadow montre une augmentation du %FCMax, de la fatigue et de l'effort perçus après le protocole de fatigue et après le set-post protocole de fatigue comparé au set pré-protocole de fatigue. L'augmentation du %FCMax lors du protocole de fatigue montre l'induction de sollicitations physiologiques. Lors de cette étude, les joueurs novices sont en moyenne à 85,1%FCMax. Cependant, d'après Phomsoupha et Laffaye (2015), le pourcentage moyen de FCMax atteint en match est de 90%. Ce résultat est issu d'une revue de littérature sur des joueurs experts, elle est le fruit d'une moyenne entre plusieurs études sur une population différente de notre étude. Girard et Millet (2009) montrent une moyenne entre 75 et 90%FCMax. Les résultats des mesures auto rapportées des échelles numériques sont en adéquation avec la littérature montrant un lien étroit entre la fatigue perçue / l'effort perçu et l'intensité de l'exercice (Alder et al., 2019 ; Foster et al., 2021 ; Van Cutsem et al., 2017). Ainsi, nos résultats sont en adéquation avec certaines études de la littérature et nous permettent de vérifier notre procédure expérimentale : le protocole de fatigue induit bien de la fatigue mesurée à partir de ces trois marqueurs d'intensité et de fatigue. Cette étude simulait bien un match de badminton en trois sets par la réalisation d'un set, d'un protocole de fatigue puis d'un dernier set.

1.5.1.1 Considérations méthodologiques

Chaque population était sa propre référence en condition non fatiguée comparée à la condition fatiguée. En effet, nous n'avons pas mis en place de groupe contrôle n'effectuant pas le protocole de fatigue. L'ajout d'un groupe contrôle pour une population novice, caractérisée par une grande variabilité dans les résultats due à leur absence de connaissances du jeu, n'aurait pas apporté d'informations complémentaires. Notre méthodologie invitait à reproduire les réelles conditions de jeu où la fatigue en fin de procédure était plus importante qu'en début. L'objectif méthodologique de cette étude était de vérifier la faisabilité des mesures sur le terrain. Enfin, nous pouvons potentiellement envisager une fatigue de l'adversaire entre les sessions pouvant impacter la réalisation des sets. En effet, l'adversaire n'effectuait pas le protocole de fatigue, mais il était toujours le même contre les dix-neuf joueurs. Afin de réduire cet impact, les sessions étaient séparées d'au moins 24 h. De plus, l'adversaire présentait un niveau supérieur, car il était

un joueur de sport de raquette. Son niveau permettait de favoriser l'échange en badminton. Il a pu adapter son jeu au participant (à son jeu et à son état de fatigue) pouvant impacter la performance réalisée.

1.5.2 Fatigue et comportements moteurs

Nos hypothèses sur les comportements moteurs présupposaient une augmentation des TR liée à la fatigue. Nos résultats ne confirment pas nos hypothèses. La fatigue n'a aucun effet sur les comportements moteurs mesurés (TR, DRA, DPS). Cependant, ces résultats sont en adéquation avec certaines études dans la littérature puisque Sant'Ana et al. (2013) montrent que la fatigue induite par des coups de pieds sur un rythme imposé en taekwondo n'impacte ni les TR (temps de l'apparition du stimulus jusqu'à l'initiation de la réponse) ni les temps de réponse (temps entre l'apparition du stimulus et la réalisation du mouvement volontaire). De plus, la fatigue induite sur les deux composantes du TR (composante pré-motrice et composante électromécanique) n'impacte pas le TR global (Le Mansec et al., 2018). Enfin, le système nerveux central joue le rôle de régulateur des fonctions cognitives en cas de fatigue, permettant d'expliquer l'absence d'impact significatif de la fatigue sur les temps étudiés (Halson, 2014 ; Luft et al., 2009 ; Luque-Casado et al., 2013). Cependant, certaines études rapportent des résultats opposés. Bonnet (2021) montre des TR plus courts lors de deux types de tâches différentes (tâche doubles choix ou tâche spécifique handball) après un effort intensif non spécifique au handball. À l'inverse, Alder et al. (2020) constatent une diminution des jugements anticipatoires liée à la fatigue (mentale, physique et combinée) chez des joueurs de football semi-professionnels, se traduisant par une diminution de la justesse des réponses, accentuée par la fatigue combinée. De même, Sant'Ana et al. (2017) montrent un effet de la fatigue physique induite par un test progressif spécifique au taekwondo (séries et fréquences de frappes imposées) sur les TR (augmentation), mais pas sur les temps de réponse (aucun effet). La différence de résultats obtenue entre les études citées et l'étude réalisée peut s'expliquer par les sports étudiés et les protocoles expérimentaux proposés (novices *versus* compétiteurs ; test progressif *versus* shadow intermittent). En effet, les trois sports (football, taekwondo et badminton) correspondent à des activités intermittentes, mais dont les sollicitations physiologiques et les prises d'informations visuelles (un ou plusieurs adversaires, distances proche ou lointaine) peuvent différer. Enfin,

lors d'un exercice intense, l'augmentation des TR peut s'expliquer par une diminution du flux sanguin cérébral (au profit des muscles impliqués dans l'exercice) au niveau de zones cérébrales sollicitées pour des réponses manuelles à des stimuli visuels périphériques (Ando et al., 2005). Ces zones peuvent ne pas avoir été essentielles dans notre étude sur les effets de la fatigue en badminton puisque les novices utilisent une vision fovéale et n'ont pas développé leur vision périphérique, caractéristique de l'expertise (Brams et al., 2019).

1.5.3 Fatigue et comportements visuels

Nos hypothèses sur les comportements visuels présupposaient que la fatigue impliquerait une diminution des DF et une augmentation du nombre de zones d'intérêt fixées. Nos résultats ne valident pas complètement nos hypothèses. En effet, la DF, le NF et le NC par échange ne varient pas entre les conditions pré- et post-protocole de fatigue. Cependant, les DF sur le *haut du corps* et la *raquette* de l'adversaire sont inférieures et le NF sur la zone *vide avant le contact volant/raquette du participant* est supérieure lors du set post-protocole de fatigue comparé au set pré-protocole de fatigue. Les résultats globaux obtenus (DF, NF et NC) ne sont pas totalement en adéquation avec la littérature. En effet, seuls Heinrich et al. (2020) n'ont montré aucun effet de la fatigue sur la DF lors d'une étude sur l'impact de la fatigue physique, induite par un test de ski à roller sur tapis, sur les comportements visuels chez des biathlètes experts. Ces résultats peuvent être expliqués par le modèle intégré de l'anxiété et de la performance (Nieuwenhuys & Oudejans, 2012, 2017). En effet, ce modèle explique que lors d'un exercice à forte charge physique (tel un match de badminton), les individus augmentent leur effort afin de maintenir leur performance se traduisant principalement par le maintien des processus orientés sur l'objectif ou le maintien d'un contrôle attentionnel et de comportement de recherches visuelles efficaces (Vine et al., 2013). Nos résultats montrent que la fatigue n'a aucun effet sur la performance réalisée que ce soit en termes de sets (gagné ; perdu), de points (gagné ; perdu) ou de coups (réussi ; raté). Ainsi, ce modèle intégré pourrait expliquer le maintien de la performance par des adaptations des comportements visuels spécifiques à des zones d'intérêt : diminution des DF sur le *haut du corps* et la *raquette* et augmentation du NF sur la *vide avant le contact volant/raquette du participant*. La littérature semble s'accorder sur une modification des comportements visuels globaux (DF et NF) due à la fatigue (M. R. Smith, Zeuwts, et

al., 2016 ; A. S. Y. Park & Schütz, 2021 ; Casanova et al., 2013 ; Alder et al., 2019, 2020). En revanche, ces modifications sont variées : DF plus longue (M. R. Smith, Zeuwts, et al., 2016 ; Casanova et al., 2013) ou DF plus courte (Alder et al., 2019), NF plus faible (M. R. Smith, Zeuwts, et al., 2016 ; Casanova et al., 2013) ou NF plus important (Alder et al., 2019, 2020). Les auteurs expliquent leurs résultats par une perte d'efficacité dans le prélèvement des informations dans l'environnement, induite par une altération des processus attentionnels due à la fatigue (Alder et al., 2020 ; M. R. Smith, Zeuwts, et al., 2016). La différence de résultats obtenus peut notamment être expliquée par la conservation du couplage perception-action dans notre étude et celle de Heinrich et al. (2020) en comparaison des autres études (Alder et al., 2019, 2020 ; Casanova et al., 2013 ; M. R. Smith, Zeuwts, et al., 2016). Nous reviendrons sur ce couplage dans la partie Discussion générale (page 230). La diminution de la DF sur le *haut du corps* et la *raquette* et l'augmentation du NF sur la zone *vide avant le contact volant/raquette du participant* en post-protocole de fatigue peut refléter une difficulté à identifier les zones pertinentes à cause d'une réduction des ressources attentionnelles dues à la fatigue (Alder et al., 2020). En effet, les zones d'intérêt *haut du corps* et *raquette* étaient bien les deux zones majoritairement fixées par les novices (Étude 1). De plus, les comportements typiques des novices montrent l'absence de stratégies visuelles (Connor et al., 2018) et une centration sur la raquette et la balle chez des joueurs novices de tennis (Williams et al., 2002). Ainsi, la fatigue impacte la DF sur des zones possiblement pertinentes pour la prise d'informations visuelles comme le *haut du corps* et la *raquette* (Étude 1), au détriment d'une possible plus grande attention sur le volant. En effet, les novices utilisent majoritairement la vision fovéale, car la vision périphérique se développe avec l'expertise (Brams et al., 2019). D'après ces connaissances, ils prennent donc majoritairement l'information sur les zones fixées. Notre méthodologie n'a pas identifié la zone *vide avant le contact volant/raquette du participant* selon la littérature du temps de *quiet-eye* : dernière fixation sur une cible pertinente avant l'initiation du mouvement (Vickers, 1996a). En badminton, cette zone correspond au moment du coup du participant autour du contact volant/raquette du participant. Pendant cette période, le participant traite les informations pertinentes et coordonne la réponse motrice afin de réaliser la tâche de manière efficace. Cependant, nous pouvons effectuer un parallèle entre le temps de pré-*quiet-eye* (en amont du contact, Vine et al. (2013)) et notre résultat sur le NF sur la zone *vide avant le contact*

volant/raquette du participant puisque des temps de *quiet-eye* prolongés sont associés à une attention focalisée et à une meilleure performance (D. T. Y. Mann et al., 2007). La modification du comportement visuel due à la fatigue montre des comportements de recherches visuelles moins organisés, coïncidant avec l'étude d'Alder et al. (2019), effectuée en badminton, mais pas en condition réelle. Ils constatent une réduction de l'efficience des comportements visuels expliquée par l'impact négatif de la fatigue sur les processus opérationnels comme l'attention, l'interprétation ou les réponses physiques.

1.6 Conclusion

L'objectif de cette seconde étude était d'évaluer les effets de la fatigue sur les comportements moteurs et visuels d'une population novice en condition réelle de badminton. Ainsi, nous pouvons conclure que la fatigue induite par des conditions proches de la réalité de terrain impacte peu l'anticipation chez des joueurs novices en badminton. En effet, les recherches visuelles sont modifiées sur des zones d'intérêt définies (diminution de durées de fixation sur le *haut du corps* et sur la *raquette* de l'adversaire et augmentation du nombre de fixations sur la zone *vide avant le contact volant/raquette du participant*), mais les temps de réaction ne sont pas impactés de manière significative. La fatigue semble induire une adaptation des comportements visuels sur des zones d'intérêt définies en faveur du maintien de la performance réalisée.

Les connaissances sur la modification des recherches visuelles due à la fatigue peuvent permettre d'adapter les consignes lorsque les joueurs novices sont fatigués à l'entraînement et en match. En effet, les zones d'intérêt pertinentes définies lors de l'étude 1 sont moins longtemps fixées (*haut du corps* et *raquette* de l'adversaire). Il semble également pertinent de poursuivre ces entraînements sous condition de fatigue afin d'adapter les comportements moteurs et visuels aux exigences de l'activité. De plus, cette étude permet de poursuivre les mesures en condition de pratique au vu de la faisabilité des mesures et du lien possible entre les observations en laboratoire et sur le terrain. Les résultats de cette étude ne sont pertinents que pour la population étudiée et ne peuvent aucunement être généralisés à d'autres niveaux d'expertise (Hüttermann et al., 2018). Néanmoins, ils peuvent apporter un éclairage à d'autres sports sur les comportements moteurs et de prise d'informations visuelles de joueurs novices. Cette première

étude sur les effets de la fatigue chez des joueurs novices permet de mieux comprendre la performance des novices en badminton. Cependant l'impacte de la fatigue sur les comportements des novices invite à poursuivre le raisonnement en condition réelle de pratique chez des joueurs de niveau expert.

Chapitre 2

Étude 3 - Les effets de la fatigue sur la prise d'informations visuelles et sur les comportements moteurs d'une population de joueurs et joueuses de haut-niveau en badminton

Loiseau Taupin, M., Ruffault, A., Delabarre, L., Bayle, D. and Slawinski, J. (2021) Effects of acute physical fatigue on gaze behavior and anticipation in expert badminton players (Article soumis dans Journal of Sports Sciences)

2.1 Contexte scientifique

La littérature de l'étude 1 nous a permis de mettre en exergue l'anticipation des experts par leur capacité à répondre rapidement, de manière juste et à effectuer peu de fixations, mais de longues durées (Abernethy & Russell, 1987a ; Piras et al., 2014, 2016). Soucieux de décrire ce qu'il se passe sur le terrain, les chercheurs s'attellent de plus en plus à proposer des expérimentations au plus proche des conditions réelles (Aziz, 2017). Ces conditions de pratique impliquent une fatigue induite par l'intensité du jeu. La fatigue peut se définir comme une diminution des performances physiques associées à une augmentation de la difficulté perçue ou

réelle de la tâche (MacIntosh et al., 2006). La littérature s'est interrogée sur les effets de la fatigue sur l'anticipation et/ou les comportements visuels (Alder et al., 2019, 2020 ; Casanova et al., 2013 ; Heinrich et al., 2020). Les résultats proposent un relatif consensus des effets de la fatigue sur l'anticipation par une diminution de la justesse des réponses, mais des effets sur les comportements visuels opposés, c'est-à-dire une diminution *versus* augmentation du nombre de fixations et/ou de la durée de fixations (Alder et al., 2019, 2020 ; Casanova et al., 2013 ; Heinrich et al., 2020). Cependant, les contextes expérimentaux sont variés, encore souvent éloignés du terrain, et les résultats restent à ce jour controversés (Knicker et al., 2011). En effet, les études se déroulent soit en laboratoire ou sur le terrain, proposent des protocoles décontextualisés ou spécifiques au sport étudié et utilisent majoritairement des tâches vidéo. De plus, rares sont les études à s'intéresser aux sports de raquette et au badminton en particulier (Alder et al., 2019). L'étude 2 a montré la faisabilité des mesures des comportements moteurs et visuels en condition de pratique de badminton. Il s'agit, à notre connaissance, des premières données issues de mesures oculométriques lors d'un match de badminton. Ces premiers résultats chez des novices ont montré que la fatigue n'impliquait pas de modification des comportements moteurs, mais une modification des comportements visuels sur des zones d'intérêt. Les recherches visuelles ont été modifiées par une diminution de durées de fixation sur le *haut du corps* et sur la *raquette* de l'adversaire et une augmentation du nombre de fixations sur la zone *vide avant le contact volant/raquette du participant*. Cependant, ces résultats sont issus d'une population de joueurs novices et ne permettent pas de comprendre le jugement d'anticipation au regard de l'expertise. En effet, les joueurs de haut niveau ont des comportements différents des joueurs novices (Abernethy & Russell, 1987a ; Piras et al., 2014, 2016). Dans un objectif de performance, l'observation des effets de la fatigue sur les comportements experts et novices apporte une compréhension supplémentaire sur les étapes de développement de l'expertise en badminton. Ainsi, l'étude des effets de la fatigue sur les comportements moteurs et sur les comportements visuels de joueurs experts, et ceci en condition réelle de badminton, démontre un intérêt.

2.2 Objectifs et hypothèses

L'objectif de cette étude est d'évaluer les effets de la fatigue sur les comportements moteurs et sur la prise d'informations visuelles d'une population experte en condition réelle

de badminton. Nous émettons l'hypothèse que la fatigue pourrait induire des temps de réaction plus lents et impacterait les comportements visuels par une diminution des durées de fixations et une augmentation du nombre de fixations. Les hypothèses sont issues de l'étude 1 définissant des comportements moteurs de réaction et des recherches visuelles longues et peu nombreuses chez les joueurs experts. Nous supposons que ces caractéristiques issues de l'étude 1 sont renforcées en condition réelle de jeu impliquant de la fatigue. L'étude 1 nous a montré des caractéristiques distinctes entre les niveaux d'expertise expliquant que les hypothèses de l'étude 3 ne sont pas directement émises à partir des résultats de l'étude 2.

2.3 Méthode

Les détails méthodologiques sont présentés dans la partie Méthodologie générale (page 98).

2.3.1 Participants

Six sportifs de haut-niveau issus du pôle France de badminton ont participé à cette étude (partie Méthodologie générale, chapitre Participants, page 99).

2.3.2 Mesures et variables analysées

Les comportements moteurs et visuels ont été enregistrés. La fatigue et la performance ont été évaluées. Le détail de ces mesures se situe dans la partie Méthodologie générale (chapitre Matériel et mesures, page 106). Les comportements moteurs mesurés et utilisés pour cette étude étaient les temps de réaction (TR), le délai de reprise d'appui (DRA) et le délai de la pose d'appui au sol (DPS). Les comportements visuels mesurés et utilisés pour cette étude étaient la durée de fixation (DF), le nombre de fixations (NF) et le nombre de changements de regard (NC) par échange et par zone d'intérêt. La fatigue était mesurée de manière instrumentée (intensité de l'exercice : fréquence cardiaque FC) et auto référencée (échelles d'évaluation numérique). La performance était classée en tant que sets réussis ou ratés, points gagnés ou perdus et coups réussis ou ratés.

2.3.3 Procédure expérimentale

La procédure expérimentale incluait trois phases : (i) un set de badminton pré-protocole de fatigue, (ii) un protocole de fatigue, (iii) un set de badminton post-protocole de fatigue. Les sets étaient joués en 21 points selon les règles internationales définies par la Fédération Internationale de Badminton. Les participants jouaient contre le même adversaire pour chaque set. Cependant, cet adversaire variait entre les participants afin que le participant affronte un adversaire de son niveau et de même sexe pour correspondre à la notion de compatibilité (Brenton & Müller, 2018). Une étude compatible sur l'anticipation consiste pour le participant à percevoir un pattern moteur d'un adversaire en adéquation avec le sport et le niveau du participant afin qu'il puisse y répondre. Cet adversaire réalisait le même protocole de fatigue que le participant afin d'être dans un état de fatigue comparable lors des deux sets. Le détail du protocole de fatigue ainsi que le détail des mesures effectuées à chaque phase de la procédure expérimentale se situent dans la partie Méthodologie générale (chapitre Procédure expérimentale, page 102). La Figure 2.1 résume la procédure expérimentale et les mesures effectuées.

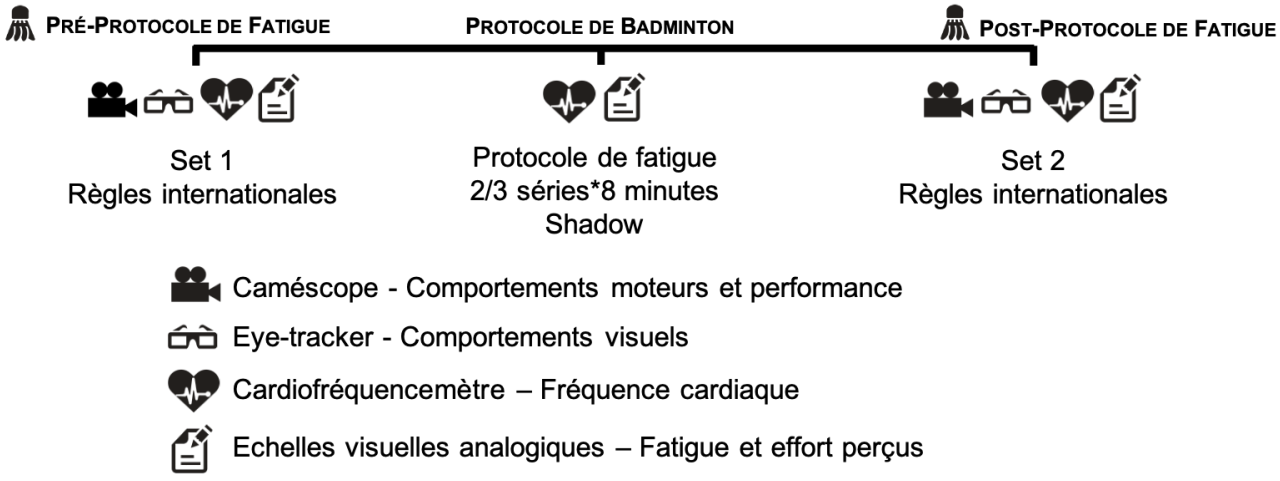


Figure 2.1 – Représentation schématique de la procédure expérimentale et mesures effectuées.

2.3.4 Traitements des données

Les données étaient traitées comme expliqué dans la partie Méthodologie générale (chapitre Traitement des données, page 115).

2.3.5 Analyses statistiques

La visualisation graphique et le test de normalité Kolmogorov-Smirnov ne valident pas l'hypothèse d'une distribution normale des données ($p<0,001$). Après filtrage des données, 12,3 % des temps de réaction et 9,7 % des durées de fixations ont été exclus de l'analyse (voir les justifications dans la partie Méthodologie générale, chapitre Traitement des données, page 115). Sur l'ensemble des participants, nous avons analysé 1958 échanges (1008 en pré-protocole de fatigue et 950 en post-protocole de fatigue) et 6511 fixations oculaires (3062 en pré-fatigue et 3449 en post-protocole de fatigue). Les analyses descriptives des comportements visuels et moteurs ont été réalisées, comme expliqué dans la partie Méthodologie générale (chapitre Traitement des données, page 115). L'ensemble des tests de nos hypothèses a été effectué à partir de modèles linéaires mixtes. Pour chaque test, le Tableau 2.1 donne le test d'hypothèse et les variables impliquées (dépendante et à effet fixe). La variable Participant était paramétrée comme variable à effet aléatoire.

Tableau 2.1 – Tests d'hypothèse et variables impliquées dans les analyses statistiques.

Tests d'hypothèse	Variable dépendante	Variable à effet fixe
Vérifier l'induction de fatigue	Fréquence cardiaque (FC)	Moment de l'expérimentation
	Échelle de fatigue perçue	Moment de l'expérimentation
	Échelle d'effort perçu	Moment de l'expérimentation
Effet de la fatigue sur les comportements moteurs	Temps de réaction (TR)	Fatigue
	Délai de la reprise d'appui (DRA)	Fatigue
	Délai de la pose du pied avant au sol (DPS)	Fatigue
Effet de la fatigue sur les comportements visuels	Durée moyenne de fixation (DF)	Fatigue
	Nombre moyen de fixations par échange (NF)	Fatigue
	Nombre moyen de changements de regard par échange (NC)	Fatigue
	Durée moyenne de fixation par zone d'intérêt	Fatigue
	Nombre de fixations par zone d'intérêt	Fatigue
Effet de la fatigue sur la performance	Nombre de sets	Performance
		Fatigue
	Nombre de points	Performance
		Fatigue
	Nombre de coups	Performance
		Fatigue

Les variables à effet fixe présentaient au moins deux conditions différentes :

— Moment de l'expérimentation (3 conditions : Pré-protocole de fatigue, Protocole de fatigue, Post-protocole de fatigue ; niveau de référence : Protocole de fatigue)

— Fatigue (2 conditions : Pré-protocole de fatigue, Post-protocole de fatigue, niveau de référence : Pré-protocole de fatigue)

— Performance (2 conditions : Réussie, Ratée ; niveaux de référence : Set Gagné ; Point Gagné ; Coup Réussi)

2.4 Résultats

2.4.1 Effets de la fatigue

2.4.1.1 Mesure de la fatigue

Nous présentons les résultats obtenus sur les trois marqueurs d'intensité et de fatigue en fonction des trois temporalités de l'expérimentation : set pré-protocole fatigue, protocole de fatigue, set post-protocole de fatigue (Tableau 2.2).

Tableau 2.2 – Pourcentage moyen de fréquence cardiaque maximale (%FCMax) pendant les sessions expérimentales, fatigue perçue moyenne et effort perçu moyen après chaque session expérimentale.

	Set 1 Pré-protocole de fatigue	Protocole de fatigue	Set 2 Post-protocole de fatigue
%FCMax	81,2 ± 7,9	86,5 ± 6,3	84,0 ± 6,9
Fatigue perçue	5,3 ± 1,0	8,0 ± 0,9 ***	8,0 ± 0,9 ***
Effort perçu	13,3 ± 1,8	16,8 ± 0,8 ***	15,3 ± 2,0 *

Les résultats sont présentés en moyenne ± écart-type. La fréquence cardiaque est exprimée en pourcentage de fréquence cardiaque maximale et les échelles perçues correspondent au nombre de chaque échelle d'évaluation numérique.
*p<0,05, ***p<0,001 comparé au set pré-protocole de fatigue

Le pourcentage de FCmax n'est pas significativement différent entre le set pré-protocole de fatigue, le protocole de fatigue et le set post-protocole de fatigue (p>0,05 pour toutes) (R^2 conditionnel = 0,6, important, Ordonnée à l'origine : 86,2 (95 % CI [80,2, 92,2], p<0,001)). La fatigue perçue est significativement supérieure lors du protocole de fatigue et du set post-protocole de fatigue (p<0,001) comparé au set pré-protocole de fatigue. Il n'y a pas de différence significative entre le protocole de fatigue et le set post-protocole de fatigue (p=1,0) (R^2 conditionnel = 0,7, important, Ordonnée à l'origine : 8,0 (95 % CI [7,3, 8,8], p<0,001)).

L'effort perçu est significativement supérieur lors du protocole de fatigue (p<0,001) et du set post-protocole de fatigue (p<0,05) comparé au set pré-protocole de fatigue. Il n'y a pas de différence significative entre le protocole de fatigue et le set post-protocole de fatigue (p=0,13) (R^2 conditionnel = 0,61, important, Ordonnée à l'origine : 16,8 (95 % CI [15,6, 18,1], p<0,001)). Ainsi, si la FC ne diffère pas entre les trois phases expérimentales, la fatigue et l'effort perçus montrent une induction de fatigue avec le protocole de fatigue et avec le set post-protocole de fatigue.

2.4.1.2 Fatigue et comportements moteurs

Nous présentons les résultats obtenus pour les TR, DRA et DPS en pré- et post- protocole de fatigue (Tableau 2.3).

Tableau 2.3 – Temps de réaction (TR), délai de reprise d'appui (DRA) et délai de la pose du pied au sol (DPS) en pré- et post-protocole de fatigue.

	Set 1 Pré-protocole de fatigue	Set 2 Post-protocole de fatigue	p
TR (ms)	159,8 ± 57,2	150,8 ± 60,8	***
DRA (ms)	104,8 ± 56,8	90,5 ± 102,5	**
DPS	-126,0 ± 235,9	-132,3 ± 260,1	0,57

Les résultats sont présentés en moyenne ± écart-type.
**p<0,01, ***p<0,001 comparé au set pré-protocole de fatigue.

La fatigue influence les TR et le DRA. En effet, les TR sont significativement plus courts lors du set post-protocole de fatigue que lors du set pré-protocole de fatigue (p<0,001, R^2 conditionnel = 0,03, faible, Ordonnée à l'origine : 0,2 (95 % CI [0,2, 0,2], p<0,001)). Les DRA sont également significativement plus courts lors du set post-protocole de fatigue que lors du set pré-protocole de fatigue (p<0,01, R^2 conditionnel = 0,02, faible, Ordonnée à l'origine : 0,1 (95 % CI [0,1, 0,1], p<0,001)). Cependant, la fatigue n'impacte pas le DPS (p=0,57). Ainsi, la fatigue semble impacter les comportements moteurs des experts en diminuant les TR et les DRA.

2.4.1.3 Fatigue et comportements visuels

Globalement

Nous présentons les résultats obtenus pour la DF, le NF par échange et le NC par échange en pré- et post- protocole de fatigue (Tableau 2.4).

Tableau 2.4 – Durée de fixation (DF), nombre de fixations par échange (NF) et nombre de changements de regard par échange (NC) en pré- et post- protocole de fatigue.

	Set 1 Pré-protocole de fatigue	Set 2 Post-protocole de fatigue	p
DF (ms)	296,9 ± 194,6	313,5 ± 184,1	**
NF	3,4 ± 1,4	2,6 ± 1,1	***
NC	4,1 ± 3,4	4,4 ± 3,6	*

Les résultats sont présentés en moyenne ± écart-type.
*p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001 comparé au set pré-protocole de fatigue.

La fatigue influence de manière significative les DF, le NF par échange et le NC par échange. En effet, la DF est significativement supérieure lors du set post-protocole de fatigue que lors du set pré-protocole de fatigue (R^2 conditionnel <0, faible, Ordonnée à l'origine : 0,3 (95 % CI [0,3, 0,3], p<0,001)). Le NF par échange est significativement plus faible lors du set post-protocole de fatigue que lors du set pré-protocole de fatigue (R^2 conditionnel = 0,97, important, Ordonnée à l'origine : 3,4 (95 % CI [3,3, 3,7], p<0,001)). Enfin, le NC par échange est significativement plus important lors du set post-protocole de fatigue que lors du set pré-protocole de fatigue (R^2 conditionnel = 0,9, important, Ordonnée à l'origine : 4,2 (95 % CI [3,7, 4,6]], p<0,001)). Ainsi, les comportements visuels globaux sont significativement impactés par la fatigue par une augmentation des DF, une diminution du NF par échange et une augmentation du NC par échange.

Par zone d'intérêt

Concernant la DF par zone d'intérêt, nous n'observons aucun modèle linéaire mixte significatif (p>0,05 pour toutes). Concernant le NF par zone d'intérêt, seul le modèle linéaire mixte sur la zone *vide après le contact volant/raquette du participant* est significatif (p<0,05). En effet, le NF sur cette zone vide est significativement plus grand lors du set post-protocole de fatigue (56,4 ± 21,6) que lors du set pré-protocole de fatigue (45,9 ±25,8) (R^2 conditionnel = 0,96, important, Ordonnée à l'origine : 45,9 (95 % CI [26,9, 65,0], p<0,001)). Ainsi la fatigue impacte peu la DF et le NF par zone d'intérêt. Elle impacte uniquement le NF sur la zone d'intérêt vide après le contact volant/raquette du participant.

2.4.1.4 Fatigue et performance

La fatigue n'influence pas de manière significative la performance que cela soit en termes de set (gagné/perdu), de point (gagné/perdu) ou de coup (réussi/raté). En effet, le nombre de

sets gagnés et perdus ne varie pas de manière significative entre le set pré-protocole de fatigue et le set post-protocole de fatigue (R^2 conditionnel = NA, Ordonnée à l'origine : 0,5 (95 % CI [0,1, 0,9], p<0,05)). Le nombre de points gagnés et perdus ne varie pas de manière significative entre le set pré-protocole de fatigue et le set post-protocole de fatigue (R^2 conditionnel = 0,4, important, Ordonnée à l'origine : 82,8 (95 % CI [60,5, 105,2], p<0,05)). Enfin, le nombre de coups réussis et ratés ne varie pas de manière significative entre le set pré-protocole de fatigue et le set post-protocole de fatigue (R^2 conditionnel = 0,8, important, Ordonnée à l'origine : 139,2 (95 % CI [112,9, 165,4], p<0,001))(Tableau 2.5). Ainsi, on peut en déduire que la fatigue n'a pas d'effet significatif sur la performance réalisée.

Tableau 2.5 – Nombre de sets, points et coups avant et après le protocole de fatigue.

Performance		Set 1 Pré-protocole de fatigue	Set 2 Post-protocole de fatigue	p
Set	Gagné	0,5 ± 0,5	0,5 ± 0,5	1
	Perdu	0,5 ± 0,5	0,5 ± 0,5	
Point	Gagné	82,8 ± 14,3	73,5 ± 15,7	0,63
	Perdu	85,2 ± 34,9	84,8 ± 38,0	
Coup	Réussi	139,2 ± 42,6	131,8 ± 49,6	0,82
	Raté	16,3 ± 4,6	14,8 ± 3,7	

Les résultats sont présentés en moyenne ± écart-type.

2.5 Discussion

À partir d'une volonté de comprendre l'expertise en badminton, cette étude visait à évaluer les effets de la fatigue sur les comportements moteurs d'anticipation/réaction et sur la prise d'informations visuelles d'une population experte en condition réelle de pratique. Les résultats montrent que la fatigue impacte les comportements moteurs (TR et DRA) et les comportements visuels globaux (DF, NF et NC). Cependant, elle n'influence que peu les comportements visuels par zone d'intérêt (NF zone *vide après le contact volant/raquette du participant*) et n'impacte pas la performance.

2.5.1 Fatigue et protocole expérimental

La fatigue induite par le protocole d'entraînement en shadow montre une augmentation de la fatigue et de l'effort perçu après le protocole de fatigue et après le set post-protocole de fatigue comparé au set pré-protocole de fatigue. Cependant, il n'y a aucune modification de

la fréquence cardiaque entre les trois temps de la procédure expérimentale (pré – protocole – post) contrairement aux participants novices (Étude 2). Cette régularité de la fréquence cardiaque montre que le protocole de fatigue reproduit bien les sollicitations vécues lors des sets. Ainsi, on pourrait associer le protocole à un set joué et la procédure expérimentale à un match complet soit 3 sets permettant de répondre à des conditions expérimentales au plus proche de la réalité. Lors de cette étude, les joueurs experts de haut niveau sont en moyenne à 83 %FCMax. Cependant, d'après Phomsoupha et Laffaye (2015), le pourcentage moyen de FCMax atteint en match est de 90 %. Ce résultat est issu d'une revue de littérature et est donc le fruit d'une moyenne entre plusieurs études. Girard et Millet (2009) montrent une moyenne entre 75 et 90 %FCMax. Ainsi, nos résultats sont en adéquation avec certaines études de la littérature et nous permettent de vérifier l'induction de fatigue par notre protocole expérimental. Cette étude simulait bien un match de badminton en trois sets par la réalisation d'un set, d'un protocole de fatigue puis d'un dernier set. Cependant, nous pourrions expliquer la plus faible valeur obtenue dans notre étude par rapport à la moyenne de la littérature par l'absence d'enjeu et un engagement possiblement différent des joueurs par rapport à des matchs de compétition (Knicker et al., 2011 ; Makaruk et al., 2019).

2.5.2 Fatigue et comportements moteurs

Notre hypothèse sur les comportements moteurs présupposait une augmentation des TR liée à la fatigue. À l'inverse, nos résultats montrent une diminution des TR et du DRA. Cependant, ces résultats sont en adéquation avec certaines études de la littérature. Bonnet (2021) montre des TR plus courts lors de deux types de tâches différentes (double choix ou spécifique handball) après un effort intensif non spécifique au sport étudié (handball). De même, Sant'Ana et al. (2013), montrent que la fatigue induite par des coups de pieds sur un rythme imposé en taekwondo n'impacte pas ni les TR (temps de l'apparition du stimulus jusqu'à l'initiation de la réponse) ni les temps de réponse (temps entre l'apparition du stimulus et la réalisation du mouvement volontaire). Ces résultats peuvent s'expliquer par les processus de reconnaissances développés avec la pratique et mobilisés par les experts qui ne seraient pas impactés par la fatigue lors d'exercices courts et intenses (Bonnet, 2021). Or, nous avons vu que le badminton était un enchaînement d'actions courtes et intenses tel un exercice intermittent (Phomsoupha

& Laffaye, 2015). De plus, la fatigue induite sur les deux composantes du TR (composante pré-motrice et composante électromécanique) n'impacte pas le TR global (Le Mansec et al., 2018). Comme pour la population de novice (chapitre Étude 2, section Discussion, page 158), le système nerveux central joue le rôle de régulateur des fonctions cognitives en cas de fatigue permettant d'expliquer l'impact de la fatigue sur les temps étudiés (Halson, 2014 ; Luft et al., 2009 ; Luque-Casado et al., 2013). Enfin, le protocole expérimental proposé correspond aux entraînements et aux matchs vécus par les joueurs de niveau expert. Ils sont donc entraînés à s'adapter à la survenue de la fatigue. De manière spécifique à la population, nous pourrions penser que les experts développent des stratégies pour ne pas impacter leur TR. L'anticipation est un facteur de performance dont le TR est un des témoins (Morris-Binelli & Müller, 2017 ; Williams et al., 2011). Les experts pourraient même être plus rapides (TR inférieurs en post-protocole de fatigue) parce qu'ils s'adaptent et pallient d'autres mécanismes impactés par la fatigue, par exemple les mécanismes en amont (informations visuelles, attentions visuelles) ou en aval (sollicitations physiologiques liées aux déplacements, sauts et/ou fentes). Ces mécanismes induisant des TR plus rapides seraient différents chez les joueurs novices où la fatigue n'impacte pas les TR (Étude 2). Cependant, la littérature montre également les résultats opposés : une augmentation des TR et/ou de réponse associée à la fatigue (Alder et al. (2020) ; Sant'Ana et al. (2017) développés dans le chapitre Étude 2, section Discussion, page 158). Pavelka et al. (2020) montrent un effet de la fatigue physique induite par un test de *Wingate* sur le haut du corps sur les TR lors d'une tâche visuelle de TR simple chez des pratiquants d'Arts Martiaux Mixtes (MMA). Les TR et les temps de déplacements étaient moins réguliers et les TR étaient plus longs. L'augmentation des TR chez des participants expérimentés peut s'expliquer par le manque de temps pour mettre en place des stratégies type orientation de l'attention dans une tâche donnée, tâche qui peut être éloignée de la représentativité du terrain (Roca et al., 2013). Ainsi, la différence de résultats obtenue entre les études citées et l'étude réalisée peut se justifier par les sports étudiés et les protocoles expérimentaux proposés (compétiteurs *versus* sportifs de haut niveau ; test progressif *versus* shadow intermittent ; tâche vidéo ou décontextualisée *versus* tâche *in situ*). En effet, les trois sports (football, taekwondo et badminton) correspondent à des activités intermittentes, mais dont les sollicitations physiologiques et les prises d'informations visuelles (un ou plusieurs adversaires, distances proche ou lointaine) peuvent différer.

2.5.3 Fatigue et comportements visuels

Notre hypothèse sur la prise d'informations visuelles présupposait un impact de la fatigue par une diminution des DF et une augmentation du NF. Nos résultats ne valident pas cette hypothèse. À l'inverse, nous avons montré que la fatigue augmentait les DF, diminuait le NF et augmentait le NC. Cependant, ces résultats sont en adéquation avec certaines études de la littérature (Casanova et al., 2013 ; A. S. Y. Park & Schütz, 2021). En effet, Casanova et al. (2013) ont étudié l'impact de la fatigue physique sur l'anticipation lors de séquences filmées chez des joueurs de football. Ils ont montré une diminution de la justesse des réponses et une modification des comportements visuels traduite par une diminution du NF, une augmentation de la DF et moins de zones d'intérêt fixées. Dans un contexte plus éloigné du sport, A. S. Y. Park et Schütz (2021) ont évalué les effets de la fatigue physique induite par un exercice de serrage de poignée sur une tâche de recherche visuelle sur ordinateur. Ils ont montré que la recherche visuelle était plus rapide, mais elle était également plus sensible à la distraction. Les résultats obtenus peuvent être expliqués par la capacité des experts à focaliser leur attention sur l'objectif de la tâche lorsque les contraintes sont importantes (Bonnet, 2021 ; Brisswalter et al., 2002 ; Royal et al., 2006 ; Williams & Ford, 2008). Ainsi, sous fatigue, l'attention sélective explique la prise d'informations visuelles sur des zones pertinentes à partir de DF plus longues et moins de fixations. L'augmentation du NC s'explique également par ce contexte de fatigue où l'intensité de l'exercice (majoritairement aérobie) peut augmenter la capacité à centrer son attention spatiale à des endroits déjà regardés (Sanabria et al., 2011). La fatigue n'impacte pas de la même manière les comportements visuels des novices puisque seules certaines zones d'intérêt sont impactées : diminution de DF sur le *haut du corps* et sur la *raquette de l'adversaire* et augmentation du NF sur la zone *vide avant le contact volant/raquette du participant* (étude 2). Si l'on s'intéresse aux informations visuelles sur les zones d'intérêt définies, la fatigue augmenterait le NF sur la zone *vide après le contact volant/raquette du participant*. La fixation sur une zone vide après le coup du joueur peut témoigner d'une absence de prise d'informations visuelles sur une zone pertinente. On peut expliquer ce NF induit par la fatigue par le retard visuo-moteur du joueur pour retrouver une zone d'intérêt après avoir effectué son action motrice. Ainsi, la fatigue influence les comportements visuels des experts (augmentation des DF, diminution du NF, augmentation du NC, augmentation du NF sur la zone *vide après le*

contact volant/raquette du participant) pouvant être expliqués par la mise en place de processus attentionnels focalisés.

2.5.4 Fatigue et performance

La fatigue n'a aucun effet sur la performance que cela soit en termes de sets (gagné ; perdu), de points (gagné ; perdu) ou de coups (réussis ; ratés). Ainsi les modifications de comportements moteurs et visuels, relevés dans cette étude, peuvent être des signes d'une adaptation de la part des joueurs de haut niveau dans un objectif de maintien de la performance. De plus, nous pourrions expliquer nos résultats par la capacité des experts à centrer toutes leurs ressources, notamment attentionnelle (Nieuwenhuys & Oudejans, 2012, 2017), sur la tâche lorsque la fatigue augmente et ainsi réduire l'imprécision des coups que la fatigue pourrait induire (Farrow & Abernethy, 2003 ; Williams & Ford, 2008). Nous pouvons faire référence à la dimension multifactorielle de la performance en badminton qui permettrait un équilibre entre les mécanismes (Phomsoupha & Laffaye, 2015). En effet, les effets de la fatigue peuvent être contrebalancés par d'autres processus anticipatoires (information contextuelle : le joueur adverse était le même en pré- et post-protocole de fatigue), attentionnels (attention implicite/explicite) ou moteurs (mobilisation de ressources diverses : équilibration, déplacement, coordination des chaînes musculaires) non mesurés ici permettant de ne pas impacter de manière significative la performance réalisée.

2.6 Conclusion

L'objectif de cette troisième étude était d'évaluer les effets de la fatigue sur les comportements moteurs et visuels d'une population de sportifs de haut niveau en condition réelle de badminton. Nous pouvons conclure que la fatigue induite par des conditions proches de la réalité de terrain impacte le jugement d'anticipation chez des joueurs experts en badminton. En effet, l'ensemble des composantes de l'anticipation sont impactées : les temps de réaction sont diminués et les recherches visuelles sont modifiées (augmentation de la durée de fixation et du nombre de changements de regard et diminution du nombre de fixations). Les résultats de cette étude permettent de confirmer l'intérêt de s'entraîner en condition réelle de pratique par l'absence d'effet de la fatigue sur la performance réalisée à partir de processus de reconnaissance

et d'adaptation. De plus, la modification des comportements visuels due à la fatigue, et possiblement liée à l'attention sélective, peut amener à proposer des situations d'entraînement en condition de fatigue pour ne prélever que des informations pertinentes au service de la performance. Ces situations invitent à adapter la durée de fixation (afin d'éviter une durée de fixation trop longue au détriment d'une autre zone d'intérêt), le nombre de fixations (afin de définir des zones d'intérêt précises et peu nombreuses) et le nombre de changements de regard (afin de définir l'intérêt de revenir sur une zone déjà fixée). Les résultats de cette étude ne sont pertinents que pour la population étudiée et ne peuvent aucunement être généralisés à d'autres niveaux d'expertise (Hüttermann et al., 2018). Cependant, ils peuvent éclairer sur les comportements moteurs et de prise d'informations visuelles de joueurs de haut niveau pratiquant d'autres sports. L'étude en condition réelle de pratique apporte des connaissances sur les comportements moteurs et visuels lors de match de badminton. Cependant, les facteurs impactant les variables mesurées sont nombreux et ne sont pas contrôlables. Il est admis qu'au cours des échanges réalisés, le rapport de force entre les joueurs évolue et implique une pression temporelle différente. Or, les connaissances apportées dans cette étude en condition réelle ne caractérisent pas les différents types de rapports rencontrés (défensif, attaquant, neutre). Le rapport de force défensif est celui où la pression temporelle est la plus importante. Ainsi, le lien entre la performance dans un rapport défensif et les comportements moteurs semble important à déterminer. Cette limite abordée soulève donc la question des comportements moteurs et visuels et des effets de la fatigue sur ces comportements lorsque le joueur est soumis à une pression temporelle spécifique, c.-à-d. un rapport de force défensif. Afin d'étudier le lien entre un rapport de force spécifique et l'anticipation, les conditions expérimentales nécessitent d'être adaptées afin de diminuer l'influence de facteurs extérieurs sur les analyses effectuées.

Cinquième partie

Compréhension du jugement d'anticipation en situation contrôlée

Chapitre 1

Étude 4 - Les caractéristiques et les effets de la fatigue sur la prise d'informations visuelles et sur les comportements moteurs d'une population de joueurs et joueuses de haut-niveau en badminton lors d'une situation de défense

1.1 Contexte scientifique

Après avoir fait émerger la prise d'informations visuelles et les comportements moteurs des joueurs experts lors de sets représentatifs de matchs de badminton lors des études 1 et 3, nos conclusions ainsi que la littérature invitent à questionner des séquences de jeu spécifiques en condition écologique (Aziz, 2017). Au-delà de la pression temporelle émergeant de la logique interne de l'activité, les situations d'attaque et de défense impliquent un jeu adapté. En effet, la perception du rapport de force par les joueurs influence leurs stratégies

individuelles et leurs adaptations pendant les matchs (Gréhaigne et al., 2001 ; Rossard et al., 2005). Si l'on revient à la définition de l'anticipation (Loffing & Cañal-Bruland, 2017), aux informations cinématiques s'ajoutent les informations contextuelles, évolutives à chaque instant *t*. Les joueurs peuvent adapter leurs comportements aux différents rapports de force ainsi qu'aux connaissances qu'ils ont sur leur adversaire (ses préférences de jeu, Helm et al. (2020) ; la familiarité de jeu avec l'adversaire). En badminton, Alder et al. (2020) ont montré que les temps de réaction de joueurs de badminton experts étaient plutôt en réaction qu'en anticipation. Milazzo et al. (2015) ont examiné la contribution des informations probabilistes dans les réponses d'anticipation de karatékas. Les participants devaient répondre à différentes attaques selon divers scénarios. Les attaques étaient présentées de manière aléatoire pour favoriser les informations probabilistes, exceptée une attaque qui revenait toutes les quatre actions. Les participants ont été interrogés à la fin de l'expérimentation à partir de deux questions : *« À quoi pensiez-vous quand vous preniez une décision pendant le test ? »* et *« Qu'avez-vous remarqué quant aux différentes séquences de combat ? »*. Les experts étaient en capacité de détecter l'occurrence de l'action dès la cinquième répétition à l'inverse des novices qui ne réussissaient pas. La création d'un scénario aléatoire intégrant une action répétitive permettait aux experts de faire appel à leurs connaissances antérieures sur la probabilité de survenue d'évènements. Ainsi, cette étude montre l'importance des informations contextuelles chez les athlètes experts. Les procédures expérimentales autour d'une action spécifique parmi les multiples actions possibles sur le terrain permettent de s'inscrire dans une démarche scientifique autour d'un compromis pour un environnement suffisamment contrôlé (validité interne), mais dont les résultats sont généralisables (validité externe) (Aziz, 2017). Ainsi, l'analyse de situation spécifique à la pratique amène, en sport de raquette, à étudier le service pour deux raisons majeures : (i) la spécificité de la situation (coup particulier et disposition des joueurs), et (ii) la possibilité de contrôler la situation lors d'expérimentation comme habileté fermée (tennis : Murray et Hunfalvay (2017) ; Sáenz-Moncaleano et al. (2018) ; badminton : Alder et al. (2014)). D'autres auteurs ont cherché à comparer deux types de coups (en tennis de table : Piras et al. (2017) ou à analyser une action spécifique (le smash en badminton : S. Kim et al. (2007)). Afin de poursuivre les apports de nos études précédentes en condition réelle, la compréhension des comportements liés à un rapport de force défini permet d'approfondir les connaissances à partir

de conditions expérimentales davantage contrôlées.

1.2 Objectifs et hypothèses

Le premier objectif de cette étude est de caractériser les comportements moteurs et visuels de joueurs de niveau expert en badminton lors d'une situation de défense. Le second objectif est d'évaluer les effets de la fatigue sur les comportements moteurs et visuels. La réponse à ces objectifs poursuit notre démarche de résultats issus de conditions d'entraînement, sur le terrain. Nous émettons l'hypothèse que les joueurs experts seraient plus en réaction aux évènements qu'en anticipation, traduit par des temps de réaction positifs voir supérieurs à 160 ms (Triolet et al., 2013). En effet, la pratique du badminton implique majoritairement des comportements de réaction aux évènements (Alder et Broadbent (2017), Études 1 et 3). Concernant leurs comportements visuels, ils fixeraient majoritairement le *volant*, les zones *vides après les contacts volant/raquette de l'adversaire* et les zones *vides après les contacts volant/raquette du participant* et enfin l'adversaire (*futur point d'impact*, *raquette* et *haut du corps*). Les zones d'intérêt ont été définies à partir des résultats obtenus dans l'étude 1 à propos des caractéristiques de joueurs experts. Enfin, la fatigue, en condition contrôlée, impacterait les comportements moteurs et visuels : (i) en réduisant les temps de réaction et le nombre de fixations, (ii) en augmentant la durée moyenne de fixations et le nombre de changements de regard par échange. L'hypothèse de l'impact de la fatigue sur les comportements moteurs et visuels est issue des résultats obtenus lors de l'étude 3 à propos de joueurs experts.

1.3 Méthode

Les détails méthodologiques sont présentés dans la partie Méthodologie générale (page 98).

1.3.1 Participants

Six sportifs de haut-niveau issus du pôle France de badminton ont participé à cette étude (partie Méthodologie générale, chapitre Participants, page 99). Cinq sportifs ont effectué l'ensemble de l'expérimentation et un sportif n'a effectué que la situation pré-protocole de fatigue pour cause de douleur.

1.3.2 Mesures et variables analysées

Les comportements moteurs et visuels ont été enregistrés. La fatigue et la performance ont été évaluées. Le détail de ces mesures se situe dans la partie Méthodologie générale (chapitre Matériel et mesures, page 106). Les comportements moteurs mesurés et utilisés pour cette étude étaient les temps de réaction (TR), le délai de reprise d'appui (DRA) et le délai de la pose d'appui au sol (DPS). Les comportements visuels mesurés et utilisés pour cette étude étaient la durée de fixation (DF) , le nombre de fixations (NF) et le nombre de changements de regard (NC) par échange et par zone d'intérêt. La fatigue était mesurée de manière instrumentée (intensité de l'exercice : fréquence cardiaque FC) et auto référencée (échelles d'évaluation numérique). La performance était classifiée en tant que séquences réussies ou ratées et coups réussis ou ratés. Une séquence était terminée lorsque le participant réceptionnait et renvoyait son volant dans le camp adverse lors d'une série de dégagés et d'une attaque. Elle était non terminée lorsque le participant ne réceptionnait pas les dégagés en amont de l'attaque ou effectuait une faute lors du renvoi du volant dans le camp adverse lors des dégagés (volant dans le filet ou en dehors des limites du terrain). Une séquence réussie était une séquence terminée (série de dégagés et d'une attaque) où le participant réceptionnait l'attaque finale et renvoyait son volant dans le camp adverse. Elle était ratée lorsque le participant ne réceptionnait pas l'attaque ou effectuait une faute lors du renvoi du volant dans le camp adverse (volant dans le filet ou en dehors des limites du terrain).

À la fin de la situation post-protocole de fatigue, les participants répondaient aux questions suivantes : *« Par rapport à la situation de défense, quelles stratégies as-tu pu déceler chez ton adversaire ? As-tu l'habitude de jouer contre cet adversaire ? Comment définirais-tu ce joueur ? Adaptes-tu ton jeu à ton adversaire ? »* L'expérimentateur enregistrait les réponses avec un dictaphone. Ces questions ont été élaborées à partir d'une réflexion thématique sur les informations contextuelles de l'anticipation : connaissances au cours du jeu et connaissances a priori sur l'adversaire (Braun & Clarke, 2006). Cette méthode d'analyse qualitative a pour objectif d'élaborer des questions selon des thèmes généraux. Notre objectif était d'évaluer l'anticipation sur une situation de défense en condition proche du terrain en effectuant un lien entre les connaissances contextuelles et les connaissances cinématiques (Loffing & Cañal-Bruland, 2017).

1.3.3 Procédure expérimentale

1.3.3.1 Déroulé

Chaque participant affrontait le même adversaire pendant toute l'expérimentation. Cependant, cet adversaire variait selon les participants afin que le participant affronte un adversaire de son niveau et de même sexe. La procédure expérimentale incluait trois phases : (i) une situation de défense de badminton pré-protocole de fatigue, (ii) un protocole de badminton incluant un set, un protocole de fatigue et un set, (iii) une situation de défense de badminton post-protocole de fatigue. L'adversaire réalisait le même protocole de fatigue que le participant afin d'être dans un état de fatigue comparable lors des deux situations. Le détail du protocole de fatigue ainsi que le détail des mesures effectuées à chaque phase de la procédure expérimentale se situent dans la partie Méthodologie générale (chapitre Procédure expérimentale, page 102). Le schéma suivant résume la procédure expérimentale et les mesures effectuées (Figure 1.1).

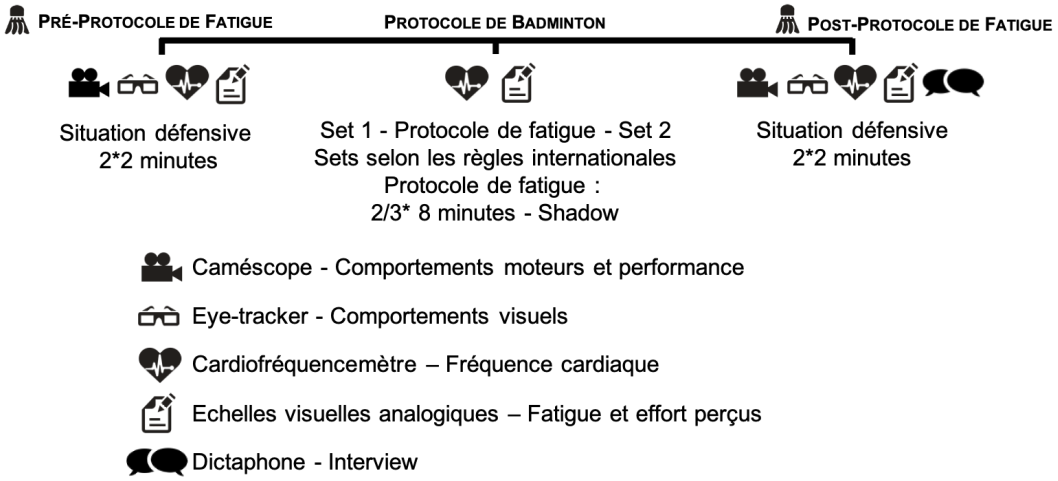


Figure 1.1 – Représentation schématique de la procédure expérimentale et des mesures effectuées.

1.3.3.2 Situation de défense

Cette situation implique de répondre à une attaque placée. Le participant a pour consigne d'engager l'échange au milieu du terrain, d'effectuer des dégagés fond de court puis de réceptionner l'attaque reçue. L'adversaire effectue l'attaque de son choix au moment où il le souhaite. Il ne peut effectuer l'attaque qu'à partir du deuxième dégagé reçu et dans la limite de quatre dégagés.

Pour le participant, cette situation implique une incertitude temporelle sur le moment de

réalisation de l'attaque de l'adversaire, une incertitude spatiale sur le lieu de l'arrivée de l'attaque et une incertitude sur le type d'attaque reçue. Ces incertitudes sont révélatrices d'incertitude vécue en match. Cependant, cette situation permet également de réduire l'incertitude temporelle sur le moment de réalisation de l'attaque (uniquement entre le deuxième et le quatrième dégagé) et sur le lieu de départ de l'attaque (fond de court). Cette situation se déroule sur un demi-terrain latéral impliquant des dégagés et des attaques reçus provenant uniquement du fond de court à droite ou du fond de court à gauche. La situation dure 2 minutes par latéralité (demi-terrain de droite et demi-terrain de gauche) (Figure 1.2).

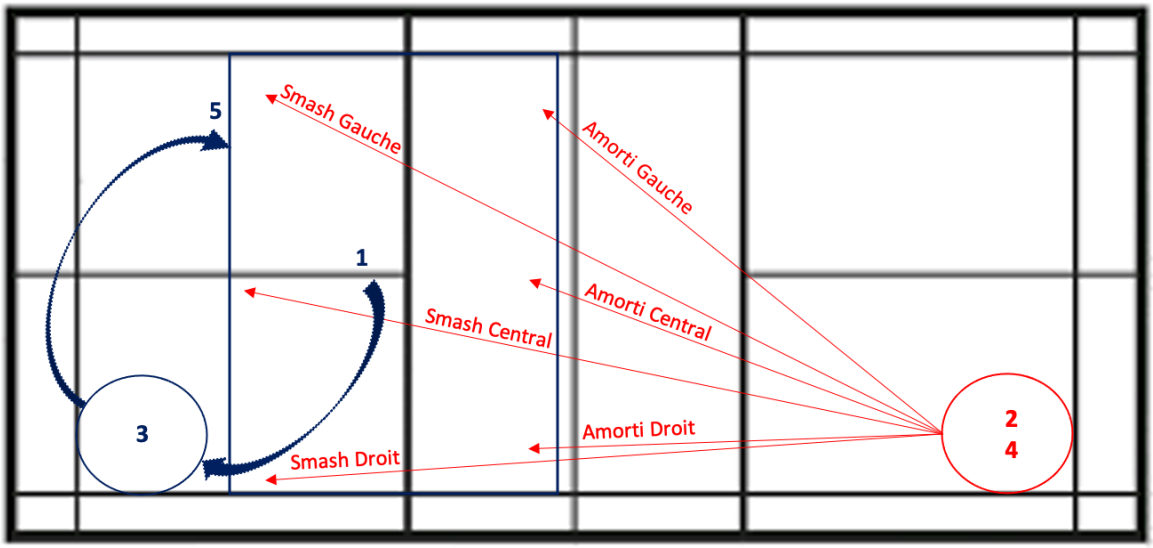


Figure 1.2 – Représentation schématique et spatiale de la situation de défense sur le demi-terrain latéral droit.
1.Participant initie l'échange, 2.Adversaire réceptionne les dégagés fond de court, 3. Participant réceptionne les dégagés fond de court, 4. Adversaire effectue une attaque de son choix, 5. Participant réceptionne l'attaque.

1.3.4 Traitements des données

Les données étaient traitées comme expliqué dans la partie Méthodologie générale (chapitre Traitement des données, page 115). Deux conditions ont été identifiées : Fatigue (Pré, Post) et Latéralité (Droite, Gauche). Les quatre réponses données aux questions posées à la fin de la situation post-protocole de fatigue ont été retranscrites et les idées principales extraites. Nous nous sommes inspirés de la méthodologie de l'analyse thématique en extrayant les thèmes principaux : stratégies décelées (oui/non), habitude de jouer contre (oui/non), caractéristique du joueur adverse (attaque/défense ; points forts) et adaptation du participant (oui/non, type

d'adaptation) (Braun & Clarke, 2006).

1.3.5 Analyses statistiques

La visualisation graphique et le test de normalité Kolmogorov-Smirnov ne valident pas l'hypothèse de la normalité de la distribution des variables numériques continues ($p<.001$). Seules les séquences terminées ont été analysées, c'est-à-dire les séquences ayant abouti à une attaque de l'adversaire. Les séquences non terminées sont dues à des dégagés fond de court en dehors des limites du terrain réalisés par le participant ou l'adversaire.

Après filtrage des données, 17,8 % des temps de réaction et 11,0 % des durées de fixations ont été exclus de l'analyse (voir les justifications dans la partie Méthodologie générale (chapitre Traitement des données, page 115). Sur l'ensemble des participants, nous avons analysé 464 échanges et 2633 fixations oculaires.

Deux grands modèles statistiques ont été effectués via des modèles linéaires mixtes (détail statistique dans la partie Méthodologie générale chapitre Traitement des données, page 115). Un des modèles avaient pour objectif de caractériser les comportements moteurs et visuels et le second d'évaluer les effets de la fatigue sur les comportements moteurs et visuels. Pour chaque test, le Tableau 1.1 donne le test d'hypothèse et les variables impliquées (dépendante et à effet fixe). La variable Participant était paramétrée comme variable à effet aléatoire.

Tableau 1.1 – Tests d'hypothèse et variables impliquées dans les analyses statistiques.

Tests d'hypothèse	Variable dépendante	Variable à effet fixe
Caractérisation des comportements		
Zones d'intérêt les plus regardées	Nombre de fixations	Zone d'intérêt
Effet de la performance sur les comportements moteurs	Temps de réaction (TR)	Séquence
	Délai de la reprise d'appui (DRA)	Séquence
	Délai de la pose du pied avant (DPS)	Séquence
	Temps de réaction	Coup
	Délai de la reprise d'appui	Coup
	Délai de la pose du pied avant	Coup
Effet de la performance sur les comportements visuels	Durée moyenne de fixation (DF)	Séquence
	Nombre moyen de fixations (NF)	Séquence
	Nombre moyen de changements de regard (NC)	Séquence
	Durée moyenne de fixation par zone d'intérêt	Séquence
	Nombre de fixations par zone d'intérêt	Séquence
	Durée moyenne de fixation	Coup
	Nombre moyen de fixations	Coup
	Nombre moyen de changements de regard	Coup
	Durée moyenne de fixation par zone d'intérêt	Coup
	Nombre de fixations par zone d'intérêt	Coup
Effets de la fatigue sur les comportements		
Vérifier l'induction de fatigue	Fréquence cardiaque	Moment
	Échelle de fatigue perçue	Moment
	Échelle d'effort perçu	Moment
Effet de la fatigue sur le nombre de séquences	Nombre de séquences terminées	Fatigue
	Nombre de séquences non terminées	Fatigue
Effet de la fatigue et de la latéralité sur les comportements moteurs	Temps de réaction	Fatigue
		Latéralité
	Délai de la reprise d'appui	Fatigue
		Latéralité
	Délai de la pose du pied avant	Fatigue
		Latéralité
Effet de la fatigue et de la latéralité sur les comportements visuels	Durée moyenne de fixation	Fatigue
		Latéralité
	Nombre moyen de fixations	Fatigue
		Latéralité
	Nombre moyen de changements de regard	Fatigue
		Latéralité
	Durée moyenne de fixation par zone d'intérêt	Fatigue
		Latéralité
	Nombre de fixations par zone d'intérêt	Fatigue
		Latéralité
Effet de la fatigue sur la performance	Nombre de séquences	Performance
		Fatigue
		Latéralité
	Nombre de coups	Performance
		Fatigue
		Latéralité

Les variables à effet fixe présentaient au moins deux conditions différentes :

— Zone d'intérêt (10 conditions, niveau de référence : Volant)

— Séquence (2 conditions : Réussie, Ratée, niveau de référence : Réussie)

— Coup (2 conditions : Réussi, Raté, niveau de référence : Réussi)

— Moment de l'expérimentation (3 conditions : Pré-protocole de fatigue, Protocole de fatigue, Post-protocole de fatigue, niveau de référence : Protocole de fatigue)

— Fatigue (2 conditions : Pré-protocole de fatigue, Post-protocole de fatigue, niveau de référence : Pré-protocole de fatigue)

— Latéralité (2 conditions : Droite, Gauche, niveau de référence : Droite)

— Performance (2 conditions : Réussi, Raté, niveaux de référence : Séquence réussie et Coup réussi)

1.4 Résultats

1.4.1 Caractérisation des comportements

1.4.1.1 Comportements moteurs et visuels

Les comportements moteurs et visuels analysés ici correspondent aux données prélevées lors des séquences pré-protocole de fatigue (Tableau 1.2).

Tableau 1.2 – Descriptif des comportements moteurs et visuels lors des séquences pré-protocole de fatigue.

TR (ms)	176,9	±	59,9
DRA (ms)	110,9	±	42,0
DPS (ms)	-196,9	±	226,9
DF (ms)	342,2	±	208,3
DF par échange (ms)	359,2	±	120,0
NF	3,0	±	1,2
NC	3,4	±	1,4

Les variables sont présentées en moyenne ± écart-type.

De manière descriptive, les zones d'intérêt les plus regardées par les experts sont le *volant* (40,3 ± 8,6), la *raquette* (14,7 ± 5,9), et le *haut du corps* (14,1 ± 6,6) (R^2 conditionnel = 0,8, important, Ordonnée à l'origine : 8,1 (95 % CI [4,8, 11,5], p<0,001)). Seul le *volant* est la zone d'intérêt significativement plus regardée que les autres zones (p <0,001 pour toutes).

1.4.1.2 Lien performance : séquences réussies/ratées et comportements

Comportements moteurs

Nous ne considérons que la variable performance (séquence réussie/ratée) ou performance×latéralité. Ni la performance ni la performance×latéralité n'a d'effet sur les trois comportements moteurs : TR, DRA, DPS ($p>0,05$). Ainsi, les comportements moteurs d'anticipation/réaction ne varient pas selon la performance réalisée en termes de séquences réussies ou ratées.

Comportements visuels

Nous ne considérons que la variable performance (séquence réussie/ratée) ou performance×latéralité. La DF, le NF et le NC par échange ne sont pas significativement différents entre les séquences réussies et les séquences ratées ($p>0,05$ pour tous). La DF pour la zone d'intérêt *volant* est significativement différente entre les séquences réussies et les séquences ratées. En effet, la DF pour le *volant* est plus courte de manière significative pour les séquences réussies (440,0 ± 46,0 ms) en comparaison des séquences ratées (483,0 ± 68,5 ms) ($p<0,05$) (R^2 conditionnel = 0,2, modéré, Ordonnée à l'origine : 0,4 (95 % CI [0,4, 0,5], $p<0,001$). La DF pour les autres zones d'intérêt ne présente aucune différence significative entre les séquences réussies et les séquences ratées ($p>0,05$ pour toutes). Les NF par échange pour toutes les zones d'intérêt ne montrent aucune différence significative entre les séquences réussies et les séquences ratées ($p>0,05$ pour tous). Ainsi, les comportements visuels des séquences réussies ou ratées ne diffèrent que par la DF sur le *volant*. Plus la DF sur le *volant* est courte, plus la séquence est réussie.

1.4.1.3 Lien performance : coups réussis/ratés et comportements

Comportements moteurs

Nous ne considérons que la variable performance (coup réussi/raté) ou performance×latéralité. Ni la performance ni la performance×latéralité n'a d'effet sur les deux comportements d'anticipation suivant : le DRA et le DPS ($p>0,05$). La performance impacte de manière significative le TR. En effet, le TR pour les coups réussis (172,8 ± 62,1 ms) est significativement plus petit que le TR pour les coups ratés (203,8 ± 49,6 ms) ($p<0,05$) (R^2 conditionnel = 0,2, modéré, Ordonnée à l'origine : 0,2 (95 % CI [0,1, 0,2], $p<0,001$).

Ainsi, le comportement d'anticipation varie selon la performance réalisée en termes de coups réussis ou ratés : les TR sont plus courts lors des coups réussis comparés aux coups ratés.

Comportements visuels

Nous ne considérons que la variable performance (coup réussi/raté) ou performance×latéralité. La DF n'est pas significativement différente entre les coups réussis et les coups ratés (p=0,73). Les DF pour toutes les zones d'intérêt ne sont pas significativement différentes entre les coups réussis et les coups ratés (p>0,05 pour toutes).

Le NF par échange est significativement différent entre les coups réussis et les coups ratés (p<0,001). En effet, le NF par échange est significativement plus important pour les coups réussis (3,3 ± 0,6) comparés aux coups ratés (1,7 ± 0,3) (R^2 conditionnel = 0,9, important, Ordonnée à l'origine : 3,4 (95 % CI [3,0, 3,8], p<0,001)). Le NC par échange est significativement différent entre les coups réussis et les coups ratés (p<0,001). En effet, le NC par échange est significativement plus important pour les coups réussis (3,8 ± 0,5) comparés aux coups ratés (1,7 ± 0,3) (R^2 conditionnel = 0,9, important, Ordonnée à l'origine : 3,9 (95 % CI [3,5, 4,3], p<0,001)).

Les NF pour les zones d'intérêt *anticipation*, *haut du corps de l'adversaire*, *raquette de l'adversaire*, *volant*, *vide avant le coup du participant* et *vide après le coup du participant* sont significativement différents entre les coups réussis et les coups ratés. En effet, le NF dans le vide correspondant à la zone d'*anticipation* est significativement plus important pour les coups réussis (27,5 ± 17,0) que pour les coups ratés (0,0 ± 0,0, p<0,001) (R^2 conditionnel = 0,6, important, Ordonnée à l'origine : 20,0 (95 % CI [19,5, 40,5], p<0,001)). Le NF sur le *haut du corps de l'adversaire* est significativement plus important pour les coups réussis (57,2 ± 35,1) comparées aux coups ratés (0,0 ± 0,0, p<0,001) (R^2 conditionnel = 0,7, important, Ordonnée à l'origine : 60,6 (95 % CI [38,7, 82,5], p<0,001)). Le NF sur la *raquette* de l'adversaire est significativement plus important pour les coups réussis (58,2 ± 29,4) comparées aux coups ratés (0,0 ± 0,0, p<0,001) (R^2 conditionnel = 0,7, important, Ordonnée à l'origine : 59,2 (95 % CI [41,0, 77,5], p<0,001)). Le NF sur le *volant* est significativement plus important pour les coups réussis (143,7 ± 19,2) comparées aux coups ratés (110,3 ± 18,1, p<0,05) (R^2 conditionnel = 0,6, important, Ordonnée à l'origine : 141,9 (95 % CI [126,3, 157,5], p<0,001)). Le NF sur la zone *vide avant le coup du participant* est significativement plus important pour les coups

réussis (16,3 ± 12,9) comparées aux coups ratés (5,3 ± 11,7, p<0,05) (R^2 conditionnel = NA, Ordonnée à l'origine : 21,10 (95 % CI [11,17, 31,03], p<0,001)). Le NF sur la zone *vide après le coup du participant* est significativement plus important pour les coups réussis (49,1 ± 29,0) comparées aux coups ratés (2,0 ± 6,3, p<0,01) (R^2 conditionnel = 0,6, important, Ordonnée à l'origine : 57,0 (95 % CI [39,3, 74,7], p<0,001)).

Ainsi, les comportements visuels pour les coups réussis diffèrent sur le NF : plus de fixations globales ainsi que plus de fixations sur les zones d'intérêt suivantes : zone vide d'*anticipation*, *haut du corps de l'adversaire*, *raquette de l'adversaire*, *volant*, zones *vides avant et après contact du participant*.

1.4.1.4 Effets des informations contextuelles

Les informations concernant les stratégies utilisées par les adversaires convergent vers l'absence de stratégies visibles pour les participants : *« là pas vraiment »*, *« je n'arrive pas à lire »*. Cependant, les participants détaillent souvent le jeu de l'adversaire lors de cette question apportant des éléments de réponse sur les stratégies utilisées *« il attaque proche des lignes »*, *« il essaie de me fixer au fond »*, *« il fait souvent le même type d'attaque, car ces deux attaques sont ses points forts »*. Concernant les questions relatives aux informations sur l'adversaire, chaque participant connaît son adversaire soit pour jouer régulièrement contre lui (n=4) soit plus ponctuellement (n=1). Chaque participant a donné les caractéristiques de jeu de son adversaire sur son type de jeu (attaque ou défense) et/ou ses types de coups (lobs, dégagés, smash croisé). Enfin, la question relative à l'adaptation du participant au jeu de l'adversaire a montré des réponses dans le sens d'adaptations comportementales de tous les joueurs sur l'ensemble du jeu. En effet, la majorité des joueurs a donné des informations générales sur leurs adaptations : *« être patient »*, *« je joue grand terrain »*. Un participant a également apporté des connaissances plus générales sur le jeu pour répondre à cette question : *« prendre de la hauteur »*, *« avancer dans le terrain »*.

1.4.2 Effets de la fatigue

1.4.2.1 Mesure de la fatigue

Nous présentons les résultats obtenus sur les trois marqueurs d'intensité et de fatigue en fonction des trois temporalités de l'expérimentation : pré-protocole fatigue, protocole de fatigue, post-protocole de fatigue (Tableau 1.3).

Tableau 1.3 – Pourcentage moyen de fréquence cardiaque maximale (%FCMax) pendant les sessions expérimentales, fatigue perçue moyenne et effort perçu moyen après chaque session expérimentale.

	Set 1		Set 2
	Pré-protocole de fatigue	Protocole de fatigue	Post-protocole de fatigue
%FCMax	77,1 ± 6,6	86,2 ± 6,7 ***	79,7 ± 4,8 *** , $$$
Fatigue perçue	3,3 ± 0,5	8,0 ± 0,9 ***	8,4 ± 1,1 ***
Effort perçu	11,7 ± 1,6	16,8 ± 0,8 ***	15,2 ± 3,3 ***

Les résultats sont présentés en moyenne ± écart-type. La fréquence cardiaque est exprimée en pourcentage de fréquence cardiaque maximale et les échelles perçues correspondent au nombre de chaque échelle d'évaluation numérique.
***p<0,001 comparé aux séquences pré-protocole de fatigue ; $$$p<0,001 comparé au protocole de fatigue.

Le %FCMax est significativement supérieur lors du protocole de fatigue comparé à la situation pré-protocole de fatigue (p<0,001) et à la situation post-protocole de fatigue (p<0,001) (R^2 conditionnel =0,97, important, Ordonnée à l'origine : 86,2 (95 % CI [80,9, 91,5], p<0,001)). La fatigue perçue est significativement supérieure lors du protocole de fatigue comparé à la situation pré-protocole de fatigue (p<0,001). Il n'y a pas de différence significative entre le protocole de fatigue et la situation post-protocole de fatigue (8,4 ± 1,1, p=0,73) (R^2 conditionnel =NA, Ordonnée à l'origine : 8,0 (95 % CI [7,3, 8,7], p<0,001)). L'effort perçu est significativement supérieur lors du protocole de fatigue comparé à la situation pré-protocole de fatigue (p<0,01). Il n'y a pas de différence significative entre le protocole de fatigue et la situation post-protocole de fatigue (p=0,24) (R^2 conditionnel =0,70, important, Ordonnée à l'origine : 16,8 (95 % CI [15,2, 18,5], p<0,001)). Ainsi, la fatigue modifie de manière significative les trois marqueurs d'intensité et de fatigue mesurés que sont le %FCMax, la fatigue perçue et l'effort perçu.

1.4.2.2 Fatigue et séquence

Le Tableau 1.4 présente un descriptif du nombre moyen de séquences terminées et non terminées lors des sessions de deux minutes pré- et post-protocole de fatigue.

Tableau 1.4 – Séquences terminées et non terminées en pré et post-protocole de fatigue selon la latéralité du terrain.

	Latéralité	Nombre de séquences terminées	Nombre de séquences non terminées
Pré-protocole de fatigue	Droite	9,5 ± 1,6	1,5 ± 1,5
	Gauche	9,2 ± 1,5	1,5 ± 1,8
Post-protocole de fatigue	Droite	10,8 ± 2,4	0,8 ± 1,3
	Gauche	9,0 ± 2,0	1,4 ± 1,5

Les variables sont présentées en moyenne ± écart-type.

Il n'y a pas de différence significative (p>0,05 pour toutes) pour les variables fatigue, latéralité et fatigue×latéralité, que ce soit entre le nombre de séquences terminées (R^2 conditionnel = 0,2, modéré, Ordonnée à l'origine : 9,5 (95 % CI [8,0, 11,0], p<0,001) ou entre le nombre de séquences non terminées (R^2 conditionnel = 0,5, important, Ordonnée à l'origine : 1,5 (95 % CI [0,3, 2,8], p<0,05)).

1.4.2.3 Fatigue et comportements moteurs

Nous présentons les résultats obtenus pour les TR, DRA et DPS en pré- et post- protocole de fatigue (Tableau 1.5).

Tableau 1.5 – Descriptif des comportements moteurs lors de la situation défensive en pré et post-protocole de fatigue

	Pré-protocole de fatigue	Post-protocole de fatigue	p
TR (ms)	176,9 ± 59,9	165,3 ± 76,8	0,17
DRA (ms)	110,9 ± 42,0	100,4 ± 42,4	**
DPS (ms)	- 192,1 ± 210,7	-202,2 ± 244,2	0,10

Les résultats sont présentés en moyenne ± écart-type. TR : Temps de réaction, DRA : Délai de reprise d'appui, DPS : Délai pose de pied avant au sol.
**p<0,01

Ni la fatigue, ni la latéralité du terrain, ni les deux facteurs couplés, n'influencent le TR et le DPS des participants (p>.05 pour tous). Seul le DRA est impacté par la fatigue (R^2 conditionnel =0,2, modéré, Ordonnée à l'origine : 0,1 (95 % CI [0,1, 0,1], p<0,001)). En effet, le DRA est plus faible en situation post-protocole de fatigue comparé à la situation pré-protocole de fatigue

(p<0,01). Ainsi, la fatigue induit des effets variables selon les comportements d'anticipation considérés.

1.4.2.4 Fatigue et comportements visuels

Globalement

Nous présentons les résultats obtenus pour la DF, le NF par échange et le NC par échange en pré- et post- protocole de fatigue (Tableau 1.6).

Tableau 1.6 – Durée de fixation (DF), nombre de fixations par échange (NF) et nombre de changements de regard par échange (NC) en pré- et post- protocole de fatigue.

	Situation 1 Pré-protocole de fatigue	Situation 2 Post-protocole de fatigue	p
DF (ms)	342,1 ± 208,3	308,4 ± 180,2	*
NF	3,0 ± 1,2	2,8 ± 1,2	0,90
NC	3,4 ± 1,4	3,2 ± 1,5	0,80

Les résultats sont présentés en moyenne ± écart-type.
*p<0,05

En ne considérant que le facteur fatigue, la DF est plus courte de manière significative en situation post-protocole de fatigue qu'en situation pré-protocole de fatigue (p<0,05) (R^2= conditionnel = 0,02, faible, Ordonnée à l'origine : 0,3 (95 % CI [0,3, 0,4], p<0,001)). Ni le NF ni le NC par échange ne sont significativement différents entre le pré- et le post-protocole de fatigue.

Par zone d'intérêt

Dans l'analyse, nous ne considérons que la variable fatigue ou fatigue×latéralité en fonction des zones d'intérêt. Seuls les résultats significatifs sur la variable fatigue sont présentés ici. Les DF sur les zones d'intérêt *bas du corps de l'adversaire*, *volant* et *vide après le coup du participant* varient de manière significative entre la situation pré-protocole de fatigue et la situation post-protocole de fatigue. La DF sur le *bas du corps de l'adversaire* est significativement plus courte en situation post-protocole de fatigue (248,8 ± 131,7 ms) qu'en situation pré-protocole de fatigue (342,2 ± 176,9 ms , p<0,05) (R^2 conditionnel = NA, Ordonnée à l'origine : 0,5 (95 % CI [0,3, 0,6], p<0,01)). La DF sur le *volant* est plus courte en situation post-protocole de fatigue (375,8 ± 53,1 ms) qu'en situation pré-protocole de fatigue (459,0 ± 44,2 ms, p<0,01) (R^2 conditionnel = 0,7, important, Ordonnée à l'origine : 0,5 (95 % CI [0,4, 0,5], p<0,001)). La DF dans le *vide après le coup du participant* est plus longue en situation post-protocole de

fatigue (280,1 ± 65,2 ms) qu'en situation pré-protocole de fatigue (236,1 ± 53,3 ms) (p<0,05) (R2 conditionnel = 0,5, important, Ordonnée à l'origine : 0,2 (95 % CI [0,2, 0,3], p<0,001). Les DF pour les sept autres zones d'intérêt ne sont pas significativement différentes entre la situation pré et la situation post-protocole de fatigue (p>0,05 pour toutes). Le NF par zone d'intérêt n'est pas significativement différent entre la situation pré et la situation post-protocole de fatigue (p>0,05 pour toutes).

Ainsi, nous pouvons conclure que la fatigue impacte les DF moyenne et les DF par zone d'intérêt, mais n'a pas d'effet sur le NF qu'il soit moyen ou par zone d'intérêt.

1.4.2.5 Fatigue et performance

Ni la fatigue, ni la latéralité, ni la performance, ni les trois facteurs associés, n'ont d'impact sur le nombre de séquences ou de coups réussis/ratés. Concernant uniquement le facteur fatigue×performance, il n'y a pas d'effet significatif entre les nombres de séquences réussies et ratées et les situations pré-protocole de fatigue et post-protocole de fatigue (R^2 conditionnel = 0,2, modéré, Ordonnée à l'origine : 15,0 (95 % CI [9,9, 20,1], p<0,001)) (Tableau 1.7). De même, en considérant le facteur fatigue×performance, il n'y a pas d'effet significatif entre les nombres de coups réussis et ratés et les situations pré-protocole de fatigue et post-protocole de fatigue (R^2 conditionnel = 0,7, important, Ordonnée à l'origine : 3,9 (95 % CI [-0,5, 8,3], p=0,084)). De même le facteur fatigue×performance n'a pas d'effet significatif sur les nombres de séquences réussies et ratées en situation pré-protocole de fatigue et en situation post-protocole de fatigue (R^2 conditionnel = 0,2, modéré, Ordonnée à l'origine : 15,0 (95 % CI [9,9, 20,1], p<0,001)) (Tableau 1.7). Ainsi, la fatigue n'a pas d'effet sur la performance réalisée que cela soit en termes de séquences réussies/ratées ou coups réussis/ratés.

Tableau 1.7 – Nombre de séquences et de coups avant et après le protocole de fatigue.

Performance		Séquence 1 Pré-protocole de fatigue	Séquence 2 Post-protocole de fatigue	p
Séquence	Réussie	15,4 ± 8,1	13,6 ± 6,5	0,60
	Raté	8,0 ± 4,3	8,7 ± 3,2	
Coup	Réussi	17,3 ± 5,6	16,7 ± 7,1	0,99
	Raté	3,5 ± 1,9	3,6 ± 1,3	

Les résultats sont présentés en moyenne ± écart-type.

1.5 Discussion

À partir d'une situation spécifique de badminton : un rapport de force défensif, la présente étude visait à caractériser les comportements moteurs et visuels de joueurs experts en condition de pratique puis d'évaluer les effets de la fatigue sur ces comportements. Les résultats généraux montrent l'importance des connaissances antérieures des joueurs ainsi qu'une focalisation essentiellement sur le volant lors de la réalisation des séquences. L'analyse de la performance en termes de séquences (réussie/ratée) ne montre pas de modification des comportements moteurs et peu de différence des comportements visuels (plus courte DF sur le *volant*). L'analyse de la performance en termes de coups (réussi/raté) montre une différence des comportements moteurs (TR plus court) et des comportements visuels (plus de NF global et sur des zones d'intérêt définies). L'analyse de la fatigue montre un impact sur le DRA (diminution), sur la DF moyenne (diminution) et sur la DF sur les zones d'intérêt *bas du corps de l'adversaire* (diminution), *volant* (diminution) et *vide après le contact volant/raquette du participant* (augmentation).

Après avoir analysé les comportements lors de sets de badminton, nous avons souhaité n'analyser qu'un type de situation afin de comprendre l'anticipation lors de situation défensive. Ainsi, la mise en place d'une situation peut être un compromis à un match in situ (Brault, 2011). La limite scientifique majeure d'un set en situation résulte dans la non-reproductibilité de scène. En effet, nos résultats sont généralisés au regard d'un set de badminton (Études 1 à 3) et les situations d'échange qui se sont déroulées au cours de ces échanges n'ont été ni répétées ni standardisées. À l'inverse, la situation d'entraînement proposée (Étude 4) a permis de standardiser et de répéter des situations tout en conservant une cohérence par rapport à la réalité de terrain (incertitude, stimuli réels, réponses motrices). La discussion suivante porte essentiellement sur une comparaison entre les résultats obtenus en situation de sets (Étude 1, page 123 et Étude 3, page 165) et les résultats obtenus en situation défensive contrôlée (Étude 4, page 180).

1.5.1 Caractérisation des comportements

1.5.1.1 Comportements moteurs

Nos hypothèses sur les comportements présupposaient un profil comportemental plutôt en réaction qu'en anticipation aux évènements. Le TR moyen en situation pré-protocole de fatigue est de 176,9 ± 59,9 ms. D'après l'étude de Triolet et al. (2013), les TR obtenus correspondent à des comportements en réaction puisqu'ils définissent ce comportement à partir de 160 ms après le contact volant/raquette de l'adversaire. Ainsi nos résultats sont en adéquation avec la littérature. Alder et Broadbent (2017) ont étudié les comportements d'anticipation et de réaction en badminton à travers une analyse vidéo de matchs issus des Finales des Masters. Ils ont montré que seuls 14,03 % des coups effectués en badminton étaient associés à de l'anticipation. Nos résultats obtenus confirment le comportement peu anticipatoire des joueurs experts de badminton pouvant s'expliquer par le déroulé du jeu et par la situation proposée. En effet, le badminton est le sport de raquette le plus rapide induisant une forte pression temporelle (Nadolny, 2014) et pouvant être qualifié de jeu de temps plutôt que de jeu d'espace (Thibaut, 1993). De plus la situation proposée place le joueur dans un rapport défavorable où la pression temporelle est augmentée diminuant davantage les possibilités d'anticipation. Les temps de réaction obtenus sont effectivement supérieurs à ceux obtenus en match (Étude 1, TR moyen experts = 159,8 ± 57,2).

1.5.1.2 Comportements visuels

Nos hypothèses sur les comportements visuels présupposaient des fixations majoritairement sur le *volant*, les zones *vides après les contacts volant/raquette de l'adversaire et du participant* et enfin l'adversaire (*anticipation du futur point d'impact*, *raquette* et *haut du corps*) (Étude 1). Nos résultats montrent trois zones d'intérêt : le *volant*, la *raquette de l'adversaire* et le *haut du corps de l'adversaire* avec uniquement le *volant* qui est la zone d'intérêt significativement plus fixée. Les comportements visuels en situation défensive se caractérisent de nouveau (Étude 1) par une centration sur le volant. Cependant, les autres zones d'intérêt diffèrent entre la réalisation de sets libres et de situations contrôlées. Nous pouvons expliquer les zones majoritairement fixées dans cette étude par la tâche demandée. En effet, les zones fixées (*volant*, *raquette de l'adversaire* et *haut du corps de l'adversaire*) peuvent donner des informations sur le moment

de l'attaque et le type d'attaque effectuée grâce à l'orientation du corps et de la raquette. Ainsi, les joueurs semblent adapter leurs comportements visuels à la situation proposée.

1.5.1.3 Performance

Séquences réussies - ratées

Nos résultats sur les performances des séquences réalisées montrent uniquement une DF inférieure lors des séquences réussies comparées aux séquences ratées. Dans l'étude 1, nous avions montré l'indépendance de la performance aux DF lors de sets de badminton. Les résultats obtenus peuvent être le reflet d'une rapide prise d'informations visuelles par les experts dans le contexte de la situation proposée, qui s'avère répétitive, leur permettant ainsi de mettre en place une action motrice en adéquation avec le coup adverse. On peut envisager une adaptation des experts par rapport à la forte pression temporelle proposée par la situation. Le peu de temps pour agir peut induire une modification des comportements visuels en lien avec l'attention allouée. En effet, les experts sont capables de moduler le focus attentionnel en fonction de la tâche réalisée (Nougier et al., 1991).

Coups réussis - ratés

Nos résultats sur les performances des coups effectués montrent des comportements moteurs et visuels distincts entre les coups réussis et les coups ratés. En effet les coups réussis sont caractérisés par des TR inférieurs, un NF et un NC moyens supérieurs et des NF sur les zones d'intérêt *anticipation*, *haut du corps*, *raquette*, *volant*, zones *vides avant et après contact volant/raquette du participant* supérieurs comparés aux coups ratés. Ces résultats sont partiellement en adéquation avec notre étude 1 sur les coups réussis/ratés qui peut notamment s'expliquer par une adaptation des stratégies individuelles au rapport de force (Gréhaigne et al., 2001). En effet, la différence de TR entre les coups réussis et ratés, contrairement à l'étude 1, peut permettre d'expliquer la performance des coups (c'est-à-dire l'interception du volant) dans une situation à forte pression temporelle. De plus, pour réussir des coups, les NF sont supérieurs en condition de sets (Étude 1) et en condition de situation défensive (Étude 4) pour les zones *haut du corps*, *raquette*, *vide après contact volant/raquette du participant*. Ces zones d'intérêt semblent donc essentielles pour renvoyer le volant dans le camp adverse, quelle que soit la pression temporelle. Les résultats sur le NF sur les zones d'intérêt suivantes :

anticipation, *volant*, zone *vide avant contact volant/raquette du participant* ne sont significatifs que pour les coups réussis en situation défensive contrôlée (Étude 4). Les fixations sur les zones *anticipation* et *volant* peuvent être expliquées par la situation imposant un coup d'attaque de l'adversaire. Ainsi, ces deux zones permettent d'envisager (zone *anticipation*) puis de suivre (*volant*) la trajectoire du coup réalisé par l'adversaire. Les résultats sur la zone *vide avant contact volant/raquette du participant* permettent d'envisager cette zone comme un critère de réussite dans la réalisation des coups. Comme nous l'avons évoqué précédemment (Étude 1, temps de *quiet-eye*, Vickers (1996a)), cette zone peut correspondre à une centration sur la réalisation motrice du geste du participant. Cependant, les fixations sur cette zone ne sont possibles que parce que la séquence s'arrête après le coup du participant. Ainsi, il n'a pas besoin de prendre des informations sur la suite du jeu (prises d'informations visuelles sur l'adversaire par exemple) comme il a du le faire en situation réelle (Étude 1). Cette situation contrôlée peut permettre au joueur de se centrer sur la réalisation de son geste expliquant les NF supérieurs sur ces zones *vides avant et après contact du volant et de sa raquette*.

1.5.1.4 Informations contextuelles

Les résultats obtenus sur les informations contextuelles prélevées montrent une connaissance du joueur adverse et une utilisation de ces connaissances pour adapter son jeu. Les études sur les informations probabilistes ont montré un effet des informations probabilistes sur les performances d'anticipation (Farrow & Reid, 2012 ; Milazzo et al., 2015 ; D. L. Mann et al., 2014 ; Lüders et al., 2020). Cependant l'intérêt et l'utilisation des informations situationnelles sont questionnés (Helm et al., 2020 ; Lüders et al., 2020). En effet les joueurs utilisent prioritairement les informations cinématiques puis les informations contextuelles lorsque les informations cinématiques sont incertaines (Helm et al., 2020). De plus, les informations contextuelles n'impactent pas forcément les comportements visuels (Lüders et al., 2020). Enfin, la méthodologie employée dans la présente étude reste questionnable. Si la méthodologie d'analyse basée sur une réflexion thématique est validée (Braun & Clarke, 2006), nous ne pouvons conclure de manière objective sur l'utilisation de ces informations. L'opposition face à des adversaires différents ou des entretiens rétrospectifs ou post-expérimentation pourraient être des méthodologies permettant de mieux comprendre l'exploitation de ces connaissances

dans une situation comme celle proposée (Williams & Ericsson, 2005 ; Crognier & Féry, 2005 ; Theureau, 2010).

1.5.2 Effets de la fatigue

1.5.2.1 Fatigue et protocole expérimental

Comme pour les études précédentes en condition de match (Étude 2, page 155 et Étude 3, page 170), la fatigue induite par le protocole d'entraînement en shadow montre une augmentation de la fatigue et de l'effort perçus après le protocole de fatigue et après la situation-post protocole de fatigue comparée à la situation pré-protocole de fatigue. Il y a une augmentation significative du pourcentage de fréquence cardiaque maximale lors du protocole de fatigue comparé aux situations pré- et post-protocole de fatigue montrant une augmentation de l'intensité de l'exercice. Le protocole de fatigue induit bien une fatigue et celle-ci est supérieure à la fatigue induite par les situations de défense.

1.5.2.2 Fatigue et comportements moteurs

Concernant les effets de la fatigue, notre hypothèse sur les comportements moteurs d'anticipation/réaction prévoyait une diminution des TR due à la fatigue physique (Étude 3). Or nous n'obtenons aucune différence de TR entre les séquences pré- et post-protocole de fatigue. Ces résultats ne sont donc pas similaires à ceux obtenus en conditions réelles de pratique de sets de badminton (Étude 3). La différence de résultats obtenus peut s'expliquer par la situation défensive vécue par les joueurs. Certes, l'incertitude des coups était diminuée dans cette situation. Cependant, la pression temporelle était augmentée par le rapport de force déséquilibré. Ainsi, si les experts peuvent adapter leurs comportements moteurs à la fatigue en situation de sets (Étude 3), cette adaptation semble plus limitée en situation de défense.

1.5.2.3 Fatigue et comportements visuels

Enfin, notre dernière hypothèse sur les comportements visuels supposait un effet de la fatigue en réduisant le NF par échange et en augmentant la DF et le NC par échange (Étude 3). Nos résultats ne valident pas cette hypothèse. La fatigue diminue la DF moyenne ainsi que les DF sur les zones d'intérêt *volant* et *bas du corps de l'adversaire*, mais augmente la

DF sur la zone *vide après contact volant/raquette du participant*. La fatigue n'a pas d'impact significatif sur le NF ni le NC par échange. Les résultats obtenus sont contradictoires avec le set post-protocole de fatigue (Étude 3) puisque la DF et NC augmentaient et le NF diminuait sous l'effet de la fatigue. L'explication majeure est relative à des méthodologies employées différentes. L'étude 3 permettait des mesures sur un set complet impliquant des rapports de force favorables, défavorables et neutres (Rossard et al., 2005) alors que la présente étude consistait uniquement en un rapport de force défavorable. Ainsi, nos résultats peuvent éclairer les comportements visuels lors de situations uniquement défensives. La fatigue, en situation défensive, impacte peu les comportements visuels globaux, mais fait évoluer les DF sur trois zones d'intérêt déterminées. Ainsi, la DF peut être un critère d'adaptation en situation défensive. Les zones moins longtemps fixées sous fatigue (*volant* et *bas du corps de l'adversaire*) peuvent être le signe d'un comportement d'adaptation des joueurs en souhaitant prendre des informations plus rapidement afin de compenser d'autres mécanismes (p.ex. moteurs) impactés de manière négative par la fatigue (temps de déplacement plus long par exemple, non mesuré ici). En effet, ces deux zones sont des zones d'intérêt pertinentes pour le jugement d'anticipation (Abernethy & Russell, 1987b ; Hagemann et al., 2006 ; S. Kim et al., 2007). De plus, la fatigue augmente la DF sur la zone *vide après contact volant/raquette du participant*. Ce résultat peut être expliqué par la configuration de la situation. En effet, la fatigue peut altérer la précision des coups des joueurs (Mansec et al., 2019 ; Bottoms et al., 2012). Ainsi, la DF augmentée sur cette zone peut permettre au joueur d'effectuer une centration sur la réalisation motrice afin de réaliser le geste correctement malgré la fatigue. Au regard de la littérature sur le temps de *quiet eye*, la zone d'intérêt défini pourrait être un contrôle des processus moteurs en direct après l'initiation du mouvement faisant référence au temps de *quiet eye dwell* (Causer et al., 2017). Cette centration est notamment rendue possible par le fait que : (i) les coups en dégagé fond de court effectués par les joueurs sont des coups laissant le temps de prendre de l'information pour la suite de l'échange et, (ii) le dernier coup effectué dans la séquence est une réception d'attaque sans autre échange après, ce qui n'implique pas une prise d'informations sur la suite de l'échange. Pour résumer, la fatigue impacte les comportements visuels uniquement en termes de DF lors de la réalisation de situations défensives puisque les joueurs experts sont entraînés à la fatigue ce qui pourrait permettre de pallier les effets néfastes d'un exercice physique intense.

1.5.2.4 Fatigue et performance

La fatigue n'a pas effet significatif sur la performance que cela soit en termes de séquences (gagnée ; perdue) ou de coups (réussi ; raté). Ces résultats sont identiques à l'étude 3. De nouveau, ces résultats montrent les comportements d'adaptation des joueurs à la fatigue afin de maintenir leur performance. Ces adaptations peuvent être motrices et visuelles en lien avec des explications attentionnelles (centration des ressources sur la tâche, Farrow et Abernethy (2003) ; Williams et Ford (2008)) ou de mécanismes compensatoires mis en place (performance multifactorielle Phomsoupha et Laffaye (2015))(discussion de l'étude 3). De plus, ce maintien de la performance pourrait être justifié par l'utilisation des informations contextuelles sur l'adversaire, notamment en cas de fatigue. Ainsi, quelle que soit la situation à laquelle le joueur expert doit faire face (situation réelle de sets ou situation d'entraînement standardisée), ces comportements moteurs et visuels adaptatifs en condition de fatigue se caractérisent par un objectif commun de maintien de la performance réalisée.

1.6 Conclusion

L'objectif de cette quatrième étude était de caractériser les comportements moteurs (anticipation ou réaction) et visuels de joueurs de niveau expert en badminton lors d'une situation de défense standardisée. Le second objectif était d'évaluer les effets de la fatigue sur ces comportements dans cette situation contrôlée. Ainsi, nous pouvons conclure que les joueurs sont majoritaires sur des comportements de réaction en situation de défense avec des centrations sur le *volant*. La fatigue induite par des conditions proches de la réalité de terrain n'impacte pas les temps de réaction chez des joueurs experts en badminton, mais impacte les durées de fixations moyennes (diminution) et les durées de fixation sur les zones d'intérêt suivantes : *volant* (diminution), *bas du corps de l'adversaire* (diminution) et zone *vide après le contact volant/raquette du participant* (augmentation). Les similitudes (adaptation motrice et visuelle, performance maintenue) et les différences (effet de la fatigue, zones d'intérêt fixées) obtenues entre les conditions de sets en jeu libre (Étude 1 et Étude 3) et en situation de défense contrôlée (Étude 4) peuvent être expliquées par la réduction de l'incertitude en situation contrôlée mais, en contrepartie, par le maintien d'une pression temporelle importante. La centration de cette

étude sur une situation spécifique est un compromis entre des conditions non contrôlées lors de la réalisation de sets et des situations contrôlées en laboratoire. La discussion de cette étude, mais également des études précédentes a montré des liens entre les recherches effectuées en condition proche de la réalité et en condition de laboratoire. Cependant, notre questionnement sur le jugement d'anticipation en badminton ne nous permet ni de comparer ni de comprendre les habiletés spécifiques mesurées en condition (moteurs, visuelles et attentionnelles, Études 1 à 4) par rapport aux habiletés globales. Ainsi, la dernière étude s'intéresse aux comportements d'anticipation et à la caractérisation de l'attention en tant qu'habiletés globales puis aux effets de la fatigue sur ces habiletés.

Chapitre 2

Étude 5 - Les effets de l'expertise et de la fatigue en badminton sur la caractérisation de l'attention et les comportements d'anticipation en situation contrôlée de laboratoire

2.1 Contexte scientifique

Analyser la prise d'informations visuelles, et les comportements moteurs d'anticipation/de réaction en condition de reproduction de situation sportive nous a permis de décrire ce qu'il se passait sur le terrain. Nos résultats s'accordent sur une différence de réponses motrices et de comportements visuels selon le niveau d'expertise (Étude 1). L'expertise est-elle spécifique au sport pratiqué ou est-elle plus générale comme une attention globale et focalisée ou une capacité d'anticipation-coïncidence dans tous les contextes ? Concernant les effets de la fatigue, les réponses motrices et les comportements visuels globaux ne sont pas impactés par la fatigue chez notre population de joueurs novices (Étude 2). Ainsi, les mécanismes mis en place pour paliers les effets de la fatigue sont-ils spécifiques à la pratique sportive ou impliquent-ils des mécanismes attentionnels et d'anticipation généraux ? Le modèle connexionniste des réseaux

attentionnels est le modèle le plus utilisé pour décrire l'attention (Posner, 1980). L'attention visuelle se décompose en trois composantes indépendantes : alerte (phasique et tonique), orientation (focus attentionnel) et contrôle exécutif (résolution de conflit perceptif). Ces trois composantes jouent un rôle important en sport puisque l'état d'alerte permet d'être vigilant à son environnement (avoir un niveau d'éveil global avec l'alerte tonique et répondre à un signal avec l'alerte phasique), l'orientation permet la sélection des stimuli visuels et le contrôle exécutif participe à la résolution de conflits cognitifs. Les composantes de l'attention participent à un des possibles déterminants de la performance c'est-à-dire l'utilisation conjointe de la vision centrale et périphérique à travers différents comportements visuels : le pivot visuel (du périphérique au fovéal), l'ancrage du regard (uniquement périphérique) ou la tâche fovéale (focus attentionnel) (Vater et al., 2019). De plus, Vater et al. (2019) effectuent un lien entre les deux types de visions (centrale et périphérique), l'attention (globale et locale) et les comportements visuels. Ainsi, peu de fixations de longue durée sont associées à une vision centrale/fovéale impliquant des processus permettant des informations détaillées, c'est-à-dire une attention localisée alors que davantage de fixations de courtes durées correspondent à une vision périphérique impliquant une attention globale distribuée par une vision holistique. Ainsi, des liens entre l'attention, les comportements visuels et la vision (centrale et périphérique) ont été proposés en sport. De plus, l'attention visuelle, comme habileté perceptivo-cognitive, permet la prise d'informations visuelles au service d'un jugement d'anticipation, jugement défini comme un facteur de performance (Phomsoupha & Laffaye, 2015). Ainsi, ces premiers résultats en sport invitent à investiguer les mécanismes de l'attention et de l'anticipation dans des conditions plus contrôlées afin de compléter les connaissances sur la compréhension de la performance en badminton.

2.2 Objectifs et hypothèses

Le premier objectif de cette étude est d'examiner l'effet de l'expertise en badminton sur la caractérisation de l'attention et sur le comportement moteur d'anticipation en condition contrôlée de laboratoire. Le second objectif est d'évaluer les effets de la fatigue sur l'attention et l'anticipation. La démarche de cette étude est de tenter de comprendre des résultats obtenus sur le terrain en faisant un retour sur des situations contrôlées en laboratoire. D'après les études précédentes (Études 1 à 4) et la littérature sur les processus cognitifs en

laboratoire, nous émettons l'hypothèse que les joueurs experts auraient une meilleure vision globale de leur environnement ainsi qu'une capacité de focalisation sur des éléments jugés pertinents comparés aux novices. Ainsi, les experts répondraient plus rapidement lors de tâches impliquant des situations globales et locales ainsi que lors de tâches impliquant des éléments extérieurs congruents et incongruents. Les experts seraient moins efficaces sur les composantes de l'attention alerte et orientation, car leur attention serait orientée sur la tâche à réaliser. Ils seraient moins perturbés par des stimulations extérieures impliquant des temps plus rapides pour le contrôle exécutif puisque la vision fovéale reste plus importante que la vision périphérique. Enfin, ils répondraient plus rapidement comparés aux joueurs novices comme les résultats de l'étude 1 l'ont montré. Deuxièmement, nous supposons que la fatigue augmenterait les temps de réaction sur l'attention focalisée. Elle impliquerait des temps de réaction plus longs sur les composantes attentionnelles qui seraient moins efficaces (notamment l'alerte et le contrôle exécutif, Chang et al. (2015) ; Connell et al. (2016)) et augmenterait les temps de réaction sur l'anticipation-coïncidence (Pavelka et al., 2020).

2.3 Méthode

Les détails méthodologiques sont présentés dans la partie Méthodologie générale (page 98).

2.3.1 Participants

Vingt-cinq participants ont participé à cette étude : 19 participants novices et 6 participants experts (partie Méthodologie générale, chapitre Participants, page 99). Les participants novices ont participé à l'ensemble de l'expérimentation. Les participants experts ont participé uniquement à la partie pré-protocole de fatigue.

2.3.2 Mesures et variables analysées

2.3.2.1 Fatigue

La fatigue était mesurée de manière instrumentée (intensité de l'exercice : fréquence cardiaque FC) et auto référencée (échelle d'évaluation numérique de la fatigue perçue) (partie Méthodologie générale, chapitre Matériel et mesures, page 106).

2.3.2.2 Attentions globale – locale : tâche de *Navon*

Description de la tâche

Afin de mesurer les composantes globale et locale de l'attention, nous avons utilisé la tâche de *Navon* (Navon, 1977). Un essai correspond à la présentation d'une croix de fixation centrée puis d'une lettre globale (H ou S) sur l'écran composée de petites lettres identiques (H ou S) (Figure 2.1). La taille de présentation d'une lettre globale était de 2,00 cm de largeur et 2,50 cm de longueur.

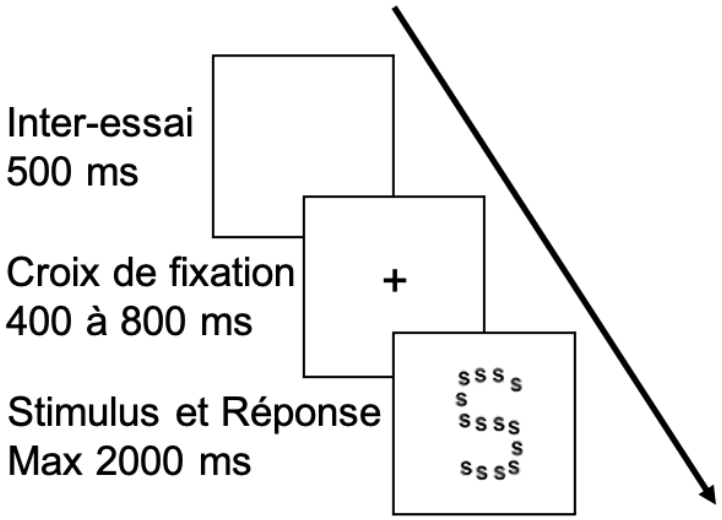


Figure 2.1 – Décours temporel d'un essai lors de la tâche de *Navon*.

La condition attention globale demande au participant d'identifier si la lettre globale présentée forme un H ou un S. La condition attention locale demande au participant d'identifier si les petites lettres composant la grande lettre sont un ensemble de H ou de S. Pour chaque essai, les participants doivent appuyer sur la lettre correspondante sur le clavier le plus rapidement et de la manière la plus juste possible. Deux conditions différentes peuvent se présenter : (i) situation congruente (la lettre globale présentée et la composition de cette lettre sont toutes deux des H ou des S), (ii) situation incongruente (la lettre globale présentée est un H et la composition de cette lettre est une multitude de S ou inversement)(Figure 2.2). L'interférence fait référence à la condition congruence/incongruence : les temps de réaction (TR) seraient plus rapides pour des essais congruents qu'incongruents. De plus, cette interférence serait plus importante en condition locale que globale. La précédence globale fait référence à la condition globale/locale : l'identification globale serait plus rapide que l'identification locale.

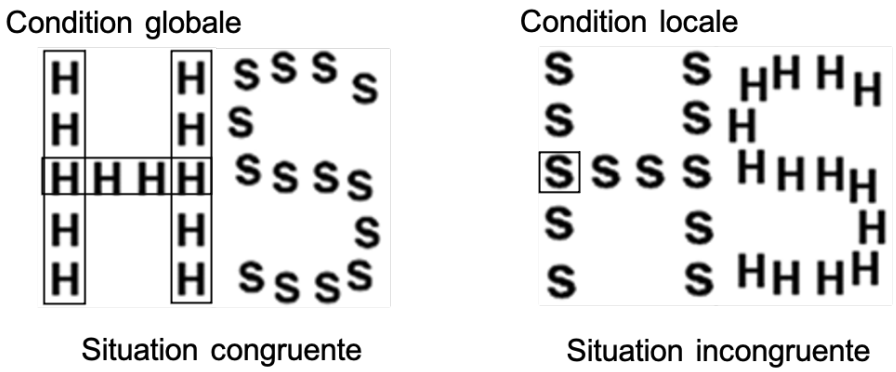


Figure 2.2 – Visualisation des conditions globale et locale ainsi que des conditions congruente et incongruente.

Les participants effectuaient un bloc par condition (globale ; locale) dans un ordre contrebalancé entre les deux conditions. Chaque bloc consistait en quatre essais d'entraînement suivi de soixante-quatre essais. Les participants disposaient de trente secondes de récupération entre les deux blocs. La durée totale maximale de la tâche était de 7'48 minutes.

Variables mesurées

La tâche de *Navon* permet d'obtenir les :

- TR moyen pour chacune des quatre conditions : Attention (globale ; locale) X Essais (congruents ; incongruents).
- Effet interférence globale : différence de TR moyen entre les essais incongruents et congruents en condition locale.
- Effet interférence locale : différence de TR moyen entre les essais incongruents et congruents en condition globale.
- Effet précédence globale : différence de TR moyen entre la condition locale et la condition globale.
- Nombre de réponses justes

2.3.2.3 Composantes de l'attention : tâche *Attention Network Test*

Description de la tâche

Afin de mesurer les composantes alerte, orientation et contrôle exécutif de l'attention, nous avons utilisé la tâche *Attention Network Test (ANT)* (Fan et al., 2002). Un essai est composé d'une croix présentée au milieu de l'écran suivie d'un signal puis de nouveau une croix et enfin

d'une cible (Figure 2.3). La taille de présentation d'une cible était de 2,00 cm de largeur et 3,50 cm de longueur.

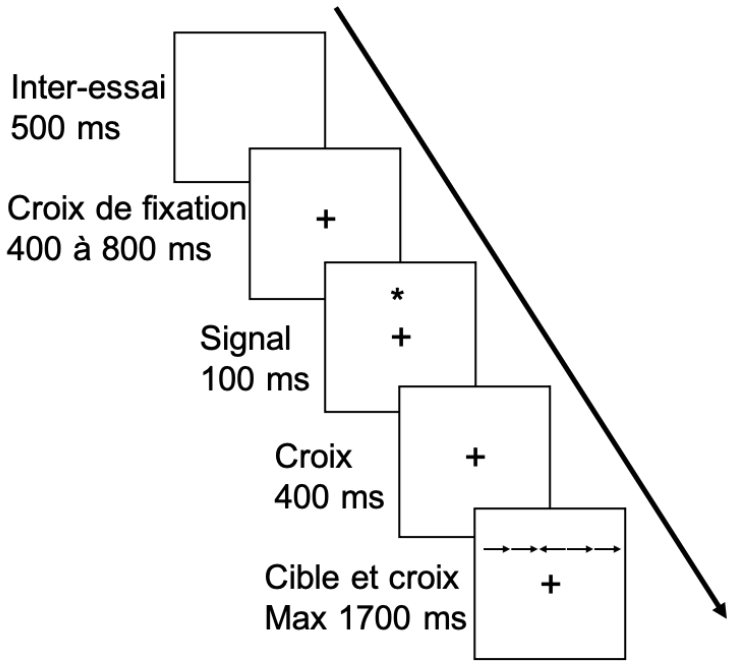


Figure 2.3 – Décours temporel d'un essai lors de la tâche d'*Attention Network Test*.

La cible est un ensemble de cinq éléments les uns à côté des autres dont l'élément central est une flèche. Lors de l'apparition de la cible, les participants doivent indiquer l'orientation de la flèche centrale. Ils doivent répondre le plus rapidement et de la manière la plus juste possible. Avant la cible, un stimulus apparaît à l'écran qui est la présentation ou non d'un astérisque.

Les essais peuvent présenter différentes conditions entre les signaux et les cibles (Figure 2.4) :

— 4 conditions de signaux représentés par un astérisque (*) : aucun astérisque – astérisque centré – double astérisque – astérisque au-dessus ou en dessous.

Cette condition permet de mesurer la composante alerte de l'attention par l'état d'éveil du participant, spécifiquement à propos de l'alerte phasique c'est-à-dire la réponse à un signal.

— 2 conditions spatiales de cibles : cible au-dessus - cible en dessous de la croix.

Cette condition permet de mesurer la composante orientation de l'attention par le lieu du focus attentionnel.

— 2 directions de cibles flèches : flèche centrale orientée vers la gauche – flèche centrale orientée vers la droite.

— 3 conditions de cibles : éléments autour de la flèche central neutre – orientés dans le même sens que la flèche centrale (condition congruente) – orientés dans le sens opposé

à la flèche centrale (condition incongruente).

Cette condition permet de mesurer la composante contrôle exécutif de l'attention par un gestion des conflits perceptifs.

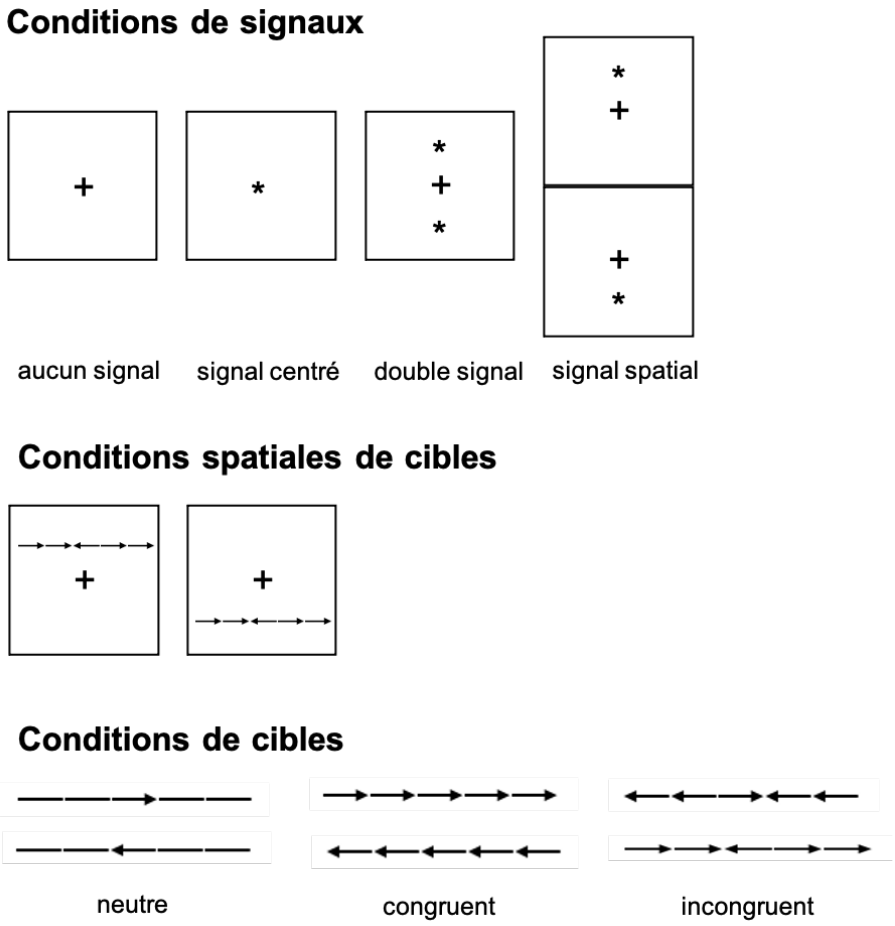


Figure 2.4 – Conditions possibles lors de la tâche d'*Attention Network Test*.

Dans notre étude, les participants devaient appuyer sur la lettre A si la flèche centrale était orientée vers la gauche et la lettre P si elle était orientée vers la droite. Concernant les quatre conditions différentes, il y avait :

— Douze essais pour chacune des quatre conditions de signal.

— Vingt-quatre essais pour chacune des deux conditions spatiales de cibles.

— Vingt-quatre essais pour chacune des deux conditions de direction de cibles flèches.

— Seize essais pour chacune des trois conditions de cibles.

Les participants effectuaient quatre essais d'entraînement puis deux blocs de quarante-huit essais chacun. Ils avaient trente secondes de récupération entre les deux blocs. La durée totale maximale de la tâche était de 5'30 minutes.

Variables mesurées

La tâche ANT permet d'obtenir les :

— Effet alerte

La composante alerte de l'attention se réfère à l'apparition des signaux. L'effet est la différence entre le TR moyen sur les essais ne présentant aucun signal (pas d'astérisque) et le TR moyen sur les essais présentant un double signal (deux astérisques).

— Effet orientation

La composante orientation de l'attention se réfère au lieu d'apparition des cibles. L'effet est la différence entre le TR moyen sur les essais présentant un signal centré (astérisque centré) et le TR moyen sur les essais présentant un signal décentré (astérisque au-dessus ou en dessous de la croix initiale).

— Effet contrôle exécutif

La composante contrôle exécutif de l'attention se réfère aux conditions de congruence ou d'incongruence de la cible. L'effet est la différence entre le TR moyen sur les essais incongruents (la flèche centrale est dans un sens opposé aux flèches présentées autour) et le TR moyen sur les essais congruents (la flèche centrale est dans le même sens que les flèches présentées autour).

— Nombre de réponses justes

2.3.2.4 Anticipation-coïncidence : *Bridge Coincidence Timing Game*

Descriptif de la tâche

Afin de mesure l'anticipation-coïncidence, nous avons utilisé la tâche *Bridge Coincident Timing Game (BCGT)* (Crocetta et al., 2019). Un essai consiste en dix ronds positionnés en colonne s'éclairant les uns après les autres de haut en bas (Figure 2.5). La taille de présentation d'un rond était de 0,90 cm de diamètre. Les neuf premiers ronds s'éclairent de gris à rouge et le dernier de gris à vert. Les participants doivent appuyer le plus rapidement et de manière la plus juste possible sur la barre espace lorsque le dixième rond s'éclaire.



Figure 2.5 – Visualisation de la tâche de *Bridge Coicident Timing Game*.

Les participants effectuaient un bloc de vingt essais sans entraînement. La durée totale maximale de la tâche était de deux minutes.

Variables mesurées

La tâche *BCTG* permet d'obtenir les :

— Erreur constante

L'erreur constante est le TR moyen et informe du biais directionnel par le signe associé à cette valeur.

— Erreur absolue

L'erreur absolue est le TR moyen en valeur absolue et informe de la magnitude du TR.

— Erreur variable

L'erreur variable est l'écart-type de l'erreur constante et informe de la constance des TR (Crabtree & Antrim, 1988 ; Le Runigo et al., 2010).

— Nombre de réponses justes

2.3.3 Procédure expérimentale

Les participants novices réalisaient les trois tâches sur un ordinateur dans l'ordre suivant : *Navon*, *ANT*, *BCTG* puis un protocole de badminton (deux sets et un protocole de fatigue correspondant aux études 1 et 2) puis de nouveau les 3 tâches dans le même ordre. Les participants experts réalisaient les trois tâches sur un ordinateur dans l'ordre suivant : *Navon*, *ANT*, *BCTG*. Le détail du protocole de fatigue expérimenté par les participants novices ainsi que le détail des mesures effectuées lors de ce protocole se situent dans la partie Méthodologie générale (chapitre Procédure expérimentale, page 102). La Figure 2.6 résume le déroulé et les mesures effectuées lors de la procédure expérimentale pour les deux populations recrutées.

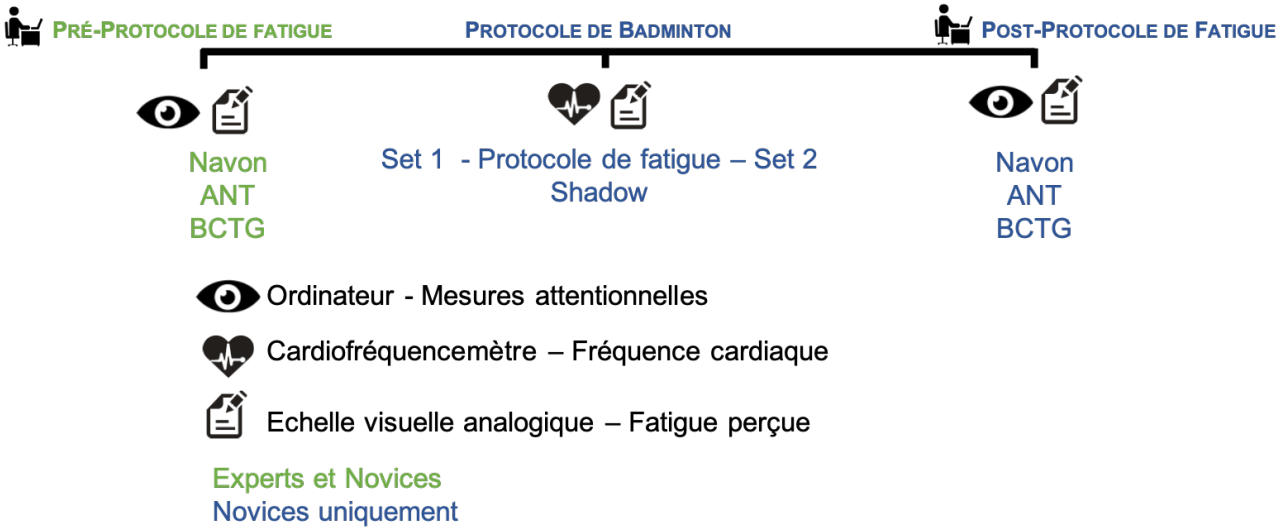


Figure 2.6 – Représentation schématique de la procédure expérimentale et des mesures effectuées pour les populations d'experts et de novices.

Les participants effectuaient les trois tâches sur un ordinateur (Dell Portable Latitude Core i5 7th Gen) dans un bureau dédié à cet effet. Les tâches de *Navon* et *ANT* ont été créées et diffusées à partir du logiciel OpenSesame version 3.1.4. La tâche *BCTG* a un programme dédié (Crocetta et al., 2019). Ils étaient placés à environ 57 cm de l'écran. Pour les participants novices, le bureau était situé proche des terrains de badminton afin de limiter les déplacements et de maintenir les effets du protocole de fatigue.

2.3.4 Traitements des données

Les essais dont les TR sont inférieurs à 200 et supérieurs à 1000 ms des tâches ordinateur *Navon* et *ANT* ont été supprimés des analyses. En effet, ces valeurs correspondent soit à

un retard important du participant au-delà d'un TR soit une anticipation en amont de la présentation du stimulus. Deux conditions d'analyse ont été identifiées : Expertise (Novice ; Expert) et Fatigue (Pré ; Post). Le taux de mauvaises réponses a été calculé pour chacune des trois tâches. Les mauvaises réponses ont été retirées des analyses statistiques. Nous avons effectué l'ensemble des calculs sur chacun des blocs et sur la tâche entière (blocs regroupés). Pour la tâche de *Navon*, nous avons calculé les TR moyen par condition (global ; local), l'effet interférence et l'effet précédence par condition. Pour rappel, voici comment nous avons mesuré ces cinq variables (détail des mesures dans le chapitre Étude 5, section Méthode, sous-section Mesures, page 207) :

- TR Condition globale = moyenne des TR pour le bloc correspondant à la condition globale
- TR Condition locale = moyenne des TR pour le bloc correspondant à la condition locale
- Effet Interférence globale = TR moyen des essais incongruents en condition locale – TR moyen des essais congruents en condition locale
- Effet Interférence locale = TR moyen des essais incongruents en condition globale – TR moyen des essais congruents en condition globale
- Effet Précédence globale = TR condition locale – TR condition globale

Pour la tâche ANT, nous avons calculé les TR pour les composantes alerte, orientation et contrôle exécutif. Pour rappel, voici comment nous avons mesuré ces trois variables (détail des mesures dans le chapitre Étude 5, section Méthode, sous-section Mesures, page 208) :

- Effet alerte = TR moyen sur les essais ne présentant aucun signal – TR moyen sur les essais présentant un double signal
- Effet orientation = TR moyen sur les essais présentant un signal centré – TR moyen sur les essais présentant un signal décentré
- Effet contrôle exécutif = TR moyen sur les essais incongruents – TR moyen sur les essais congruents

Pour la tâche *BCTG*, nous avons calculé les erreurs constante, absolue et variable. Pour rappel, voici comment nous avons mesuré ces trois variables (détail des mesures dans le chapitre Étude 5, section Méthode, sous-section Mesures, page 211) :

- Erreur constante = TR moyen

— Erreur absolue = TR moyen à partir des valeurs absolues

— Erreur variable = écart-type du TR moyen

Les données sur la fatigue étaient traitées comme expliqué dans la partie Méthodologie générale (chapitre Matériel et mesures, page 106). La fatigue était mesurée de manière instrumentée (intensité de l'exercice : fréquence cardiaque FC) et auto référencée (échelle d'évaluation numérique de la fatigue perçue).Pour la FC, nous n'avons des données que pour le protocole de fatigue et les tâches post-protocole de fatigue.

2.3.5 Analyses statistiques

La visualisation graphique et le test de normalité Kolmogorov-Smirnov ne valident pas l'hypothèse de la normalité de la distribution des variables numériques continues ($p<.001$). Deux grands modèles statistiques pour chaque tâche comportementale expliquée précédemment ont été effectués via des modèles linéaires mixtes (détail statistique dans la partie Méthodologie générale chapitre Traitement des données, page 115). Un des modèles avaient pour objectif d'évaluer les effets de l'expertise et le second les effets de la fatigue sur les comportements attentionnels. Pour chaque test, le Tableau 2.1 donne le test d'hypothèse et les variables impliquées (dépendante et à effet fixe). La variable Participant était paramétrée comme variable aléatoire.

Tableau 2.1 – Tests d'hypothèse et variables impliquées dans les analyses statistiques

Tests d'hypothèse	Tâche ordinateur concernée	Variable dépendante	Variable à effet fixe
Effet de l'expertise sur les caractéristiques de l'attention et les comportements d'anticipation	Navon	TR Moyen	Niveau∗Condition
		Interférence	Niveau∗Condition
		Précédence	Niveau∗Condition
	ANT	Alerte	Niveau∗Condition
		Orientation	Niveau∗Condition
		Contrôle exécutif	Niveau∗Condition
	BCTG	Erreur constante	Niveau
		Erreur absolue	Niveau
		Erreur variable	Niveau
Vérifier l'induction de fatigue		Fréquence cardiaque	Moment de l'expérimentation
		Échelle de fatigue perçue	Moment de l'expérimentation
Effet de la fatigue sur les caractéristiques de l'attention et les comportements d'anticipation	Navon	TR Moyen	Fatigue∗Condition
		Interférence	Fatigue∗Condition
		Précédence	Fatigue∗Condition
	ANT	Alerte	Fatigue∗Condition
		Orientation	Fatigue∗Condition
		Contrôle exécutif	Fatigue∗Condition
	BCTG	Erreur constante	Fatigue
		Erreur absolue	Fatigue
		Erreur variable	Fatigue

Les variables à effet fixe présentaient au moins deux conditions différentes :

— Niveau (2 conditions : Novice ; Expert, niveau de référence : Expert)

— Condition *Navon* (2 conditions : Local ; Global, niveau de référence : Global)

— Condition *ANT* (3 conditions : Bloc 1, Bloc 2, Blocs 1 et 2 niveaux de référence : Blocs 1 et 2)

— Moment de l'expérimentation (3 conditions : Pré-protocole de fatigue ; Protocole de fatigue ; Post-protocole de fatigue, niveau de référence : Protocole de fatigue)

— Fatigue (2 conditions : Pré-protocole de fatigue ; Post-protocole de fatigue , niveau de référence : Pré-protocole de fatigue)

2.4 Résultats

2.4.1 Effets de l'expertise sur les caractérisations de l'attention et sur les comportements moteurs d'anticipation

Cette partie concerne une comparaison entre les groupes de participants novices et de participants experts.

2.4.1.1 Effet de l'expertise sur l'attention globale - locale

Nous présentons les résultats obtenus sur les trois variables mesurées par la tâche de Navon : TR moyen et effet interférence pour les deux conditions d'attention (locale et globale) pour les deux groupes (novice et expert) ainsi que l'effet précédence pour la condition d'attention globale pour les deux groupes (novice et expert) (Tableau 2.2). Les experts et les novices ne présentent pas de différence significative concernant le nombre de données inférieures à 200 ms et supérieures à 1000 ms (pourcentage de données exclues : 1,2 %) ni concernant les taux d'erreurs (moyenne des taux d'erreurs 3,2 ± 2,9).

Tableau 2.2 – Temps de réaction moyens (TR) pour les tâches de *Navon* pré-protocole de fatigue et post-protocole de fatigue

Navon	Condition	Novices	Experts	p
TR Moyen (ms)	Locale	515,9 ± 48,8	427,6 ± 51,3	**
	Globale	473,7 ± 37,3	442,7 ± 27,0	
Effet interférence (ms)	Locale	27,9 ± 23,6	42,5 ± 38,5	0,07
	Globale	52,9 ± 31,8	32,2 ± 23,8	
Effet précédence (ms)	Globale	42,2 ± 39,2	-15,1 ± 35,4	**

Les résultats sont présentés en moyenne ± écart-type.
**p<0,01

Le modèle linéaire mixte montrant un résultat significatif concerne le TR moyen en fonction de l'expertise (expert ; novice) et de la condition (local ; global) (p<0,01, R^2=0,7, important, Ordonnée à l'origine : 473,7 (95 % CI [454,5, 493,0], p<0,001). En effet, concernant les participants novices, le TR moyen en condition locale est supérieur au TR moyen en condition globale (p<0,001). Il n'y pas d'effet des conditions chez les participants experts (p=0,8). De plus, en condition locale, le TR moyen des participants novices est supérieur au TR moyen des participants experts (p<0,001). L'effet précédence varie de manière significative entre les

niveaux d'expertise (R^2=NA, Ordonnée à l'origine : 42,2 (95 % CI [24,9, 59,4], p<0,001). En effet, l'effet précédence globale des participants novices est supérieur comparé aux participants experts (p<0,01). Aucun résultat significatif n'a été obtenu pour l'effet interférence (p=0,07).

2.4.1.2 Effet de l'expertise sur les composantes de l'attention

Pour les deux groupes de participants, nous présentons les résultats obtenus sur les trois variables attentionnelles mesurées par la tâche ANT : alerte, orientation et contrôle exécutif (Tableau 2.3). Les experts et les novices ne présentent pas de différence significative concernant le nombre de données inférieures à 200 ms et supérieures à 1000 ms (pourcentage de données exclues : 0,9 %) ni concernant les taux d'erreurs (moyenne des taux d'erreurs : 3,0 ± 4,8).

Tableau 2.3 – Temps de réaction moyen pour les deux niveaux d'expertise, obtenus à la tâche *Attention Network Test*.

ANT	Novices			Experts			p
Alerte (ms)	23,2	±	32,2	14,7	±	22,7	0,6
Orientation (ms)	74,0	±	27,3	90,6	±	21,3	0,2
Contrôle exécutif (ms)	15,6	±	25,7	0,2	±	18,3	0,3

Les résultats sont présentés en moyenne ± écart-type.

L'expertise n'a pas d'impact sur les composantes attentionnelles mesurées : alerte, orientation et contrôle exécutif. En effet, nous n'obtenons aucun résultat significatif que cela soit pour chaque bloc analysé isolément ou pour l'ensemble de la tâche comportementale (p>0,05 pour toutes).

2.4.1.3 Effet de l'expertise sur l'anticipation coïncidence

Nous présentons les résultats obtenus sur les trois erreurs définies par le test *BCTG* : erreur constante, erreur absolue et erreur variable pour les deux groupes de participants (Tableau 2.4). Les experts et les novices ne présentent pas de différence significative concernant les taux d'erreurs (5,6 ± 8,6).

Tableau 2.4 – Temps de réaction moyen pour les deux niveaux d'expertise, obtenus à la tâche *Bridge Coincidence Timing Game*.

BCTG	Novices			Experts			p
Erreur constante	-266,2	±	77,9	-239,0	±	41,0	0,4
Erreur absolue	266,2	±	77,9	239,0	±	41,0	0,4
Erreur variable	64,8	±	19,8	63,3	±	9,3	0,9

Les résultats sont présentés en moyenne ± écart-type.

L'expertise n'a pas d'impact sur l'ensemble des variables d'anticipation mesurées : erreur constante, erreur absolue et erreur variable. En effet, nous n'obtenons aucun résultat significatif (p>0,05 pour toutes).

2.4.2 Effets de la fatigue sur les caractérisations de l'attention et sur les comportements moteurs d'anticipation

Cette partie ne concerne que le groupe de participants novices. Nous avons présenté les résultats concernant la fatigue et les résultats pour chaque tâche comportementale.

2.4.2.1 Mesure de la fatigue

Nous présentons les résultats obtenus sur les deux marqueurs d'intensité et de fatigue en fonction des trois temporalités de l'expérimentation : set pré-protocole fatigue, protocole de fatigue, set post-protocole de fatigue (Tableau 2.5).

Tableau 2.5 – Pourcentage moyen de fréquence cardiaque maximale (%FCMax) pendant les sessions expérimentales, fatigue perçue moyenne après chaque session expérimentale.

	Tâches ordinateur Pré-protocole de fatigue			Protocole de fatigue				Tâches ordinateur Post-protocole de fatigue			
%FCMax	NA			92,7	±	4,2		63,6	±	8,9	$^{\$\$\$}$
Fatigue perçue	1,7	±	1,4	7,8	±	0,9	***	3,4	±	2,1	*** , $^{\$\$\$}$

Les résultats sont présentés en moyenne ± écart-type. La fréquence cardiaque est exprimée en pourcentage de fréquence cardiaque maximale et l' échelle de fatigue perçue correspond au nombre de l'échelle d'évaluation numérique.
***p<0,001 comparé aux tâches pré-protocole de fatigue ; $^{\$\$\$}$p<0,001 comparé au protocole de fatigue.

Le pourcentage de FCMax est significativement supérieur lors du protocole de fatigue que lors du set post-protocole de fatigue (p<0,001) (R^2 conditionnel = 0,9, important, Ordonnée à l'origine : 92,7 (95 % CI [89,5, 95,8],p<0,001)). La fatigue perçue est significativement supérieure lors du protocole de fatigue comparée aux tâches sur ordinateur post-protocole de fatigue

(p<0,001) et pré-protocole de fatigue (p<0,001). De même, la fatigue perçue post-protocole de fatigue est supérieure à la fatigue perçue pré-protocole de fatigue (p<0,001) (R^2 conditionnel = 0,82, important, Ordonnée à l'origine : 7,79 (95 % CI [7,12, 8,46], p<0,001)). Ainsi, les résultats obtenus sur les deux marqueurs d'intensité et de fatigue nous permettent de confirmer l'induction de fatigue à partir de notre protocole de fatigue.

2.4.2.2 Effets de la fatigue sur l'attention globale – locale

Nous présentons les résultats obtenus sur les trois variables mesurées par la tâche de *Navon* : TR moyen et effet interférence pour les deux conditions d'attention (locale et globale) et les deux conditions de fatigue (pré- et post-protocole de fatigue) ainsi que l'effet précédence pour la condition d'attention globale pour les deux conditions de fatigue (pré- et post-protocole de fatigue) (Tableau 2.6). Les novices ne présentent pas de différence significative entre les tâches effectuées en pré- et en post-protocole de fatigue concernant le nombre de données inférieures à 200 ms et supérieures à 1000 ms (pourcentage de données exclues : 0,9%) ni concernant les taux d'erreurs (2,3 ± 1,9).

Tableau 2.6 – Temps de réaction moyens (TR) pour les tâches de *Navon* pré-protocole de fatigue et post-protocole de fatigue

Navon	Condition	Pré-protocole de fatigue	Post-protocole de fatigue	p
TR Moyen (ms)	Locale	515,9 ± 48,8	464,7 ± 48,8	**
	Globale	473,7 ± 37,3	470,3 ± 50,1	
Effet interférence (ms)	Locale	27,9 ± 23,6	29,3 ± 28,1	0,4
	Globale	52,9 ± 31,8	43,9 ± 20,5	
Effet précédence (ms)	Globale	42,2 ± 39,2	-0,6 ± 59,7	*

Les résultats sont présentés en moyenne ± écart-type.
*<0,5, **p<0,01

Le modèle linéaire mixte sur le TR moyen en fonction de la fatigue (pré ; post) et de la condition (local ; global) montre un résultat significatif (p<0,01 , R^2 = 0,51, important , Ordonnée à l'origine : 473,7 (95 % CI [452,9, 494,6], p<0,001). En effet, le TR moyen en condition locale en post-protocole de fatigue est significativement inférieur au TR en pré-protocole de fatigue (p<0,001). En pré-protocole de fatigue, le TR en condition locale est significativement supérieur au TR en condition global (p<0,01). L'effet précédence varie de manière significative en fonction de la fatigue (p<0,05, R^2=NA, Ordonnée à l'origine : 42,2 (95 % CI [19,5, 64,9], p<0,001). En effet, l'effet précédence globale est inférieur en post-protocole

de fatigue comparé au pré-protocole de fatigue. Aucun résultat significatif n'a été obtenu pour les effets interférences ($p<0,05$ pour toutes).

2.4.2.3 Effets de la fatigue sur les composantes de l'attention

Nous présentons les résultats obtenus sur les trois variables attentionnelles mesurées par la tâche ANT : alerte, orientation et contrôle exécutif pour les deux conditions de fatigue (pré- et post-protocole de fatigue). Les données descriptives présentées dans le Tableau 2.7 concernent uniquement les valeurs obtenues sur l'ensemble de la tâche (blocs 1 et 2). Les novices ne présentent pas de différence significative entre les tâches effectuées en pré- et en post-protocole de fatigue concernant le nombre de données inférieures à 200 ms et supérieures à 1000 ms (pourcentage de données exclues : 0,8 %) ni concernant les taux d'erreurs (1,6 ± 1,2).

Tableau 2.7 – Temps de réaction moyens pour les tâches *Attention Network Test* pré-protocole de fatigue et post-protocole de fatigue.

ANT	Pré-protocole de fatigue	Post-protocole de fatigue	p
Alerte (ms)	23,2 ± 32,2	18,6 ± 16,8	0,6
Orientation (ms)	74,0 ± 27,3	68,4 ± 27,9	0,4
Contrôle exécutif (ms)	15,6 ± 25,7	8,9 ± 27,8	0,4

Les résultats sont présentés en moyenne ± écart-type.

La fatigue n'a pas d'impact sur l'ensemble des variables attentionnelles mesurées : alerte, orientation et contrôle exécutif. En effet, nous n'obtenons aucun résultat significatif sur les trois modèles d'hypothèse pour l'ensemble de la tâche comportementale ($p>0,05$ pour toutes).

2.4.2.4 Effets de la fatigue sur l'anticipation – coïncidence

Nous présentons les résultats obtenus sur les trois erreurs définies par le *Bridge Coincidence Timing Game* : erreur constante, erreur absolue et erreur variable pour les deux conditions de fatigue (pré- et post-protocole de fatigue) (Tableau 2.8). Les novices ne présentent pas de différence significative entre les tâches effectuées en pré- et en post-protocole de fatigue concernant les taux d'erreurs (4,6 ± 7,7).

Tableau 2.8 – Temps de réaction moyens pour les tâches *Bridge Coincidence Timing Game* en pré-protocole de fatigue et post-protocole de fatigue.

BCTG	Pré-protocole de fatigue	Post-protocole de fatigue	p
Erreur constante	-266,2 ± 77,9	-244,2 ± 67,7	0,1
Erreur absolue	266,2 ± 77,9	244,2 ± 67,7	0,1
Erreur variable	64,8 ± 19,8	61,2 ± 15,4	0,4

Les résultats sont présentés en moyenne ± écart-type.

La fatigue n'a pas d'impact sur l'ensemble des variables anticipatrices mesurées : erreur constante, erreur absolue et erreur variable. En effet, nous n'obtenons aucun résultat significatif ($p>0,05$ pour toutes).

2.5 Discussion

À partir de situations contrôlées effectuées en laboratoire, cette étude visait à examiner l'effet de l'expertise et de la fatigue en badminton sur la caractérisation de l'attention et sur le comportement d'anticipation. L'analyse de l'expertise montre uniquement un effet sur l'attention globale – locale par un TR moyen inférieur et un effet précédence globale inférieur et négatif chez les experts. De même, l'analyse de la fatigue montre uniquement un effet sur l'attention globale – locale par un TR moyen inférieur et un effet précédence globale inférieur et négatif en post-protocole de fatigue.

2.5.1 Effets de l'expertise

Nos hypothèses sur les effets de l'expertise présupposaient trois spécificités des experts comparés aux novices, chacune sur l'attention globale/focale, sur les composantes de l'attention et sur l'anticipation-coïncidence.

2.5.1.1 Expertise et attention globale-locale

Tout d'abord les experts auraient une attention davantage globale et focale comparés aux novices (processus automatiques, Mallek (2019)). Nos résultats valident partiellement cette hypothèse. Nos résultats montrent des temps de réaction inférieurs en condition locale et un effet précédence globale inférieur et négatif chez les experts comparés aux novices. Nos

résultats peuvent s'expliquer par la capacité des experts à focaliser leur attention sur des éléments pertinents à la tâche réalisée (Abernethy, 1988 ; Williams & Davids, 1998). Cependant les processus d'attention locale impliquent une modification de processus automatique à un processus contrôlé pouvant influencer la performance réalisée (Lewis & Dawkins, 2015).

Seuls les novices présentent une différence entre les conditions locale et globale. En effet, leur TR est inférieur en condition globale comparée à la condition locale. Ces résultats sont en adéquation avec la littérature (Lux et al., 2008 ; Navon, 1977). Ces résultats traduisent l'effet global, c'est-à-dire le fait d'être plus rapides lors de processus globaux dus aux processus automatiques comparés aux processus locaux dus aux processus contrôlés. Cet effet n'est pas présent chez les experts. Nous pouvons émettre l'hypothèse qu'ils ne sont pas plus lents en condition locale qu'en condition globale due à une meilleure focalisation de l'attention chez les experts. En effet, les experts ont une meilleure attention sélective (Abernethy & Russell, 1987a) caractérisant les experts par leur capacité à sélectionner une information au détriment d'un autre (Abernethy, 1988 ; Williams & Davids, 1998). Leur performance décroît avec l'augmentation de la vision périphérique (Klatt & Smeeton, 2021). En condition réelle de pratique, la meilleure attention sélective des experts a pu se traduire par des comportements visuels spécifiques à partir de fixations sur des zones d'intérêt définies : *haut du corps*, la *raquette* de l'adversaire) ou *futur point d'impact du volant/raquette de l'adversaire* (Étude 1).

2.5.1.2 Expertise et composantes de l'attention

Les experts seraient moins efficaces sur les composantes de l'attention alerte et orientation et plus rapides sur la composante du contrôle exécutif que les novices (Lum et al., 2002 ; Meng et al., 2019). Nos résultats ne montrent aucune différence significative sur les composantes de l'attention selon le niveau d'expertise. Cependant, la valeur de la composante contrôle exécutif pour les experts est proche de 0 et l'effet alerte semble moins fort chez les experts. Ainsi, nous pourrions émettre l'hypothèse d'un possible contrôle et d'une absence de distraction des experts aux vues des valeurs obtenues, avec une précaution sur le fait que les résultats ne sont pas significatifs. Les résultats non significatifs sont contradictoires à la littérature (Meng et al., 2019 ; D. T. Smith & Schenk, 2012). En effet, D. T. Smith et Schenk (2012) ont montré un lien entre la planification motrice et l'orientation de l'attention. De plus, Meng et al. (2019) ont montré un

effet de l'expertise sur le réseau attentionnel par de meilleures performances (réponses rapides et justes). Cependant, ces mêmes auteurs ont montré que les joueurs de badminton n'avaient pas de capacité d'inhibition de l'action supérieure à des novices puisque l'activité badminton demandait d'être rapide, mais pas de retenir une intention d'action (Meng et al., 2019). Ainsi, nos résultats peuvent montrer une tendance des experts à focaliser leur attention sur la tâche à réaliser à partir des composantes contrôle exécutif et alerte de l'attention. Ces résultats peuvent être en adéquation avec les comportements visuels des joueurs experts caractérisés par des fixations sur des zones d'intérêt spécifiques tels que le volant, la raquette ou l'adversaire (Étude 1 et Étude 4).

2.5.1.3 Expertise et anticipation-coïncidence

Les experts répondraient plus rapidement comparés aux joueurs novices (Russo & Ottoboni, 2019 ; Williams et al., 2000). Nos résultats en laboratoire ne montrent aucune différence significative sur les TR d'anticipation selon le niveau d'expertise, contrairement aux TR en condition de pratique (Étude 1). Ces résultats sont en adéquation avec la littérature sur des TR simples (Mori et al., 2002) montrant une absence de différence dans la détection visuelle de signaux uniques décontextualisés. Cependant, Meng et al. (2019) ont montré que les joueurs experts de badminton étaient meilleurs en rapidité sensori-motrice simple ce qui est contraire à nos résultats. Ainsi, la littérature est controversée sur les TR lors de tâches simples.

Les experts se différencient des novices par des capacités attentionnelles plus importantes (Abernethy & Russell, 1987b ; Memmert, 2009 ; Williams & Grant, 1999). Nous avons montré une tendance des experts à développer une attention focalisée, ce qui a déjà été démontré dans la littérature par une focalisation sur des éléments pertinents (Abernethy, 1988 ; Williams & Davids, 1998), pouvant être dû à un meilleur contrôle exécutif et à un faible effet d'alerte lors de la réalisation d'une tâche. Ainsi, les experts seraient moins affectés par les éléments périphériques et donc moins perturbés dans la réalisation des tâches. Cependant, l'absence de résultats significatifs en fonction de l'expertise peut s'expliquer par des tâches décontextualisées du domaine sportif et spécifiquement du badminton. Ainsi, la supériorité des experts sur les novices dans des habiletés générales mesurées en laboratoire a été remise en question (Farrow & Abernethy, 2015 ; Alves et al., 2013 ; Spitz et al., 2018). Nos résultats sont en adéquation

avec cette hypothèse où les habiletés des sportifs de haut-niveau sont dépendantes du contexte (Étude 1).

2.5.2 Fatigue et protocole expérimental

L'absence de différence de résultats significatifs en fonction de la fatigue sur deux des trois tâches ordinateur proposées peut s'expliquer par le fait que si le protocole de badminton induit bien une fatigue (physique et mentale), cette dernière ne perdure pas jusqu'à la réalisation des tâches sur ordinateur. En effet, le %FCMax sur les tâches ordinateur post-protocole de fatigue (63,6 ± 8,9 %FCMax) est significativement différent du %FCMax lors du protocole de fatigue (92,7 ± 4,2 %FCMax), illustrant une diminution de l'intensité de l'exercice. De plus, la fatigue perçue à la fin des tâches sur ordinateur est significativement plus faible que la fatigue perçue après le protocole de badminton. Or, les mesures de fatigue perçue sont en lien étroit avec l'intensité de l'exercice (Alder et al., 2019 ; Foster et al., 2021 ; Van Cutsem et al., 2017). On peut donc remettre en question l'état de fatigue des participants au moment des tâches sur ordinateur. De plus, la performance en termes de temps de réaction sur les tâches proposées est dépendante d'un certain nombre de facteurs autres que la fatigue. Le facteur sémantique, c'est-à-dire la signification donnée à la scène joue un rôle déterminant dans l'orientation de l'attention (Henderson et al., 2018 ; Peacock et al., 2019). Si les tâches proposées sont décontextualisées, on peut supposer que la participation volontaire des novices peut impliquer des facteurs qui vont rééquilibrer les effets négatifs de la fatigue sur les temps de réaction. À partir du modèle cognitivo-énergétique de Sanders (1983), le lien entre les processus de traitement de l'information, l'énergie allouée (liée à l'éveil et à l'activation) et les processus exécutifs permet de comprendre l'impact de l'exercice sur les fonctions cognitives. Par exemple, les facteurs motivationnels et attentionnels peuvent impacter l'énergie allouée à la tâche et réguler les effets de la fatigue sur les temps mesurés (Makaruk et al., 2019). Ainsi, les effets de la fatigue sur les fonctions cognitives sont variables. Nos résultats ne montrent qu'un effet de la fatigue sur la condition locale. Les joueurs novices ont une attention locale plus importante due à un effort physique. Les autres composantes de l'attention et l'anticipation ne sont pas impactées par la fatigue. Ces résultats sont en adéquation avec les études effectuées sur le terrain montrant des effets variables de la fatigue sur l'anticipation et l'attention (M. J. Duncan et al.,

2015 ; Sant'Ana et al., 2013 ; van der Linden & Eling, 2006 ; Connell et al., 2016).

2.5.3 Effets de la fatigue

Notre seconde hypothèse supposait que la fatigue impacterait l'attention globale/focale, les composantes de l'attention, et l'anticipation-coïncidence. À notre connaissance, peu d'études se sont intéressées aux effets de la fatigue physique sur l'attention et l'anticipation lors de tâches cognitives sur ordinateur. De plus, les effets de la fatigue sur les fonctions cognitives sont divers et difficilement généralisables (Schapschröer et al., 2016).

2.5.3.1 Fatigue et attention globale-locale

La fatigue augmenterait les temps de réaction sur l'attention focalisée chez la population de novices. Nos résultats montrent bien un impact de la fatigue, mais dans le sens d'une diminution des temps en condition locale en post-protocole de fatigue comparé au pré-protocole de fatigue. De plus l'effet précédence globale diminue et devient négatif en post-protocole de fatigue. Ces résultats sont en adéquation avec la revue de littérature de Tomporowski (2003) qui explique que les performances cognitives sont meilleures (TR plus courts) pour des exercices intenses comparés au repos ou aux exercices de faible intensité. Le protocole de badminton proposé impliquait bien des exercices intenses puisque proches des sollicitations du badminton (Phomsoupha & Laffaye, 2015). Ces résultats montrent que l'effort induit une focalisation de l'attention sur la tâche à réaliser pouvant être expliquée par un phénomène d'adaptation. Cette focalisation pourrait traduire les modifications de recherches visuelles trouvées lors de l'étude 2, sur la même population de novices, notamment l'augmentation des durées de fixation sur la zone *vide avant le contact volant/raquette du participant*. Ce phénomène d'adaptation implique une volonté de maintenir une performance malgré la perturbation d'un certain nombre de mécanismes due à la fatigue. Ces résultats sont en adéquation avec l'absence d'impact de la fatigue sur la performance en condition de pratique de badminton (Étude 2 et Étude 3). Cependant nos résultats sur cette étude en laboratoire sont contradictoires au fait que le traitement des informations locales serait impacté par la fatigue de manière négative (van der Linden & Eling, 2006).

2.5.3.2 Fatigue et composantes de l'attention

La fatigue induirait des temps de réaction plus longs sur les composantes attentionnelles chez la population de novices, notamment sur l'alerte et le contrôle exécutif. Nos résultats ne montrent aucune différence significative sur les composantes de l'attention selon le niveau de fatigue. Moreira et al. (2021) ont montré que selon l'exercice considéré la fatigue n'impactait pas de la même manière les performances cognitives. En effet, un exercice aigu diminue les performances cognitives alors qu'un exercice chronique améliore notamment le contrôle attentionnel. Si la procédure expérimentale propose un exercice aigu, la population de novices recrutée est habituée à effectuer des exercices physiques (IPAQ, Craig et al. (2003)). Ainsi, on peut émettre l'hypothèse que l'activité physique hebdomadaire des novices implique une adaptation des mécanismes attentionnels et une régulation lors de nouvelles tâches comme celles proposées lors de cette étude. De plus, les résultats des comportements visuels en condition réelle de pratique (Étude 2) ont montré que les novices mettaient en place des comportements d'adaptation à la fatigue afin de maintenir leur performance sur la tâche réalisée. Connell et al. (2016) n'ont pas non plus révélé d'effet de la fatigue physique sur l'orientation de l'attention chez des participants actifs physiquement. Néanmoins, ils ont obtenu des temps de réaction plus importants liés à la fatigue. De même, Chang et al. (2015) ont montré, en situation de fatigue physique induite par un ergocycle, que les tâches d'alerte et de contrôle exécutif étaient négativement impactées.

2.5.3.3 Fatigue et anticipation-coïncidence

La fatigue augmenterait les temps de réaction sur l'anticipation coïncidence chez la population de novices. Nos résultats ne montrent aucune différence significative sur les temps de réaction d'anticipation selon le niveau de fatigue. Ces résultats sont en adéquation avec les résultats obtenus lors de l'étude 2 montrant l'absence d'impact de la fatigue sur les TR (chapitre Étude 2, section Résultats, page 155). De plus, dans la littérature, en condition réelle, Sant'Ana et al. (2013) montrent une absence d'effet de la fatigue. Les explications peuvent être doubles : (i) la fatigue induite sur les deux composantes du TR (composante pré-motrice et composante électromécanique) n'impacte pas le TR global (Le Mansec et al., 2018) ; (ii) le système nerveux central joue le rôle de régulateur des fonctions cognitives en cas de fatigue

permettant d'expliquer l'absence d'impact de la fatigue sur les TR (Halson, 2014 ; Luft et al., 2009 ; Luque-Casado et al., 2013).

2.6 Conclusion

L'objectif de cette cinquième étude était d'examiner l'effet de l'expertise en badminton sur la caractérisation de l'attention et sur le comportement d'anticipation des populations de sportif de haut niveau et de novices en condition de laboratoire. Le second objectif était d'évaluer les effets de la fatigue sur l'attention et l'anticipation chez une population de joueurs de badminton novices. Ainsi, nous pouvons conclure que l'expertise et la fatigue n'impactent que peu l'attention et l'anticipation lors de tâches sur ordinateur.En effet, seule l'attention en condition locale est impactée par l'expertise (TRmoyen et effet précédence globale plus faibles) et la fatigue (TRmoyen et effet précédence globale plus faibles). Cette étude permet d'effectuer un lien entre les résultats empiriques obtenus en condition réelle (Études 1 à 3) et les résultats empiriques issus de données théoriques obtenus en laboratoire (Étude 5). Les experts se caractérisent par une attention locale impliquant une focalisation sur la tâche et donc sur des zones d'intérêt précises (Études 1, 3 et 4). Ils seraient moins perturbés par des éléments en vision périphérique. Enfin, la fatigue n'impacte pas l'anticipation (Étude 2). Les tâches réalisées en condition de laboratoire peuvent être une base de connaissances supplémentaire sur le profil des joueurs recrutés dans le parcours de haut niveau. Ces tâches peuvent potentiellement servir d'entraînement notamment lorsque les conditions de pratique ne sont pas possibles (sportifs blessés, charges d'entraînement importantes). Cependant, certains résultats sur l'attention et l'anticipation en condition de laboratoire peuvent interrogés par rapport aux résultats obtenus en condition de terrain. Par exemple, l'importance de l'attention locale en post-protocole de fatigue sur les tâches sur ordinateur peut être contradictoire avec l'augmentation du nombre de fixations et la diminution des durées de fixation sur le terrain (Étude 2). Ainsi, les résultats confirment la difficulté des liens entre les lieux de mesures (en laboratoire *versus* in situ) ainsi que le type de mesure (général *versus* spécifique au sport).

Sixième partie

Discussion générale

Préambule

L'objectif de cette thèse était de mieux comprendre le jugement d'anticipation en badminton dans des conditions réelles de la pratique à partir de l'expertise et de la fatigue comme modèles exploratoires. Le jugement d'anticipation est déterminé par des comportements moteurs d'anticipation/réaction, des comportements de recherches visuelles, une attention visuelle et des connaissances (Figure 1). L'analyse de données en condition réelle de pratique (Hüttermann et al., 2018) a permis de conserver les aspects techniques et tactiques du jeu (O'Donoghue, 2005). En effet, lors de procédure expérimentale, la conservation du système perception-action de situations réelles est importante, notamment parce que ce système peut modifier les informations visuelles utilisées dans l'anticipation (Alder et al., 2019 ; Richardson et al., 2008). Ainsi, en proposant des réponses motrices naturelles en lien avec les stimuli visuels reçus (Études 1 à 4), nos résultats sur les comportements visuels au service de l'anticipation sont proches des conditions réelles de pratique. Les conditions proches de la pratique ont également permis d'effectuer des liens avec la performance réalisée et d'impliquer un facteur inhérent à cette pratique : la fatigue. Notre réflexion sur le jugement d'anticipation a été guidée par l'approche de la performance experte (partie Revue de littérature, chapitre Badminton, section Expertise et badminton, page 27,(Williams & Ericsson, 2005)). En effet, nous avons capturé la performance experte (étape 1) par des analyses de sets, de situations définies, et de tâches attentionnelles et d'anticipation. Nous avons ensuite identifié les mécanismes sous-jacents (étape 2) par les données oculomotrices et les entretiens post-expérimentations. L'intérêt était que le domaine d'expertise influence les jugements d'anticipation sur les trajectoires du volant, mais également les stratégies utilisées sur les informations cinématiques prélevées (Ida et al., 2013). Ainsi, nous avons des informations sur des joueurs dont le jeu est caractérisé par un renvoi dans le camp adverse (population novice) et sur des joueurs de haut-niveau qui cherchent à imposer leur jeu (population experte) (Dieu et al., 2014).

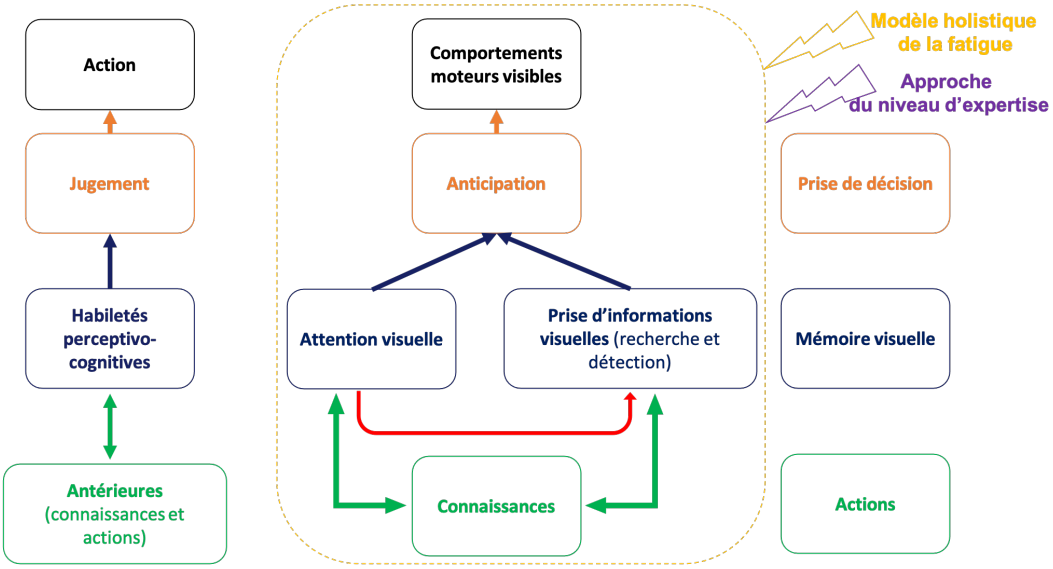


Figure 1 – Représentation schématique des variables étudiées dans ce projet de thèse à partir des liens entre les jugements, les habiletés perceptivo-cognitives et l'antériorité.

Dans une première partie, nous discuterons du jugement d'anticipation au travers de la performance. Dans une seconde partie, nous aborderons les effets de la fatigue sur le jugement d'anticipation. Au sein de chaque partie, nous allons mettre en perspective les résultats obtenus à chaque étude pour comprendre le jugement d'anticipation au travers de la performance puis de la fatigue. Ensuite, nous discuterons les déterminants du jugement d'anticipation au travers de la performance puis de la fatigue. Enfin, nos résultats et nos points de discussions nous amèneront à proposer des outils d'aide à l'entraînement afin d'améliorer ce jugement d'anticipation au service de la performance en badminton.

Chapitre 1

Le jugement d'anticipation au travers de la performance

1.1 Résultats principaux

1.1.1 Performance experte

Tout d'abord, nous nous interrogions sur la caractérisation du jugement d'anticipation à partir des comportements moteurs et visuels des joueurs de badminton au travers de l'expertise comme modèle exploratoire (Tableau 1.1). Ainsi, les experts répondent plus rapidement que les novices que cela soit pour répondre aux coups adverses (Étude 1) ou pour répondre à des stimuli localisés (Étude 5). Leurs comportements visuels sont caractérisés par de longues durées de fixations, des nombres de fixations et de changements de regard plus importants que les novices (Étude 1). La zone d'intérêt la plus regardée est le *volant* pour les deux populations avec une focalisation sur trois zones pour les novices (*volant*, *anticipation*, *haut du corps de l'adversaire*) et plusieurs zones pour les experts (*volant*, zones *vides après contact volant/raquette de l'adversaire et du joueur*, *haut du corps de l'adversaire*, *raquette* et *anticipation*) (Études 1 et 4). Ces comportements visuels distincts montrent qu'il y a plusieurs zones d'intérêt pertinentes pour prélever l'information. Les experts sont davantage focalisés et moins perturbés par des éléments périphériques (Étude 5). Les durées de fixations sont plus importantes pour cinq zones d'intérêt : zone *vide d'anticipation*, *haut du corps* et *raquette de l'adversaire*, *volant* et *ligne* (Étude 1). Les nombres de fixations sont plus petits pour six zones d'intérêt : *bas*, *haut du corps* et *raquette de*

l'adversaire, *vides avant et après le contact volant/raquette du joueur* et *ligne* (Étude 1). Ainsi, par zone d'intérêt, les experts fixent plus longtemps, mais moins souvent. L'attention visuelle des joueurs novices reflète l'effet global de l'attention visuelle (rapidité des processus globaux due aux processus automatiques)(Étude 5). L'anticipation experte est également caractérisée par les connaissances du jeu adverse et l'adaptation des comportements visuels et moteurs à cet adversaire (Étude 4).

Tableau 1.1 – Tableau récapitulatif des effets de l'expertise sur les déterminants du jugement d'anticipation.

Déterminants	Novices	Experts
Comportements moteurs d'anticipation/réaction	Peu rapide	Rapide
Comportements visuels	Courte DF Faible NF Faible NC	Longue DF Important NF Important NC
Caractérisation de l'attention	Attention globale	Attention locale
Connaissances	NA	Sur le jeu adverse

DF : durée de fixation ; NF : nombre de fixations ; NC : nombre de changements de regard ; NA : non applicable

À partir de nos résultats, nous faisons une proposition de représentation du jugement d'anticipation du joueur en badminton à partir des quatre déterminants du jugement d'anticipation analysés (Figure 1.1).

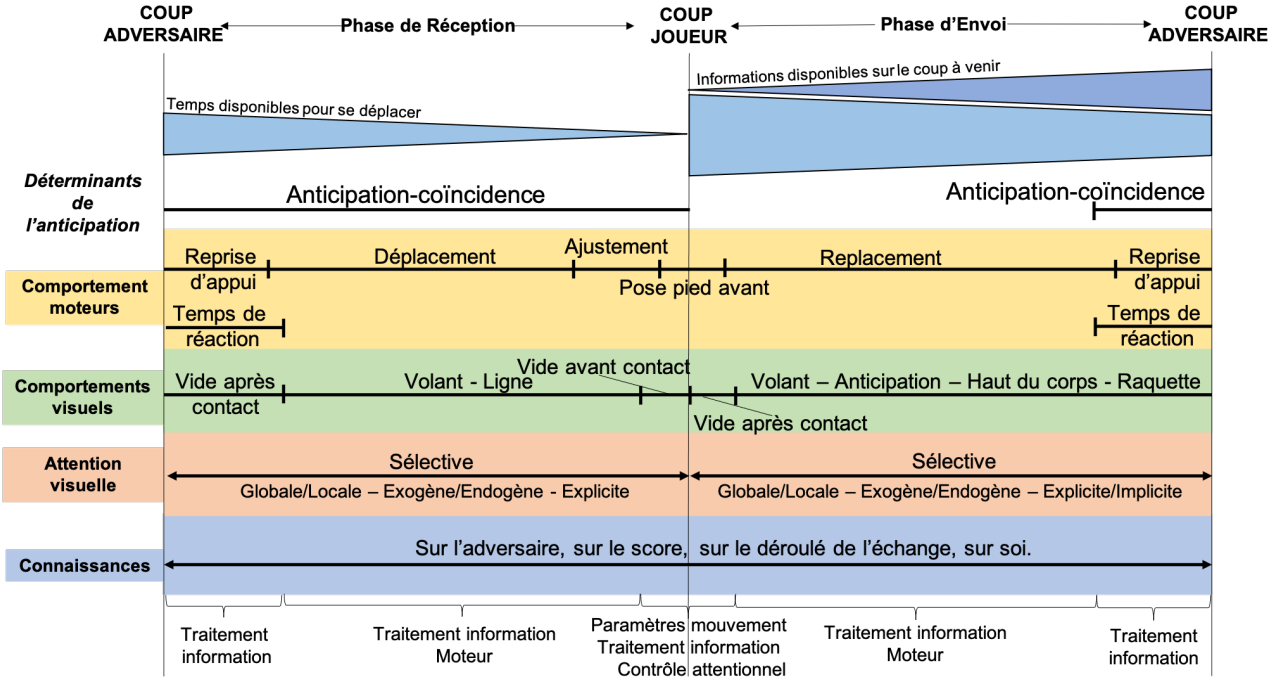


Figure 1.1 – Proposition de modélisation du jugement d'anticipation en badminton lors d'un échange à partir de quatre déterminants.

Le jugement d'anticipation est un facteur de performance (Phomsoupha & Laffaye, 2015). Après avoir vu le jugement d'anticipation au travers des niveaux d'expertise, nous allons définir le jugement d'anticipation en fonction de la performance réalisée.

1.1.2 Performance réalisée

Nous souhaitions mettre en lumière le ou les liens entre le jugement d'anticipation, la fatigue et la performance (Tableau 1.2). Nous n'avons montré aucun lien entre la fatigue et la performance (Études 1 et 4). Par contre, nous avons montré des liens entre le jugement d'anticipation à travers ses déterminants (comportements moteurs, visuels et attention visuelle) et la performance réalisée (séquences, points, coups).

1.1.2.1 Performance et comportements moteurs

La performance est indépendante des comportements moteurs, notamment des temps de réaction. En effet, la performance en termes de gain (points) ou de réussite (coups) n'est pas en lien avec des temps de réaction plus rapides ou plus longs en condition de pratique de sets de badminton. Seuls des temps de réaction plus courts sont associés à des coups réussis en situation de rapport de force défensif ce qui représente une situation contrôlée définie (Étude 4).

1.1.2.2 Performance et comportements visuels

Performance en termes de points gagnés ; perdus

Pour gagner des points, les experts fixent moins de zones par échange, fixent moins les zones *vides avant et après le contact volant/raquette du joueur et de l'adversaire* et fixent plus le *bas du corps de l'adversaire* (Étude 1). Pour réussir des séquences défensives, les experts passent moins de temps à fixer le *volant*, et continuent de fixer les zones *vides après le contact volant/raquette de l'adversaire*, *avant le contact volant/raquette du joueur*, le *haut du corps de l'adversaire*, la *raquette* et la zone *anticipation* (Étude 4). Les comportements visuels des novices ne montrent pas de différence entre les points gagnés et les points perdus traduisant l'absence de stratégies pour mettre en place un point (Étude 1).

Performance en termes de coups réussis ; ratés

Pour réussir des coups, les experts fixent plus longtemps la *raquette de l'adversaire* et moins longtemps la zone *anticipation* et effectuent plus de fixations sur des zones différentes par échange (Étude 1 et Étude 4). De plus, ils fixent davantage les zones *haut du corps* et *raquette de l'adversaire* et *vide après le contact volant/raquette du joueur* (Étude 1 et Étude 4) ainsi que la zone *anticipation* et *volant* (Étude 4) et moins les zones *vide après le contact volant/raquette de l'adversaire* et *ligne* (Étude 1). Pour réussir des coups, les novices ont deux comportements caractéristiques : ils fixent moins de zones différentes par échange et ils fixent plus souvent le *haut du corps de l'adversaire*.

Tableau 1.2 – Tableau récapitulatif des effets de la performance réussie (point ; coup) et de l'expertise sur les quatre déterminants du jugement d'anticipation.

PERFORMANCE	**GAIN DE POINT**	**RÉUSSITE DE COUP**
Déterminants	**Population Novices**	
Comportements moteurs d'anticipation/réaction	Pas de comportement spécifique	Pas de comportement spécifique
Comportements visuels	Pas de comportement spécifique	NF − NF haut du corps +
Caractérisation de l'attention	NA	NA
Connaissances	NA	NA
Déterminants	**Population Experts**	
Comportements moteurs d'anticipation/réaction	Pas de comportement spécifique	Pas de comportement spécifique
Comportements visuels	NF − NF vides avant et après le contact volant/raquette du joueur et de l'adversaire − NF bas du corps +	DF raquette + DF Anticipation − NF + NF haut du corps, raquette, vide après le contact volant/raquette du joueur + NF vide après le contact volant/raquette de l'adversaire et ligne −
Caractérisation de l'attention	NA	NA
Connaissances	NA	NA

DF : durée de fixation ; NF : nombre de fixations ; NC : nombre de changements de regard ; NA : non applicable
Les résultats présentent le gain de points comparé à la perte de points, et la réussite de coups comparée à des coups ratés.

Cette partie sur les résultats obtenus lors des cinq études réalisées sur le jugement

d'anticipation au travers de la performance (experte et réalisée) nous permet d'amener des points de discussion sur les déterminants du jugement à partir des deux types de comportements analysés : les comportements moteurs et les comportements visuels.

1.2 Déterminants du jugement d'anticipation

1.2.1 Comportements moteurs

Les comportements moteurs ont été définis à partir du temps de réaction, du délai de reprise d'appui et du délai de pose de pied avant au sol. Nous allons revenir sur un lien majeur effectué dans la littérature entre temps de réaction et anticipation.

1.2.1.1 Temps de réaction et anticipation

Les temps de réaction moyens obtenus sont positifs pour les deux populations recrutées. Cependant, ces temps de réaction ont été moyennés et pouvaient donc être positifs ou négatifs selon l'échange considéré. Le premier mouvement du participant pouvait donc être effectué avant (temps négatif) ou après (temps positif) le contact volant/raquette de l'adversaire. Ainsi, les joueurs, qu'ils soient novices ou experts, ne semblent pas anticiper de manière générale si l'on se réfère au modèle proposé par van der Kamp et al. (2008). Adapté au badminton, ce modèle définit l'anticipation comme le délai entre l'initiation du mouvement du joueur et le moment du contact volant/raquette de l'adversaire. Dans la littérature en sciences du sport, ces temps ont été nommés temps de réponse (Alder & Broadbent, 2017 ; Triolet et al., 2013). D'après la littérature en tennis, Triolet et al. (2013) estiment que l'ensemble des temps inférieurs à 160 ms après le contact balle/raquette sont des comportements d'anticipation, car les réponses ne sont pas correctes à 100 %. Cette proposition a conduit Alder et Broadbent (2017) à estimer que seuls un ou deux coups par échange nécessitaient des comportements d'anticipation en badminton. Ces résultats nous amènent à envisager de déterminer un temps d'anticipation spécifique au badminton à partir de la méthodologie d'analyse vidéo effectuée par Triolet et al. (2013) et non transférable entre les sports de raquette. En effet, Ak et Koçak (2010) ont montré une différence de temps de réaction selon le sport considéré (tennis de table et tennis). De plus, si l'on s'intéresse à l'anticipation-coïncidence et donc à la capacité à intercepter le

volant, l'analyse des comportements d'anticipation et de réaction a toute son importance. Les comportements moteurs d'anticipation/réaction analysés montrent le dilemme des joueurs dans la pratique du badminton : trouver un équilibre entre les bénéfices de l'anticipation et le coût d'une mauvaise anticipation (Alder & Broadbent, 2017).

Cependant, la méthodologie employée dans les études de ce projet de thèse ainsi que par Triolet et al. (2013) envisage l'analyse de l'anticipation à partir des temps de réaction/réponse au cours des échanges. Néanmoins,les joueurs prennent de l'information en continu à partir des comportements moteurs, visuels, attentionnels et de leurs connaissances impliquant également des comportements moteurs continus pour répondre aux coups adverses. Cette méthode implique une difficulté à définir le temps de réaction/réponse à partir de l'initiation du mouvement du joueur. La majorité des études analyse l'anticipation à partir d'une posture statique des joueurs et une absence d'information contextuelle en amont du coup adverse (p. ex. analyse du service, Alder et al. (2014) ; Roberts et al. (2019)) facilitant la mesure du temps de réaction. Ainsi, la difficulté à définir le temps de réaction/réponse en sport dans un contexte dynamique proche des conditions réelles de pratique interroge le lien direct entre temps de réaction et jugement d'anticipation. Au-delà d'une définition expérimentale à partir du temps de réaction, le jugement d'anticipation est également déterminé par les comportements visuels des joueurs. Ainsi, les comportements visuels sont différents selon les niveaux d'expertise.

1.2.2 Comportements visuels

1.2.2.1 Comportements visuels et zones d'intérêt

Zone d'intérêt et expertise

Les zones d'intérêt fixées impliquent des processus neuronaux à partir des voies visuelles ventrale et dorsale. En effet, la prise d'informations sur l'adversaire, sur sa raquette ou sur le volant permet une identification des zones (voie ventrale) et une détection des mouvements de ces zones (voie dorsale) afin d'avoir une image précise des actions en cours. Cette image est au service d'une action motrice adaptée. L'expertise permet d'identifier les zones d'intérêt au service de l'action impliquant une représentation plus détaillée de la situation (Williams et al., 2000). Les stimulations neuronales en réponse à des stimuli visuels correspondent à des représentations transitoires puisqu'elles se terminent dès que la cible disparaît ou que les yeux changent de cible.

Elles sont constamment mises à jour. Nos résultats montrent principalement des informations prélevées sur l'adversaire et des informations sur la trajectoire du volant lors des phases de réception du volant. Ces stratégies visuelles sont en adéquation avec les comportements visuels des experts proposés par Martell et Vickers (2004) : (i) fixation courte et précoce sur une localisation pertinente (ii) dernière fixation longue avant l'initiation du mouvement. Nos résultats obtenus sur le type d'informations cinématiques prélevées coïncident avec le modèle de l'expertise en sport de frappe montrant un continuum dans la prise d'informations visuelles (Müller & Abernethy, 2012) : les informations sont d'abord prélevées sur l'adversaire puis sur la trajectoire de l'objet. Pour rappel, les premières informations (sur l'adversaire) servent à guider globalement la position du corps. En badminton, elles permettent d'informer sur la direction du déplacement sur le terrain de badminton. Les secondes informations (sur l'objet) guident et affinent l'interception. En badminton, elles peuvent par exemple informer sur la hauteur du saut pour permettre le contact volant/raquette. De plus, ces informations sur l'adversaire et le volant sont au service de l'anticipation. En effet, Williams et al. (2000) définissent deux types d'informations nécessaires dans les actions d'interception : les informations d'anticipation du récepteur et les informations sur la temporalité d'initiation du mouvement. Les informations d'anticipation du récepteur impliquent la prise en compte des variables distance, vitesse et taille pendant le vol. Nos résultats ont montré que le volant était la zone d'intérêt majoritairement regardé que cela soit pour les experts et pour les novices, d'autant plus en phase de réception. Cette centration sur le volant s'explique par un contrôle visuel continu lors de l'interception de balle (Postma et al., 2014), dans notre cas l'interception d'un volant. Le traitement à partir des recherches visuelles est facilité lorsque la cible est connue en avance (Glavan et al., 2020). En effet, les zones fixées ne sont pas aléatoires quel que soit le niveau des joueurs et sont définies à partir des connaissances des joueurs sur le jeu. La cible reste le volant pouvant expliquer l'intérêt en termes de durée et de nombre de fixation sur cette zone.

Zones vides et temps de *quiet-eye*

Concernant les zones *vides avant et après le point d'impact du joueur*, nous avons notamment évoqué la notion de temps de *quiet eye* dans les discussions par étude. Nous sommes conscients qu'il n'est pas possible d'associer directement ces deux zones vides à la notion scientifique de temps de *quiet eye*, notamment parce que la définition de l'angle de 3° de l'angle visuel

(ou moins) n'a pas orienté nos zones d'intérêt (Vickers et al., 2017). Pour rappel, le temps de *quiet eye* est la dernière fixation ou dernière poursuite sur une localisation spécifique avec une variation du point de fixation de moins de 3° pour un temps minimum de 100 ms se produisant avant le mouvement final d'une tâche. Cependant, cette littérature apporte des notions pertinentes pouvant expliquer les résultats obtenus. Nos résultats montrent des fixations sur ces deux zones vides (zones d'intérêt *vides avant et après le contact volant/raquette du joueur*). La littérature nous permet d'expliquer les processus engagés pendant ces fixations. En effet, le temps de *quiet eye* permettrait l'optimisation de certains processus cognitifs comme le traitement de l'information, le paramètre du mouvement et le contrôle attentionnel (Klostermann et al., 2019). Ainsi, pendant la fixation avant le contact volant/raquette, nous émettons l'hypothèse que les joueurs étaient sur les dernières phases de traitement de l'information sur le vol du volant leur permettant d'affiner leur geste moteur. Les fixations après le contact volant/raquette du joueur n'impliquent aucune prise d'information sur un objet de l'environnement et invitent donc à émettre l'hypothèse que les joueurs effectuent un contrôle des processus moteurs à ce moment-là. Le contact a déjà eu lieu, mais leur geste moteur est en cours de finalisation pour pouvoir poursuivre sur l'échange suivant. Cette littérature sur le temps de *quiet eye*, spécifiquement sur le temps avant le contact pourrait être à envisager dans un projet futur en incluant cette fixation comme une zone d'intérêt à partir de sa définition de durée et d'angle visuel afin d'envisager son lien avec le jugement d'anticipation en badminton.

1.2.2.2 Comportements visuels et attention

Les zones d'intérêt fixées amènent une réflexion sur le lieu de la prise d'informations visuelles possible à partir de l'orientation de l'attention. En effet, Vater et al. (2019) ont proposé trois types de comportements visuels (pivot visuel, fixation fovéale, ancrage visuel) à partir des lieux de fixation. Cette proposition nous a permis d'effectuer un lien entre zone d'intérêt et attention au regard de nos résultats. Les zones définies comme la raquette de l'adversaire ou le volant peuvent être liées à une attention focalisée sur ces zones c'est-à-dire à une prise d'informations à ce niveau. En effet, l'orientation du tamis de la raquette peut informer le joueur sur le coup réalisé. Des fixations sur le volant donnent des informations sur sa direction, sa distance et sa vitesse de déplacement permettant au joueur de s'adapter en conséquence afin de l'intercepter.

De plus, nos résultats ont montré une vision localisée des experts (Étude 5) associés à des processus permettant des informations détaillées (Vater et al., 2019). De manière plus nuancée, la zone d'intérêt anticipation du futur point d'impact du volant/raquette de l'adversaire ou les zones d'intérêt sur l'adversaire peuvent être associées à une vision davantage globale. Cette vision globale implique une prise d'information périphérique afin d'optimiser les lieux de regard par la réduction du coût des saccades. Le paradigme de prévisualisation extrafovéale conforte l'idée d'éléments en vision périphérique qui interpellent et seront placés en vision fovéale pour être traités (Huber-Huber et al., 2021). Cette prévisualisation participe aux processus prédictifs de la perception visuelle. Pour le moment, des questions subsistent sur le type d'information traitée en prévisualisation ainsi que les facteurs ascendants et descendants influençant le passage en vision fovéale (attention, tâche, contraste, densité...). Dans le cadre sportif, les éléments de la scène sont connus et les processus de prévisualisation et de vision fovéale peuvent être analysés différemment puisque comme nous l'avons montré les experts ont développé des stratégies visuelles avec l'expérience. Cependant, nos mesures uniquement en vision fovéale ne peuvent nous permettre d'étayer les résultats sur le type d'information traitée en vision extrafovéale malgré une dissociation des comportements visuels proposés : un comportement avec peu de fixations de longue durée correspondrait à une vision centrale/fovéale impliquant des processus permettant des informations détaillées ; un comportement avec davantage de fixations de courtes durées correspondrait à une vision périphérique impliquant des comportements de recherches analytiques (Vater et al., 2019). La différence de durée de fixations obtenue entre les experts et les novices (Étude 1) nous invite à penser que les experts ont une vision davantage fovéale. Cette vision se caractérise par de longues durées de fixations, afin de prélever des informations précises sur les zones d'intérêt fixées (p. ex. l'orientation de la raquette ou de l'adversaire). Ces résultats ont également été démontrés lors de tâche attentionnelle en laboratoire (Étude 5).
Les zones fixées diffèrent entre les niveaux d'expertise. On peut donc émettre l'hypothèse qu'au vu des comportements visuels obtenus dans nos études, l'attention sélective diffère selon les niveaux d'expertise. Cette attention sélective se traduit par une carte de l'environnement attentionnel dynamique dans le modèle révisé de la recherche visuelle (Wolfe, 2021). L'attention permet de sélectionner les éléments de l'environnement et s'effectue à partir de cinq sources d'informations : les caractéristiques des cibles (volant, adversaire), une expérience des recherches

précédentes, une valeur attribuée à certaines caractéristiques de cible, une sémantique et une syntaxe attribuées à la scène. Ces sources sont associées afin de produire une carte prioritaire, un environnement attentionnel dynamique. L'attention sélective est orientée vers la localisation la plus active sur cette carte. Les informations en mémoire (expérience des recherches précédentes, sémantique de la scène) permettent d'influencer cet environnement attentionnel. Ainsi, les informations situationnelles ont une importance dans la prise d'informations visuelles et l'attention. Nous avons montré que les connaissances des experts sur leur adversaire influençaient leur jeu. En effet, ils adaptent leurs comportements au style de jeu de l'adversaire, à ses coups forts ou faibles et à ses qualités physiques et/ou techniques. Ces résultats sont en adéquation avec l'ajout des informations contextuelles aux premières informations prélevées permettant de guider globalement la position du corps dans le modèle de l'anticipation experte en sport de frappe (Müller & Abernethy, 2012). Cependant le poids des informations contextuelles dans l'anticipation n'a pas été analysé ni comparé à la population de joueurs novices. Ainsi, une perspective d'analyse de ce déterminant du jugement d'anticipation serait d'analyser en condition de pratique l'influence des connaissances de différents niveaux d'expertise en manipulant les situations proposées (répétition d'une attaque préférentielle à intervalle régulier comme cela a pu être proposé en taekwondo par Milazzo et al. (2015) et en volleyball par Lüders et al. (2020)).

Dans une autre perspective, Azémar (2016) développe l'idée de dominance oculaire fonctionnelle. Elle se définit comme la prévalence fonctionnelle d'un œil provoquant une asymétrie dans les processus attentionnels spatiaux. Cette prévalence provoque une référence égocentrique notamment pour viser. Cette dominance fonctionnelle impacte l'ensemble du corps. Par exemple, les sportifs organisent leur posture pour frapper le volant à partir d'un repérage spatial et d'une perception de la distance rendus possibles par l'œil dominant. Ainsi, l'œil dominant et l'attention visuelle sont étroitement liés et influencent les entrées sensorielles visuelles. Il existe également un lien entre la latéralité oculaire et la latéralité manuelle. Les participants sont plus rapides avec la main controlatérale à leur latéralité oculaire. Ainsi des joueurs droitiers à dominance oculaire gauche seraient plus rapides avec leur main préférentielle. Le questionnaire de latéralité d'Oldfield (1971) pose une question sur l'œil utilisé pour viser. Nous n'avons pas exploité cette donnée en première intention. Il pourrait être intéressant à

l'avenir de prendre en compte cette dominance oculaire fonctionnelle sur la prise d'informations visuelles au service de la performance puisqu'elle impacte l'ensemble du système perception-action.

La prise d'informations visuelles peut donc se définir à partir des comportements visuels sur des zones d'intérêt (durée et nombre de fixations) et de l'orientation de l'attention. De manière expérimentale, à partir de l'analyse de fixations, nous avons obtenu des informations sur les zones pertinentes fixées et le temps passé à les fixer. Cependant, un processus dynamique comme la prise d'informations visuelles en condition de pratique amène un point de discussion sur la temporalité des comportements visuels.

1.2.2.3 Comportements visuels et patterns visuels

L'ajout de la temporalité des fixations à partir du lien entre les zones d'intérêt et les saccades permettrait de comprendre le balayage oculaire lors des recherches visuelles et évaluer le lien entre ces patterns et la performance et/ou la fatigue (Poole & Ball, 2006). Le balayage oculaire (pattern visuel) informerait sur le déplacement de l'attention d'une fixation à l'autre et sur la stratégie pour prendre une décision plutôt qu'une autre (Fortin-Guichard, 2021). Ainsi, la notion de patterns visuels semble être une perspective intéressante dans l'analyse des comportements visuels. Martínez de Quel et Bennett (2019) ont représenté des patterns en sport de combat à partir du temps de fixation (grosseur du rond de chaque zone d'intérêt) et de la fréquence des saccades (grosseur des flèches entre les zones d'intérêt). En basket-ball, l'analyse de situation 3 contre 3 chez des joueuses a permis de caractériser les comportements visuels d'expertes (van Maarseveen, Savelsbergh, & Oudejans, 2018). En tennis, Rosker et Majcen Rosker (2021) ont présenté l'analyse de retour de service en condition réelle de pratique à partir de cartes thermiques des fixations selon trois niveaux de performance (retour tactique réussi, retour tactique raté et erreur) et deux niveaux d'expertise (national ; international). Les auteurs ont notamment montré que les joueurs internationaux anticipaient le mouvement à partir de la main qui lance la balle. Ils ont également mis en lumière l'importance des premières phases du service pour la performance du retour de service chez les joueurs internationaux avec des fixations sur le mouvement de la main qui lance la balle. La littérature sur les comportements visuels montre donc l'intérêt d'une analyse temporelle pour une meilleure compréhension de

la performance. Cependant, la performance implique à la fois des comportements visuels et à la fois des comportements moteurs, tous les deux déterminants du jugement d'anticipation. À partir des analyses distinctes effectuées précédemment, il semble important de discuter le lien entre ces comportements au service du jugement d'anticipation.

1.3 Lien entre les comportements moteurs et les comportements visuels

1.3.1 Liens perception-action au regard de l'expertise

Nos résultats montrent des temps de réaction plus courts chez les experts comparés aux novices lors d'échanges en situation proche des conditions réelles de pratique. Nous pouvons expliquer les temps de réaction plus rapides des experts par un faible délai visio-moteur (Le Runigo et al., 2010). Ainsi, l'expertise se caractérise par le couplage rapide entre l'information et le mouvement. Ces résultats confortent notre approche de l'anticipation à partir des comportements moteurs (temps de réaction, reprise d'appui, pose de pied avant) et des comportements visuels (durée et nombre de fixations). Le temps de réaction implique l'identification des stimuli, la sélection de la réponse, et la programmation de la réponse (Czyż, 2021). Chacune des différentes étapes peut impliquer de l'expertise et nous ne pouvons dissocier les étapes malgré une centration sur l'identification des stimuli. Ce couplage rapide entre l'information et l'action peut s'expliquer par les connaissances antérieures des experts. En effet, selon les théories cognitivistes, l'apprentissage s'effectue par l'expérience où la mise en mémoire des connaissances permettra des rappels lors des prochaines situations. L'objectif est de réduire le coût attentionnel dans la réalisation motrice par l'automatisme à partir de différentes tâches (double tâche, tâche découpée, instruction adaptée). L'automatisme est le fruit d'un développement et d'un accès à une importante base de connaissances spécifiques à la tâche. La théorie du codage commun (Prinz, 1997) montre que les expériences antérieures permettent d'activer des représentations motrices, sensorielles et spatiales de l'action perçue afin d'effectuer une réponse motrice. Ces représentations et prédictions des futurs coups réalisés sont dépendantes du vécu du joueur. Ces activations partagées nous permettent d'expliquer des coups plus variés, des comportements visuels différents et des comportements moteurs plus rapides

chez les joueurs experts comparés aux joueurs novices. Ainsi, à partir de leurs expériences, les joueurs experts ont créé des liens entre des postures (placement de l'adversaire et de sa raquette) et des coups techniques possibles leur permettant d'activer des représentations sensorielles, spatiales et motrices au service d'une réponse plus rapide et efficiente. On voit l'intérêt de la confrontation à des expériences variées dans la construction et l'exploitation des représentations perceptives et motrices partagées en situation de pratique. Cette théorie du codage commun peut permettre de comprendre la rapidité et la justesse des experts dans la reconnaissance de pattern de jeu, dans la détection et la localisation d'objet pertinent, dans l'anticipation des actions adverses à partir de signaux visuels précoces (stade perceptif de Sanders (1990) ; Williams et al. (2000)).

Ainsi, l'habileté d'interception est basée sur la capacité de détection et d'interprétation des informations visuelles à partir de modèle interne issues des expériences antérieures (Williams et al., 2000). Cette habileté est dépendante de l'expérience acquise dans diverses situations à la fois principalement en badminton pour notre population experte, mais également dans d'autres expériences sportives pour la population de novices. Ces liens entre les informations de l'environnement et les informations présentes en mémoire impliquent des activations neuronales au niveau des aires préfrontales, de la zone temporale supérieure médiale et du champ oculaire frontal (Montagnini et al., 2015). En effet, la capacité des experts à répondre plus rapidement a été associée à des connexions et activations neuronales selon le niveau d'expertise (Simonet et al., 2019 ; D. M. Smith, 2016). Lu et al. (2019) ont montré que des joueurs experts en tennis de table ont une activité corticale caractéristique juste avant le contact balle/raquette et lors de la trajectoire de la balle. Spécifiquement en badminton, Xu et al. (2016) ont demandé à des joueurs experts et novices d'anticiper le lieu d'arrivée du volant à partir de vidéos de match. Les résultats ont montré une activation plus importante du cortex gauche médio-frontal et une meilleure connexion fonctionnelle entre ce cortex et les autres parties du cerveau chez les experts. L'approche neurophysiologique pourrait être une perspective intéressante à ce travail de thèse pour une analyse systémique de l'anticipation experte. Cependant, ces études mériteraient d'être effectuées au plus proche de la pratique. Malgré une évolution du matériel permettant des mesures sur le terrain (e.g., EEG mobile ANT-Neuro eegoTMsports), des conditions plus contrôlées seraient à envisager. De plus, il est intéressant de noter que le codage des évènements

se fait à partir d'informations de l'environnement de l'ensemble des systèmes sensoriels et moteurs. Nous nous sommes uniquement intéressés au système perception visuelle-action qui peut sembler réducteur au regard de la théorie globale. En effet, lors de la pratique sportive, d'autres parties du corps sont en mouvement et d'autres sens permettent l'intégration des informations (S. H. Park et al., 2016) au service de la réalisation motrice. Ainsi, les yeux, la tête et le corps sont en mouvement et s'influencent mutuellement dans l'intégration des informations (Kishita et al., 2020 ; Sidenmark & Gellersen, 2020).

La compréhension du jugement d'anticipation chez l'expert à partir des liens entre les comportements moteurs, visuels et les connaissances antérieures permet de déterminer les processus impliqués dans le développement de l'expertise. Cette dernière implique des comportements moteurs en réaction et des comportements visuels majoritairement focalisés sur le volant. Ce constat nous invite à discuter la coordination entre les comportements moteurs et visuels notamment en lien avec la trajectoire du volant.

1.3.2 Liens perception-action à partir de la trajectoire du volant

La nécessité de fixer le volant peut induire une vision focalisée et des mouvements de réaction, au détriment de mouvements d'anticipation au coup adverse. Les trajectoires du volant pouvaient influencer les comportements visuo-moteurs des joueurs (Sarpeshkar et al., 2017). La trajectoire du volant implique à la fois sa direction : vers la droite ou la gauche sur le demi-terrain adverse et sa profondeur : vers l'avant ou le fond de court du demi-terrain adverse. En s'intéressant à la trajectoire du volant, on peut interroger le lien entre les comportements moteurs réalisés et les comportements visuels relatifs à la trajectoire. Les comportements visuels induisent l'activation des cortex visuels primaire et médio-temporal dans l'évaluation des directions et vitesses des objets (Montagnini et al., 2015). Parmi les comportements moteurs analysés en amont de l'initiation du mouvement volontaire, nous avons pris en compte les temps de réaction et les délais du contact volant/raquette de l'adversaire et de la reprise d'appui au sol. La reprise d'appui peut se définir comme un sursaut où les deux pieds ne sont pas en contact avec le sol. Nous avons retenu cette variable temporelle, car elle est décrite par les entraîneurs comme un reflet du niveau d'expertise et un facteur de performance. Ce sursaut permet d'orienter les appuis et d'augmenter la vitesse de déplacement (Slawinski et al., 2017). En effet, en sport de

raquette, la reprise d'appui permet d'améliorer l'efficacité du mouvement (Elliott et al., 2003). Les novices effectuent peu de reprises d'appui ne permettant pas d'envisager ce délai comme utile au jugement d'anticipation. A l'inverse, les experts effectuent une reprise d'appui presque systématiquement. La reprise d'appui permet aux joueurs d'être plus rapides que des débutants (Cross & Pollard, 2011 ; Slawinski et al., 2017). L'analyse du déroulé temporel des échanges à partir des vidéos caméscope montre que le joueur se replace face au jeu après sa propre frappe, effectue une reprise d'appui puis se déplace vers le futur lieu d'arrivée du volant adverse. La reprise d'appui est majoritairement initiée avant que le joueur adverse frappe le volant. Les résultats obtenus montrent des délais de reprise d'appui inférieurs aux temps de réaction pouvant impliquer un traitement de l'information pendant la reprise d'appui. Le temps de réaction était suivi d'un déplacement moteur volontaire vers le futur point d'impact du volant. Si l'on dissocie les notions de direction et de profondeur de la trajectoire du volant, il semblerait que ce temps de réaction corresponde à un traitement de l'information sur la profondeur du volant. Nous émettons donc l'hypothèse qu'après un replacement du joueur dans le sens du jeu, la reprise d'appui participerait à ce replacement, mais également à l'orientation des appuis vers la future direction du volant suite au coup adverse (Figure 1.2). Ainsi, lors des phases de replacement, de reprise d'appui et d'initiation du mouvement (temps de réaction), nos résultats montrent que les joueurs prélèvent majoritairement des informations sur le *volant*, la zone *anticipation*, le *haut du corps* et la *raquette* de l'adversaire. Ces informations seraient au service d'une analyse du futur coup en termes de profondeur et de direction. Une fois le coup adverse effectué, les comportements moteurs sont essentiellement des déplacements et des ajustements à partir de comportements visuels orientés sur le volant. Ces comportements moteurs et visuels sont au service de la profondeur du volant. Murphy et al. (2018) ont montré que les informations disponibles sur l'adversaire sont essentielles pour juger de la direction d'un coup en tennis. Abernethy et al. (2007) montraient que les experts utilisaient les informations cinématiques de manière précoce (pré contact) sur le bas du corps et sur la raquette pour anticiper des coups croisés ou tout droit en badminton chez des joueurs de deux niveaux d'expertise. De nouveau, la direction d'un coup est jugée essentiellement à partir des informations sur l'adversaire. Cependant, à notre connaissance le lien entre comportements visuels, moteurs et trajectoire (direction et profondeur) en sport de raquette n'a pas été étudié. Ainsi, une future étude

dissociant les notions de direction et de profondeur du volant pourrait nous permettre d'affiner le modèle du jugement d'anticipation proposé à partir des comportements moteurs (mesure au début de la reprise d'appui), des comportements visuels et d'entretien d'auto confrontation sur le type et la temporalité des informations prélevées. La mise en place d'une situation contrôlée afin de faire varier une seule variable de la trajectoire (direction ou profondeur) semble plus propice pour répondre à cette nouvelle question.

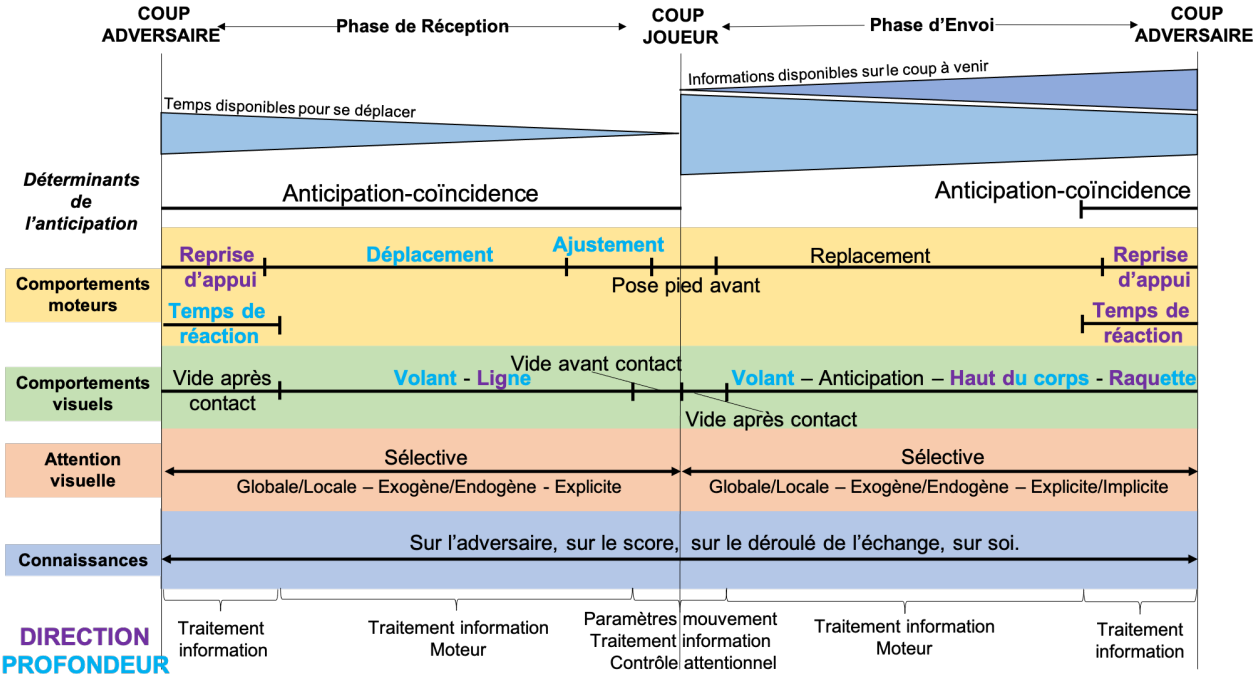


Figure 1.2 – Complément à la proposition de modélisation du jugement d'anticipation en badminton lors d'un échange à partir de quatre déterminants : analyse de la trajectoire du volant.

À partir des déterminants du jugement d'anticipation et des liens effectués, deux points méthodologiques nous semblent nécessaires à aborder, avant de poursuivre l'analyse du jugement d'anticipation en condition de pratique.

1.4 Points méthodologiques

1.4.1 Comportements moteurs, comportements visuels et subjectivité

L'analyse méthodologique effectuée à partir des vidéos caméscopes et eye-tracker obtenues mérite un point de discussion. En effet, la grille d'analyse a été réfléchie en équipe, mais un

expérimentateur principal a effectué l'ensemble des analyses image par image. Ainsi, nous avions conscience de la subjectivité des analyses vidéo ce qui a été l'objet d'un travail de master 1 « Analyse des habiletés perceptivo-motrices en badminton » (Delabarre et al., 2020). Ainsi, une analyse inter-observateur a été effectuée : (i) sur les données qualitatives (coefficient kappa de Cohen (1960) et tableau de classification de Landis et Koch (1977)) et, (ii) sur les temps de réaction (méthode de (Bland & Altman, 1986)). Les résultats montrent que la grille d'analyse élaborée permet une cotation objective (coefficient de kappa fort et différence non significative sur les temps de réaction).

De manière récente, les zones d'intérêt visuelles définies (volant, raquette...) sont questionnées par rapport à l'avancée des connaissances. En effet, définir une zone d'intérêt implique une variabilité et une subjectivité dans la forme, la taille et les localisations de ces zones d'intérêt (Rim et al., 2021). De même, étant conscient de la subjectivité des analyses, les temps de fixations par zone d'intérêt (comparaison de pourcentage) ont également fait partie du travail de master 1 « Analyse des habiletés perceptivo-motrices en badminton » (Delabarre et al., 2020). Les résultats montrent des proportions proches sur l'ensemble des zones d'intérêt définies pour les différents observateurs. Au-delà d'une analyse inter-observateur, une méthode d'analyse de la durée des sommes pondérées à partir de points d'intérêt plutôt que de zones d'intérêt a été proposée et répliquée (Rim et al., 2021). Un point d'intérêt correspond à seulement un pixel dans l'espace. La méthode consiste à pondérer la durée de fixation par la distance entre la fixation et le point d'intérêt et la somme des points d'intérêt afin d'obtenir un point d'intérêt plus localisé par rapport à une zone plus large (comme la tête). Cette approche nous semble intéressante dans la mesure où elle implique une volonté de préciser les lieux de fixations dans une approche scientifique rigoureuse et objective. Cependant, les analyses ont été effectuées sur des stimuli statiques demandant des études sur la faisabilité à partir de stimuli dynamiques et de stimuli enregistrés en condition réelle.

1.4.2 Comportements moteurs, comportements visuels et anticipation

L'analyse des comportements moteurs et visuels s'est effectuée au service du jugement d'anticipation. Nous avons analysé les comportements pendant toute la durée des échanges

mesurant à la fois l'anticipation en termes de prédiction avant le coup adverse, mais surtout en termes d'anticipation coïncidence, c'est-à-dire l'habileté à intercepter un objet en déplacement en sport. Nous avons montré que les comportements étaient surtout des comportements de réaction au coup adverse faisant de l'analyse des comportements visuels, une analyse de l'anticipation coïncidence. Si nous souhaitons analyser uniquement les recherches visuelles en lien avec l'anticipation en tant que prédiction, nous devrions prendre en compte uniquement les recherches visuelles effectuées en amont du temps de réponse (Alder & Broadbent, 2017 ; Triolet et al., 2013).

Au-delà de ce point méthodologique, nous avons vu que le jugement d'anticipation présente des déterminants essentiels dans la performance experte et réalisée. Ainsi, afin d'améliorer ce jugement d'anticipation au service de la performance, une perspective d'entraînement du jugement d'anticipation à travers ses déterminants peut être envisagée.

1.5 Examiner et améliorer l'expertise

1.5.1 Niveau d'expertise

Nos résultats montrent : (i) une absence de stratégies visuelles ainsi qu'une attention globale chez les novices et, (ii) des stratégies visuelles ainsi qu'une attention focalisée chez les experts sur des zones d'intérêt définies. Les étapes d'apprentissage permettant de passer d'un profil à l'autre ne sont pas linéaires (Bui-Xuân, 1999). Ces étapes impliquent des reconfigurations neuronales et l'acquisition de connaissances liées à la rencontre de nouvelles situations de jeu. Les étapes conatives en badminton permettent de proposer des hypothèses sur le passage d'une attention globale à une attention globale et focalisée sur des zones d'intérêts définies (Dieu et al., 2014). En effet, le passage d'une action de renvoi du volant (étape 1 structurale) vers une volonté de diriger le volant (étape 2 fonctionnelle) puis de placer un coup gagnant (étape 3 technique) invite le joueur à focaliser son attention sur des zones lui permettant de répondre à ses objectifs : diriger le volant (p. ex. fixation sur le volant et sur des zones vides utiles à la réalisation du geste) et placer un coup (fixation sur l'adversaire). Ces hypothèses sur les étapes d'apprentissage n'ont pas été étudiées ici alors que l'expertise est un continuum du débutant à l'expert. Ainsi, ajouter un groupe de niveau intermédiaire dans une future recherche permettrait d'avoir des

comportements moteurs tactiques (Étape 3 des étapes conatives : placer un coup gagnant, Dieu et al. (2014)) et d'affiner la compréhension des mécanismes d'anticipation en obtenant davantage d'étapes d'apprentissage entre des joueurs novices et des joueurs intermédiaires puis des joueurs intermédiaires et experts. Nous aurions ainsi un modèle du jugement d'anticipation pour chaque niveau d'expertise permettant d'envisager une détection des nouvelles générations à partir de leur jugement d'anticipation en mesurant leur temps de réaction, leurs stratégies visuelles et leur attention visuelle lors de matchs complets. Hosp et al. (2021) ont élaboré un modèle diagnostic pour déterminer le niveau d'expertise à partir des caractéristiques des mouvements des yeux (saccades et poursuites). L'attention focalisée sur des zones d'intérêt participe à un meilleur jugement d'anticipation (Williams & Jackson, 2019a). La compréhension des mécanismes d'apprentissage montre l'intérêt à entraîner ce jugement d'anticipation à partir de ses déterminants.

1.5.2 Entraînement

À partir de nos résultats sur deux groupes d'expertise, nous pouvons proposer des pistes d'entraînement aux déterminants du jugement d'anticipation. Entraîner le jugement d'anticipation implique de proposer des stimuli contextualisés au badminton, de connaître les consignes à fournir en tant qu'entraîneur (Decroix et al., 2017), d'adapter l'exercice en fonction des effets recherchés. Turner et al. (2019) ont proposé une approche de l'entraînement axée sur le développement humain à partir d'indicateurs clés de performance définis par l'entraîneur. Cette approche nous invite à proposer un modèle d'entraînement de l'anticipation en badminton à partir de la littérature développée dans ce manuscrit et des résultats obtenus. Les indicateurs de performance permettent de définir les qualités physiques sous-jacentes, les tests permettant de les mesurer et les exercices permettant de les entraîner (Figure 1.3). Les exercices proposés peuvent être guidés par l'approche pédagogique non linéaire centrée sur l'apprenant proposée par (Chow, 2013). Cinq principes clés sont définis :

— le focus attentionnel

— la représentativité des situations

— la manipulation des contraintes

— le couplage information-mouvement

— la variabilité fonctionnelle

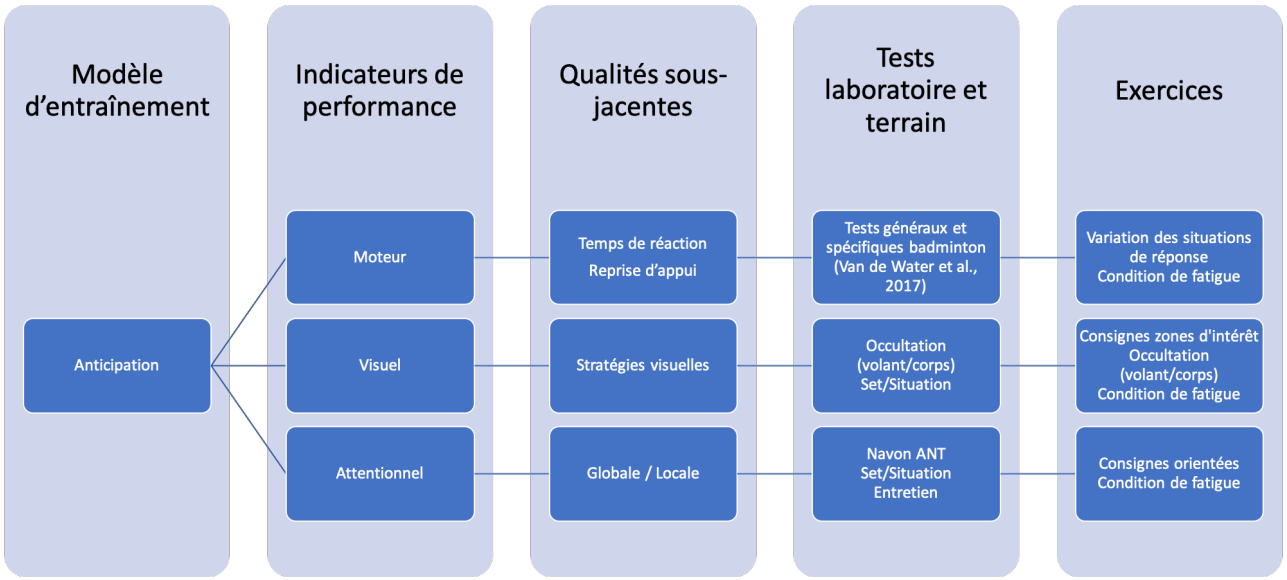


Figure 1.3 – Proposition de modèle d'entraînement du jugement d'anticipation à partir de quatre déterminants selon l'approche de Turner et al., (2019).

1.5.2.1 Focus attentionnel

Nos résultats montrent des stratégies visuelles en fonction de l'expertise. Ces stratégies visuelles peuvent guider les instructions données aux joueurs (« regarder la raquette », « regarder le bas du corps »). En effet, les instructions orientées sur les stratégies améliorent les connaissances procédurales (c.-à-d., les connaissances sur la réalisation des actions, French et Thomas (1987)) (Blomqvist et al., 2001). Au-delà des consignes pour orienter le focus attentionnel sur des zones d'intérêts, la technologie de la réalité étendue (incluant réalité virtuelle, réalité mixte et réalité augmentée) permettrait de manipuler les informations cinématiques et les informations contextuelles pour améliorer le jugement d'anticipation tout comme Helm et al. (2020) l'ont fait en handball. Par rapport aux résultats obtenus, les informations cinématiques sur l'adversaire (haut du corps, bas du corps et raquette) ou sur le volant pourraient être occultées ou à l'inverse mises en exergue pour accompagner la prise d'informations visuelles sur des lieux d'intérêt. Ainsi, la mise en place d'entraînement autour du focus attentionnel permettrait d'orienter les comportements visuels en termes de lieux de fixations et de durées de fixation au service d'un meilleur jugement d'anticipation.

1.5.2.2 Représentativité des situations

Entraîner le jugement d'anticipation pour améliorer la performance implique de se rapprocher des conditions de pratique. Par exemple, les temps de jeu (échanges) et les temps de non-jeu (récupération entre les points) diffèrent selon les niveaux d'expertise (Dieu et al., 2017). Ainsi, l'adaptation de ce rapport temps de jeu/non-jeu lors des situations d'entraînement serait plus révélatrice des réalités de terrain (Dieu et al., 2017). De manière globale, l'intérêt des situations proposées est de correspondre à la pratique du badminton en situation, mais également aux caractéristiques des niveaux de joueurs afin d'optimiser le jugement d'anticipation selon les capacités de chacun.

1.5.2.3 Manipulation des contraintes

La manipulation des contraintes permettrait d'orienter l'entraînement sur des aspects spécifiques du jugement d'anticipation. Ainsi, la réduction de la taille du terrain et la hauteur du filet induit des changements de comportements en augmentant la fréquence et la variabilité des coups et des patterns de jeu (Ortega-Toro et al., 2020). La possibilité de contraindre les coups par la taille du terrain et la hauteur du filet peut permettre de réduire les incertitudes de jeux et favoriser la stabilisation des comportements visuels et moteurs au service de l'anticipation. Par exemple, le joueur développera des patterns visuels associés à la réalisation d'une attaque smashée de son adversaire au service d'une réalisation motrice adéquate. La confrontation à de multiples patterns de jeu permettrait notamment le développement des connaissances. Comme nous l'avons vu précédemment, ces connaissances stockées en mémoire permettent d'effectuer des liens plus forts et plus rapides entre des situations vécues et des réponses associées. De plus, le développement des stratégies de reconnaissance de patterns peut être proposé à partir de la manipulation des informations contextuelles sur les coups préférentiels de l'adversaire. Ces informations contextuelles peuvent être manipulées grâce aux nouvelles technologies telles que la réalité étendue. De plus, ces technologies permettent de rencontrer des situations variées comme en situation réelle de tournoi. Ainsi, les multiples situations associées aux manipulations des contraintes peuvent participer à l'amélioration des déterminants du jugement d'anticipation.

1.5.2.4 Couplage information-mouvement

Bird (2020) souligne les limites de l'utilisation d'un outil vidéo comme support d'entraînement. En effet, la réalisation d'un entraînement sur un support en deux dimensions et le point de vue difficilement égocentré s'éloignent des conditions de pratique. Le couplage information-mouvement implique de proposer des situations demandant une réponse motrice du joueur. Ainsi, d'autres alternatives technologiques voient le jour comme l'utilisation de la réalité étendue. Elle permet de reproduire des conditions proches de la réalité tout en ayant des avantages pour l'athlète et les chercheurs. En effet, elle permet à la fois des entraînements représentatifs en minimisant le risque de blessures et à la fois d'effectuer certaines mesures non réalisables sur le terrain ou d'augmenter la précision et la reproductibilité des mesures (Bideau et al., 2010). Nous avons vu le lien entre les comportements moteurs et visuels dans l'analyse de la trajectoire (direction et profondeur). Ainsi, le couplage information-mouvement peut être manipulé à partir de la vitesse du volant pour entraîner la prise d'informations sur la profondeur du coup. De plus, la manipulation des informations cinématiques pour les rendre incongruentes au coup réalisé permettrait d'entraîner les joueurs à l'analyse de feinte. Ainsi, le couplage information-mouvement semble essentiel à l'entraînement du jugement d'anticipation en maintenant les liens entre les déterminants moteurs et visuels.

1.5.2.5 Variabilité fonctionnelle

Martínez de Quel et Bennett (2019) alertent sur l'effet possiblement distracteur de diriger l'attention visuelle lors des entraînements. Cependant, la perception visuelle pourrait être entraînée par l'apprentissage à partir de nombreux essais/erreurs où l'athlète découvre par lui-même les zones d'intérêt pertinentes par rapport à la situation proposée. De plus, des questions subsistent sur le transfert des acquisitions effectuées lors des situations d'entraînement vers les matchs. En effet, apprendre consiste à améliorer des performances entre un pré et post-test à l'aide de l'expérience ou d'une intervention (Magill & Anderson, 2017) alors que transférer c'est la contribution de ce qui a été appris pour réussir une tâche dans un contexte différent ou nouveau (Magill & Anderson, 2017). Ainsi l'objectif de l'apprentissage est le transfert de ces habiletés dans des situations variées, caractérisant la pratique sportive. Ainsi, Hadlow et al. (2018) proposent un cadre d'entraînement perceptif (MPTF) afin de connaître les possibilités

de transfert en identifiant trois points clés pour permettre le transfert sur le terrain : (i) la fonction perceptive ciblée, (ii) la correspondance des stimuli, (iii) la correspondance des réponses.

À partir de la variabilité fonctionnelle, les propositions d'entraînement amènent la question de l'individualisation. En effet, si les études sur l'anticipation comparent des niveaux (novice, intermédiaire, expert) (Farrow & Abernethy, 2003 ; Rosalie & Müller, 2013 ; Witkowski et al., 2021), d'autres études ont comparé des joueurs au sein de niveau identique (Afonso et al., 2012 ; Morris-Binelli et al., 2021 ; Fortin-Guichard et al., 2020). En effet, au sein d'un même niveau d'expertise, les fonctionnements dépendent des préférences de chacun, des comportements et des expériences vécues (adversaires affrontés, encadrements). Ainsi, la variabilité peut être importante au sein d'une population de novices due à leur absence d'expérience en sport de raquette et à leur vécu sportif personnel. Cependant, les experts ont également des variabilités individuelles dans la justesse de prédiction (Morris-Binelli et al., 2021) et dans les stratégies visuelles ((Afonso et al., 2012 ; Rosker & Majcen Rosker, 2021), également selon le poste, Fortin-Guichard et al. (2020)). Ainsi, une idée globale de l'anticipation en badminton chez les experts permet une première approche systémique. Cependant, pour accéder à la haute performance, l'individualisation semble nécessaire (Krantz & Dartnell, 2000). L'objectif est d'apporter d'une part l'approche scientifique rigoureuse de l'anticipation experte à travers les comportements moteurs, visuels, l'attention visuelle et les connaissances sur une population experte et d'autre part des informations individuelles sur ces comportements. Ainsi, cette approche pourrait faire l'objet d'un stage d'Accompagnement Scientifique à la Performance auprès de la Fédération Française de Badminton. En amont, la réalisation de rapports écrits individuels permet à l'entraîneur de connaître les comportements moteurs et visuels de ses joueurs en termes de temps de réaction et de recherches visuelles effectuées ainsi que le comportement de ses joueurs en condition de sets (Annexe E). Au-delà d'un apport de connaissances, les entraîneurs peuvent adapter leurs consignes en fonction des comportements visuels observés et proposer des entraînements en fonction des évolutions souhaitées (zones pertinentes à fixer) à partir des comportements individuels.

La caractérisation du jugement d'anticipation en condition de pratique et de ses

déterminants permet de mieux comprendre son impact sur la performance experte et réalisée. Cependant, la pratique du badminton implique une contrainte fatigue qui peut faire évoluer ce jugement d'anticipation et ses déterminants. Ainsi, nous allons mettre en perspective les résultats obtenus sur les quatre déterminants du jugement d'anticipation pour proposer un point central de discussion concernant les mécanismes de compensation associés à la fatigue. Enfin, la fatigue étant une contrainte inhérente et au vu des résultats obtenus, nous proposerons une perspective d'aide à l'entraînement.

Chapitre 2

Les effets de la fatigue sur le jugement d'anticipation

2.1 Résultats principaux

Notre questionnement portait sur les impacts de la fatigue sur le jugement d'anticipation au regard du modèle exploratoire de l'expertise (Tableau 2.1). Les comportements moteurs des novices ne sont pas significativement impactés par la fatigue (Étude 2). Les comportements visuels des novices montrent une diminution des durées de fixation sur le *haut du corps* et la *raquette de l'adversaire* ainsi qu'une augmentation du nombre de fixations sur la zone *vide avant le contact volant/raquette du joueur* avec la fatigue (Étude 2). L'attention visuelle sur des stimuli locaux augmente avec la fatigue (temps de réaction plus faible) chez les novices (Étude 5). Chez les experts, les comportements moteurs (temps de réaction et délai reprise d'appui) sont plus rapides avec la fatigue (Étude 3). Les comportements visuels des experts sont modifiés par la fatigue avec une augmentation de la durée de fixations, du nombre de changements de regard, du nombre de fixations sur la zone *vide après le contact volant/raquette du joueur* et une diminution du nombre de fixations par échange (Étude 3). En situation défensive chez les experts, c'est-à-dire lors d'une situation où le temps d'anticipation est impacté par l'augmentation de la pression temporelle, les comportements visuels sont également modifiés par la fatigue avec une diminution de la durée de fixations globale, sur le *bas du corps de l'adversaire* et sur le *volant* ainsi qu'une augmentation de la durée de fixations sur la zone *vide après contact volant/raquette du joueur* (Étude 4).

Tableau 2.1 – Tableau récapitulatif des effets de la fatigue et de l'expertise sur les quatre déterminants du jugement d'anticipation.

Situation	Set	Set	Situation défensive
Déterminants	Novices	Experts	Experts
Comportements moteurs d'anticipation/réaction	Pas d'effet	TR − DRA −	DRA −
Comportements visuels	DF haut du corps et raquette − NF vide avant le contact volant/raquette du joueur +	DF + NF − NC + NF vide après le contact volant/raquette du joueur + NF vide après contact volant/raquette du joueur +	DF − DF bas du corps et volant −
Caractérisation de l'attention	Attention locale +	NA	NA
Connaissances	NA	NA	NA

TR : temps de réaction ; DRA : délai de la reprise d'appui ; DF : durée de fixation ; NF : nombre de fixations ; NC : nombre de changements de regard ; NA : non applicable

Les résultats obtenus montrent des effets de la fatigue sur les comportements moteurs et visuels, mais pas d'effet sur la performance réalisée. Ainsi, quel processus global peut permettre d'expliquer ces résultats ?

2.2 Déterminants du jugement d'anticipation : mécanismes compensatoires

Le recrutement d'une population de novices nous a permis de valider notre méthodologie et spécifiquement l'induction de fatigue par le protocole de fatigue caractérisé par une durée et une intensité d'exercice. En effet, sur l'ensemble des études, les mesures instrumentées et auto référencées étaient significativement supérieures lors du protocole de fatigue en comparaison au pré-protocole de fatigue. D'après nos résultats, la fatigue perpétue le comportement visuel aléatoire chez les novices (Étude 2) et induit un comportement visuel focalisé des experts (Étude 3). En effet, l'analyse de la relation entre fatigue, comportements visuels et performance permet une entrée par les habiletés tactiques qui sont directement reliées au système perception-action

(Kolman et al., 2019). L'induction de la fatigue nous a permis de mettre en exergue les stratégies développées par les joueurs. Ainsi, les novices ne semblent pas avoir de stratégie visuelle en comparaison aux joueurs experts qui semblent en développer une. En effet, en état de fatigue, les novices ont éventuellement une adaptation de quelques comportements visuels alors que les experts semblent s'adapter par une modification des comportements à la fois visuels et moteurs. Cette adaptation est au service du maintien de la performance. En effet, l'ensemble de nos résultats ne montre pas d'effet de la fatigue sur la performance en termes de sets (gagné ; perdu), de points (gagné ; perdu), de séquences (réussie ; ratée) ou de coups (réussi ; raté). Ce maintien de la performance est davantage conservé avec le niveau d'expertise (Fayt et al., 2005 ; Lyons et al., 2011). Ainsi, les joueurs mettent en place un phénomène de compensation pour conserver la performance. Globalement, ce phénomène est expliqué d'un point de vue neurophysiologique. En effet, le système nerveux central s'adapte afin de réguler la fatigue selon des processus à court terme par l'utilisation de feedbacks sensoriels afin d'actualiser et de réguler le mouvement (Rozand & Lepers, 2016) ou à long terme par des mécanismes neuronaux compensatoires au niveau de la zone frontale antérieure (Wang et al., 2016).

Comportements moteurs

Le maintien de la performance, spécifiquement en termes de coups réalisés malgré l'induction de fatigue, illustre le modèle holistique de la fatigue (Enoka & Duchateau, 2016 ; Knicker et al., 2011). En effet, les comportements moteurs globaux compenseraient la diminution, au niveau local et individuel, de la force de contraction des unités motrices. La notion de compensation au niveau local permet une absence d'influence au niveau global pouvant expliquer le maintien de la performance. Cette compensation peut par exemple se retrouver dans un compromis entre la précision et la vitesse en sport de raquette : une baisse de la vitesse du volant pour conserver la précision des coups réalisés.

Comportements visuels et attention

Au niveau cognitif, les comportements visuels plus focalisés des experts en situation réelle de jeu peuvent être expliqués par une centration de l'attention sur la tâche. Cette focalisation attentionnelle pourrait permettre d'attribuer toutes les ressources nécessaires à la réalisation de la tâche et maintenir la performance. Ces explications sont également portées par Farrow et Abernethy (2003) et Williams et Ford (2008). Cette capacité à mobiliser des ressources sur

une tâche a été démontrée chez les experts, mais on peut émettre l'hypothèse que les joueurs novices recrutés (c.-à-d., des sportifs actifs) avaient la même capacité liée à leurs expériences sportives antérieures. Ainsi, la carte de l'environnement attentionnel dynamique évolue avec la fatigue c'est-à-dire que l'attention sélective diffère à la fois selon les niveaux d'expertise et selon l'état de fatigue (Wolfe, 2021). Les ressources mobilisées peuvent être multiples, liées aux informations contextuelles ou à la réalisation motrice (équilibration, déplacement, coordination des chaînes musculaires) (Knicker et al., 2011).

Comportements moteurs et comportements visuels

De manière complémentaire entre les systèmes sensoriels et moteurs, la diminution des temps de réaction et du délai reprise d'appui obtenus après fatigue chez les experts peut être expliquée par ce phénomène de compensation globale. En effet, les joueurs sont habitués à s'entraîner dans un état de fatigue. Cette habitude induit des modifications des comportements visuels et notamment une focalisation sur des zones d'intérêt définies. Cette diminution des zones d'intérêt et l'augmentation du temps sur ces zones peuvent permettre de réduire l'étape perceptive du traitement de l'information (étape 1). Les étapes suivantes (étape 2 décisionnelle et étape 3 motrice) sont impactées par les informations sélectionnées à l'étape 1 précédente et peuvent expliquer des temps de réaction et les délais de reprise d'appui inférieurs sous fatigue. De plus, la diminution du délai reprise d'appui nous invite à penser que la focalisation des joueurs experts sur des zones définies est au service d'une lecture précoce de la direction du coup adverse (pour le lien entre reprise d'appui et direction du volant, voir la partie précédente). Cette lecture leur permettrait de pallier les effets de la fatigue périphérique (contraction musculaire altérée en lien avec les déplacements et les réalisations techniques). Cependant, cette diminution des temps de réaction et des délais reprise d'appui n'est pas en lien avec une meilleure anticipation-coïncidence puisque nous n'avons pas montré d'effets significatifs de la fatigue sur le délai entre le contact volant/raquette du joueur et sa pose de pied avant.

Motivation et attention

Ces résultats ainsi que les résultats différents obtenus entre la réalisation de sets (Étude 3) et de situations spécifiques de défense (Étude 4) montre la complexité et les multiples facteurs de la fatigue dépendant notamment de facteurs contextuels comme la capacité physique, les qualités techniques, le rôle tactique, la charge d'entraînement, l'importance du jeu, la période

de la saison (Clarke & Noon, 2019 ; Russell et al., 2021), la motivation, le sentiment d'auto-efficacité et l'anxiété (Knicker et al., 2011). La motivation permet de comprendre le modèle de régulation de la fatigue physique à partir des structures du système nerveux proposé par Tanaka et Watanabe (2012). Ils expliquent l'interaction de deux systèmes face à la fatigue physique : un système facilitateur et un système inhibiteur. La fatigue périphérique au niveau musculaire véhicule des messages sensoriels vers le système nerveux central, spécifiquement vers le cortex moteur primaire afin d'inhiber l'action en cours. Par compensation à ces messages inhibiteurs, le système facilitateur active le cortex moteur primaire à partir d'un signal motivationnel induit par un effort volontaire. Ces compensations neuronales seraient également présentes sous fatigue cognitive (Ishii et al., 2014). Ainsi, la motivation permet de contrebalancer les effets de la fatigue, tout comme la focalisation de l'attention dont nous avons obtenu des résultats. De manière théorique, Wulf et Lewthwaite (2016) proposent un modèle d'optimisation de la performance à travers la motivation intrinsèque et l'attention (théorie OPTIMAL). Ainsi, le focus attentionnel externe (centration sur l'objectif ou les conséquences du mouvement) et la motivation intrinsèque (extrémité du continuum d'auto-détermination impliquant un comportement auto régulé, (Deci & Ryan, 1985)) permettent une augmentation du focus sur les objectifs de la tâche favorisant la performance motrice et l'apprentissage moteur. Au regard de ces connaissances, nous pouvons interroger la motivation ayant engagé les joueurs à participer à ce projet de thèse. La motivation a pu modifier des comportements moteurs et visuels via un engagement psychologique et moteur non révélateur du jeu de chaque niveau d'expertise. De plus, l'absence d'enjeu, notamment pour les sportifs de haut-niveau, a pu impacter leurs comportements. Cependant, l'ensemble des participants a volontairement participé à ces expérimentations. De plus, les expérimentations avec les sportifs de haut-niveau étaient incluses dans leur programme d'entraînement. Ainsi, nous pouvons émettre l'hypothèse d'une motivation intrinsèque de l'ensemble des participants, du moins un engagement révélateur de leur implication dans un match en situation d'entraînement. Néanmoins, ce facteur motivationnel devrait être évalué lors de futures études proposant un protocole expérimental similaire.

Circuit cérébral de l'effort

Nous pouvons également ajouter l'importance de l'effort perçu dans l'inhibition de l'action due

à la fatigue, effort mesuré par l'échelle de Borg dans ce projet et significativement différent entre le pré- et le post-protocole de fatigue. L'effort perçu peut impacter des facteurs périphériques de la fatigue comme l'hypoglycémie, la déplétion en glycogène musculaire, l'hypoxie, l'acidose (Knicker et al., 2011 ; Mendez-Villanueva et al., 2007). Cependant, le maintien de la performance nous invite à penser que des processus complémentaires à l'attention et à la motivation ont pu être mis en place. Par exemple, le circuit cérébral de l'effort permet de comprendre la mobilisation de la personne dans une tâche à réaliser (Borderies et al., 2020 ; Bouret, 2021). Il reflète la régulation de l'énergie engagée selon le rapport entre la difficulté de la tâche et la performance attendue. Les auteurs ont montré que la gestion de l'effort était due au système noradrénergique qui fonctionne comme un processus d'allocation d'énergie permettant d'effectuer une performance en fonction de la difficulté attendue. Ainsi, la réalisation du protocole de fatigue et des tâches post-protocole ont probablement dû demander une régulation de l'énergie engagée puisque la difficulté, au moins perçue, de la tâche augmentait. L'adaptation des comportements au service de la performance montre la nécessité de l'entraînement en condition de fatigue pour maintenir le meilleur jugement d'anticipation possible.

2.3 Entraînement en condition de fatigue

La compréhension des mécanismes impliqués dans la réalisation de situation proche des conditions réelles invite à proposer des entraînements du jugement d'anticipation sous conditions de fatigue. En effet, limiter les effets néfastes de la fatigue sur les comportements moteurs, visuels et attentionnels pourrait permettre de conserver une efficience de ces mécanismes au détriment d'adaptations du système perception-action qui peuvent être coûteuses énergétiquement. De plus, s'entraîner sous conditions de fatigue reflète la réalité de la pratique. Au-delà des démarches proposées dans la partie précédente (Figure 1.3), l'entraînement en condition de fatigue devrait inclure des exercices physiques proches des conditions de pratique afin d'obtenir des résultats sur l'anticipation (Alder et al., 2019 ; Liu et al., 2017). En effet, Alder et al. (2019) ont mis en place trois sessions d'entraînement chez des joueurs de niveau départemental à international. L'entraînement consistait en un protocole de déplacements spécifiques au badminton (entraînement physique) et une tâche d'entraînement à l'anticipation sur vidéo avec des retours (entraînement cognitif). Les entraînements physiques

et cognitifs étaient effectués pour un groupe d'entraînement de manière combinée (en alternance le même jour) et pour un autre groupe d'entraînement de manière séparée (jours différents). Les résultats ont montré une justesse des réponses supérieure et un rapport entre le nombre de fixations et la durée totale des fixations inférieur chez le groupe aux entraînements combinés comparé au groupe aux entraînements séparés, uniquement sur le dernier bloc de tests effectué. Ainsi, l'entraînement en condition de fatigue permet de s'approcher des conditions réelles de pratique et d'induire les comportements moteurs et visuels relatifs à cette pratique. Au-delà d'un entraînement en condition de fatigue révélateur du vécu en match, il semble pertinent de pouvoir quantifier individuellement les mécanismes compensatoires mis en place. Ainsi, les rapports écrits individuels proposés pour décrire les comportements en situation peuvent informer, les entraîneurs et l'athlète, sur les adaptations effectuées face à la fatigue (Annexe E). De nouveau, les consignes, mais surtout les situations peuvent être adaptées afin de poursuivre le développement des mécanismes adaptatifs mis en place ou d'envisager d'autres mécanismes.

Conclusion

Pour conclure, ce projet de thèse a permis de proposer un modèle du jugement d'anticipation experte en badminton à partir de quatre déterminants : les comportements moteurs, les comportements visuels, l'attention visuelle et les connaissances antérieures dans des conditions proches de la pratique. Les comportements moteurs ont été définis par les temps de réaction et les délais de reprise d'appui par rapport au coup de l'adversaire ainsi que les délais de pose du pied avant au sol au moment du coup du joueur. Les comportements visuels ont été définis par les durées et les nombres de fixations moyens et par zone d'intérêt (zones définies en amont à partir de la littérature). L'attention visuelle a été définie comme le maintien d'un focus sur un objet ou sur une action. La prise d'informations visuelles implique des comportements visuels associés à de l'attention visuelle. Enfin, les connaissances antérieures font référence à l'utilisation des informations contextuelles lors de la pratique.

Tout d'abord, l'expertise se caractérise par : (i) des comportements moteurs majoritairement en réaction, (ii) une prise d'informations visuelles avec de nombreuses fixations et de longues durées de fixations sur des zones d'intérêt spécifiques (volant, adversaire, raquette, anticipation du futur point d'impact), (iii) une attention visuelle globale de la situation et focalisée sur des éléments pertinents et, (iv) des connaissances sur le jeu et l'adversaire au service de l'anticipation. Spécifiquement, l'analyse de la trajectoire du volant implique tout d'abord une détection de la direction puis de la profondeur du volant associée à des comportements visuels sur le volant, sur l'adversaire ou sa raquette ainsi qu'à des comportements moteurs de reprise d'appui puis de déplacement et ajustement.

Ensuite, la fatigue liée à la pratique de sets de badminton impacte les déterminants du jugement d'anticipation de manière dépendante au niveau d'expertise, mais n'impacte pas de manière significative la performance réalisée. Les effets de la fatigue sont : (i) des comportements moteurs plus rapides chez les experts, (ii) des comportements visuels impactés chez les joueurs novices et

experts (modification des durées de fixation sur des zones d'intérêt définies pour les novices et modification des comportements visuels globaux chez les experts) et, (iii) une attention visuelle focalisée sur la tâche à réaliser. Ainsi, la fatigue induite par la pratique du badminton induit une adaptation des comportements moteurs et/ou visuels des joueurs. L'absence de lien entre la fatigue physique induite et la performance réalisée, dû à des mécanismes compensatoires, amène à poursuivre l'investigation de la performance en badminton à partir de la construction des points au cours des échanges ou des coups forts des joueurs.

Les études en condition nous ont permis la conservation du système perception-action dans l'analyse du jugement d'anticipation. L'étude en condition contrôlée nous a permis d'effectuer des ponts entre une approche contrôlée théorique et une approche *in situ* expérimentale. Malgré des limites liées à la procédure expérimentale, aux variables mesurées, aux populations recrutées et aux matériels utilisés, l'ensemble des connaissances issues de ce travail doctoral fournit des pistes aux débats académiques et sportifs. D'un point de vue théorique, une approche systémique du jugement d'anticipation en badminton pourrait impliquer une analyse neuronale et contextuelle à partir des modèles exploratoires de l'expertise et de la fatigue. D'un point de vue sportif, des perspectives d'entraînement des déterminants au jugement d'anticipation sont envisagées à partir de cinq éléments clés (focus attentionnel, représentativité des situations, manipulation des contraintes, couplage information-mouvement, variabilité fonctionnelle). Les connaissances apportées ainsi que les perspectives académiques et sportives énoncées sur le jugement d'anticipation nous semblent transférables à d'autres sports ou à d'autres domaines d'application dont l'anticipation est un facteur de performance (sports de raquette, sports de combat, conduite automobile).

Références

Abd-Elfattah, H. M., Abdelazeim, F. H., & Elshennawy, S. (2015). Physical and cognitive consequences of fatigue : A review. *Journal of Advanced Research*, *6*(3), 351–358. https://doi.org/10.1016/j.jare.2015.01.011

Abernethy, B. (1988). Visual search in sport and ergonomics : its relationship to selective attention and performer expertise. *Human Performance*, *1*(4), 205–235. https://doi.org/10.1207/s15327043hup0104_1

Abernethy, B., Gill, D. P., Parks, S. L., & Packer, S. T. (2001). Expertise and the perception of kinematic and situational probability information. *Perception*, *30*(2), 233–252. https://doi.org/10.1068/p2872

Abernethy, B., Maxwell, J. P., Masters, R. S. W., Kamp, J. V. D., & Jackson, R. C. (2007). Chapter 11 : Attentional processes in skill learning and expert performance. In G. Tenenbaum & R. C. Eklund (Eds.), *Handbook of Sport Psychology* (3rd éd., pp. 245–263). Hoboken, NJ, USA : John Wiley & Sons, Inc. https://doi.org/10.1002/9781118270011.ch11

Abernethy, B., & Russell, D. G. (1987a). Expert-novice differences in an applied selective attention task. *Journal of Sport Psychology*, *9*(4), 326–345. https://doi.org/10.1123/jsp.9.4.326

Abernethy, B., & Russell, D. G. (1987b). The relationship between expertise and visual search strategy in a racquet sport. *Human Movement Science*, *6*(4), 283–319. https://doi.org/10.1016/0167-9457(87)90001-7

Abernethy, B., Thomas, K. T., & Thomas, J. T. (1993). Chapter 17 Strategies for Improving Understanding of Motor Expertise [or Mistakes we Have Made and Things we Have Learned ! !]. In *Advances in Psychology* (Vol. 102, pp. 317–356). Elsevier. https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)61478-8

Abernethy, B., & Zawi, K. (2007). Pickup of essential kinematics underpins expert perception of movement patterns. *Journal of Motor Behavior*, *39*(5), 353–367. https://doi.org/10.3200/JMBR.39.5.353-368

Abernethy, B., Zawi, K., & Jackson, R. C. (2008). Expertise and attunement to kinematic constraints. *Perception*, *37*(6), 931–948. https://doi.org/10.1068/p5340

Afonso, J., Garganta, J., McRobert, A., Williams, A. M., & Mesquita, I. (2012). The perceptual cognitive processes underpinning skilled performance in volley- ball : Evidence from eye-movements and verbal reports of thinking involving an in situ representative task. *Journal of Sports Science & Medicine*(11), 339–345.

Aglioti, S. M., Cesari, P., Romani, M., & Urgesi, C. (2008). Action anticipation and motor resonance in elite basketball players. *Nature Neuroscience*, *11*(9), 1109–1116.

Ak, E., & Koçak, S. (2010). Coincidence-anticipation timing and reaction time in youth tennis and table tennis players. *Perceptual and Motor Skills*, *110*(3), 879–887. https://doi.org/10.2466/pms.110.3.879-887

Akl, J., & Panchuk, D. (2016). Cue informativeness constrains visual tracking during an interceptive timing task. *Attention, Perception & Psychophysics*, *78*(4), 1115–1124. https://doi.org/10.3758/s13414-016-1080-0

Aksum, K. M., Magnaguagno, L., Bjørndal, C. T., & Jordet, G. (2020). What do football players look at ? An eye-tracking analysis of the visual fixations of players in 11 v 11 elite football match play. *Frontiers in Psychology*, *11*, 562995. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.562995

Alain, C., & Proteau, L. (1978). Etude des variables relatives au traitement de l'information en sport de raquette. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences*(3), 27–33.

Alder, D., & Broadbent, D. (2017). Quantifying the role of anticipation in badminton during competition ; the impact of situational constraints, game format, match stage and outcome of match. *Project Report. BWF Education.*.

Alder, D., Broadbent, D. P., & Poolton, J. (2020). The combination of physical and mental load exacerbates the negative effect of each on the capability of skilled soccer players to anticipate action. *Journal of Sports Sciences*, 1–9. https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1855747

Alder, D., Broadbent, D. P., Stead, J., & Poolton, J. (2019). The impact of physiological load on anticipation skills in badminton : From testing to training. *Journal of Sports Sciences*, *37*(16), 1816–1823. https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1596051

Alder, D., Ford, P. R., Causer, J., & Williams, A. M. (2014). The coupling between gaze behavior and opponent kinematics during anticipation of badminton shots. *Human Movement Science*, *37*, 167–179. https://doi.org/10.1016/j.humov.2014.07.002

Alves, H., Voss, M. W., Boot, W. R., Deslandes, A., Cossich, V., Salles, J. I., & Kramer, A. F. (2013). Perceptual-cognitive expertise in elite volleyball players. *Frontiers in Psychology*, *4*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00036

Ament, W., & Verkerke, G. J. (2009). Exercise and fatigue. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *39*(5), 389–422. https://doi.org/10.2165/00007256-200939050-00005

Ando, S., Kimura, T., Hamada, T., Kokubu, M., Moritani, T., & Oda, S. (2005). Increase in reaction time for the peripheral visual field during exercise above the ventilatory threshold. *European Journal of Applied Physiology*, *94*(4), 461–467. https://doi.org/10.1007/s00421-005-1330-7

Appelbaum, L. G., & Erickson, G. (2018). Sports vision training : A review of the state-of-the-art in digital training techniques. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, *11*(1), 160–189. https://doi.org/10.1080/1750984X.2016.1266376

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. https://doi.org/10.2466/pms.106.2.371-386

Avilés, C., Navia, J. A., Ruiz, L. M., & Martínez de Quel, O. (2019). Do expert tennis players actually demonstrate anticipatory behavior when returning a first serve under representative conditions ? A systematic review including quality assessment and methodological recommendations. *Psychology of Sport and Exercise*, *43*, 16–26. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2018.12.015

Aziz, H. A. (2017). Comparison between field research and controlled laboratory research. *Archives of Clinical and Biomedical Research*, *01*(02), 101–104. https://doi.org/10.26502/acbr.50170011

Azémar, G. (2016, juin). Chapitre V. De l'œil à la main. In *L'homme asymétrique : Gauchers et droitiers face à face* (pp. 201–241). Paris : CNRS Éditions.

Baker, D. H., Vilidaite, G., Lygo, F. A., Smith, A. K., Flack, T. R., Gouws, A. D., & Andrews, T. J. (2020). Power contours : Optimising sample size and precision in experimental psychology and human neuroscience. *Psychological Methods*. https://doi.org/10.1037/met0000337

Belling, P. K., & Ward, P. (2015). Time to start training : A review of cognitive research in sport and bridging the gap from academia to the field. *Procedia Manufacturing*, *3*,

1219–1224. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.202

Bideau, B., Kulpa, R., Vignais, N., Brault, S., Multon, F., & Craig, C. (2010). Using virtual reality to analyze sports performance. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 8.

Bidet-Ildei, C., Orliaguet, J. P., & Coello, Y. (2011). Rôle des représentations motrices dans la perception visuelle des mouvements humains. *L'Année psychologique*, *111*(02), 409. https://doi.org/10.4074/S0003503311002065

Bird, J. M. (2020). The use of virtual reality head-mounted displays within applied sport psychology. *Journal of Sport Psychology in Action*, *11*(2), 115–128. https://doi.org/10.1080/21520704.2018.1563573

Bland, J. M., & Altman, D. G. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet (London, England)*, *1*(8476), 307–310.

Blomqvist, M., Luhtanen, P., & Laakso, L. (2001). Comparison of two types of instruction in badminton. *European Journal of Physical Education*, *6*(2), 139–155. https://doi.org/10.1080/1740898010060206

Bläsing, B. E. (2015). Segmentation of dance movement : effects of expertise, visual familiarity, motor experience and music. *Frontiers in Psychology*, *5*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01500

Bläsing, B. E., Güldenpenning, I., Koester, D., & Schack, T. (2014). Expertise affects representation structure and categorical activation of grasp postures in climbing. *Frontiers in Psychology*, *5*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01008

Boksem, M. A., & Tops, M. (2008). Mental fatigue : Costs and benefits. *Brain Research Reviews*, *59*(1), 125–139. https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2008.07.001

Bonnet, G. (2021). *Évaluation de la prise de décision dans un environnement complexe et dynamique : effets de l'expertise et de la fatigue au handball* (Thèse de doctorat non publiée). Université Paris Saclay.

Borderies, N., Bornert, P., Gilardeau, S., & Bouret, S. (2020). Pharmacological evidence for the implication of noradrenaline in effort. *PLOS Biology*, *18*(10). https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000793

Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *14*(5), 377–381.

Born, R. T., & Bradley, D. C. (2005). Structure and function of visual area MT. *Annual Review of Neuroscience*, *28*(1), 157–189. https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.26.041002.131052

Bottoms, L., Hunter, A. M., & Galloway, S. D. (2006). Effects of carbohydrate ingestion on skill maintenance in squash players. *European Journal of Sport Science*, *6*(3), 187–195. https://doi.org/10.1080/17461390600804455

Bottoms, L., Sinclair, J., Taylor, K., Polman, R., & Fewtrell, D. (2012). The effects of carbohydrate ingestion on the badminton serve after fatiguing exercise. *Journal of Sports Sciences*, *30*(3), 285–293. https://doi.org/10.1080/02640414.2011.637948

Bouret, S. (2021, mars). *Vous connaissiez le circuit cérébral de la récompense ? Voici celui de l'effort. The Conversation. http ://theconversation.com/vous-connaissiez-le-circuit-cerebral-de-la-recompense-voici-celui-de-leffort-155771.*

Brams, S., Ziv, G., Levin, O., Spitz, J., Wagemans, J., Williams, A. M., & Helsen, W. F. (2019). The relationship between gaze behavior, expertise, and performance : A systematic review. *Psychological Bulletin*. https://doi.org/10.1037/bul0000207

Brault, S. (2011). *La feinte de corps au rugby : déterminants biomécaniques, processus de détection et action de défense : pourquoi l'expert est-il meilleur ?* (Thèse de doctorat non publiée). Université Rennes 2.

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, *3*(2), 77–101. https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa

Brenner, E., & Smeets, J. B. J. (2017). Accumulating visual information for action. *Progress in Brain Research*, *236*, 75–95. https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2017.07.007

Brenton, J., & Müller, S. (2018). Is visual-perceptual or motor expertise critical for expert anticipation in sport ? *Applied Cognitive Psychology*, *32*(6), 739–746. https://doi.org/10.1002/acp.3453

Brisswalter, J., Collardeau, M., & René, A. (2002). Effects of Acute Physical Exercise Characteristics on Cognitive Performance. *Sports Medicine*, *32*(9), 555–566. https://doi.org/10.2165/00007256-200232090-00002

Broadbent, D. E. (1958). *Perception and Communication*. New York : Pergamon Press.

Broadbent, D. P., Causer, J., Williams, A. M., & Ford, P. R. (2015). Perceptual-cognitive skill training and its transfer to expert performance in the field : Future research directions. *European Journal of Sport Science*, *15*(4), 322–331. https://doi.org/10.1080/17461391.2014.957727

Brysbaert, M., & Stevens, M. (2018). Power analysis and effect size in mixed effects models : A tutorial. *Journal of Cognition*, *1*(1), 9. https://doi.org/10.5334/joc.10

Bui-Xuân, G. (1999). Teaching physical education. In G. Bui-Xuân & J. Gleyse (Eds.), *Modeling process teaching* (Vol. 1, pp. 62–83). France.

Cabello Manrique, D. (2003). Analysis of the characteristics of competitive badminton. *British Journal of Sports Medicine*, *37*(1), 62–66. https://doi.org/10.1136/bjsm.37.1.62

Camus, J.-F. (1996). *La psychologie cognitive de l'attention*. Paris.

Casanova, F., Garganta, J., Silva, G., Alves, A., Oliveira, J., & Williams, A. M. (2013). Effects of prolonged intermittent exercise on perceptual-cognitive processes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *45*(8), 1610–1617. https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31828b2ce9

Casanova, F., Oliveira, J., Williams, M., & Garganta, J. (2009). Expertise and perceptual-cognitive performance in soccer : a review. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, *9*(1), 115–122.

Causer, J., Hayes, S. J., Hooper, J. M., & Bennett, S. J. (2017). Quiet eye facilitates sensorimotor preprograming and online control of precision aiming in golf putting. *Cognitive Processing*, *18*(1), 47–54. https://doi.org/10.1007/s10339-016-0783-4

Chang, Y.-K., Pesce, C., Chiang, Y.-T., Kuo, C.-Y., & Fong, D.-Y. (2015). Antecedent acute cycling exercise affects attention control : an ERP study using attention network test. *Frontiers in Human Neuroscience*, *9*. https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00156

Chen, J., Li, Y., Zhang, G., Jin, X., Lu, Y., & Zhou, C. (2019). Enhanced inhibitory control during re-engagement processing in badminton athletes : An event-related potential study. *Journal of Sport and Health Science*. https://doi.org/10.1016/j.jshs.2019.05.005

Chia, J. S., Burns, S. F., Barrett, L. A., & Chow, J. Y. (2017). Increased complexities in visual search behavior in skilled players for a self-paced aiming task. *Frontiers in Psychology*, *8*, 987. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00987

Chow, J. Y. (2013). Nonlinear learning underpinning pedagogy : evidence, challenges, and implications. *Quest*, *65*(4), 469–484. https://doi.org/10.1080/00336297.2013.807746

Clarke, N., & Noon, M. (2019). Editorial : Fatigue and Recovery in Football. *Sports (Basel, Switzerland)*, *7*(8). https://doi.org/10.3390/sports7080192

Clemente, F. M., Ramirez-Campillo, R., Castillo, D., Raya-González, J., Silva, A. F., Afonso, J., Sarmento, H., Rosemann, T., & Knechtle, B. (2021). Effects of mental fatigue in total running distance and tactical behavior during small-sided games : A systematic review with a meta-analysis in youth and young adult's soccer players. *Frontiers in Psychology*, *12*, 656445. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.656445

Cocić, D., Vaci, N., Prieger, R., & Bilalić, M. (2020). Reading the future from body movements–anticipation in handball. *Journal of Motor Behavior*, 1–16.

https://doi.org/10.1080/00222895.2020.1802216
Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, *20*, 37–46. https://doi.org/10.1177/001316446002000104
Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed éd.). New York : Routledge : L. Erlbaum Associates.
Connell, C. J. W., Thompson, B., Kuhn, G., & Gant, N. (2016). Exercise-induced fatigue and caffeine supplementation affect psychomotor performance but not covert visuo-spatial attention. *PLoS ONE*, *11*(10). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165318
Connor, J. D., Crowther, R. G., & Sinclair, W. H. (2018). Effect of different evasion maneuvers on anticipation and visual behavior in elite rugby league players. *Motor Control*, *22*(1), 18–27. https://doi.org/10.1123/mc.2016-0034
Conte, D., Kamarauskas, P., Ferioli, D., Scanlan, A. T., Kamandulis, S., Paulauskas, H., & Lukonaitienė, I. (2020). Workload and well-being across games played on consecutive days during inseason phase in basketball players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. https://doi.org/10.23736/S0022-4707.20.11396-3
Crabtree, D. A., & Antrim, L. R. (1988). Guidelines for measuring reaction time. *Perceptual and Motor Skills*, *66*(2), 363–370. https://doi.org/10.2466/pms.1988.66.2.363
Craig, C. L., Marshall, A. L., Sjöström, M., Bauman, A. E., Booth, M. L., Ainsworth, B. E., Pratt, M., Ekelund, U., Yngve, A., Sallis, J. F., & Oja, P. (2003). International physical activity questionnaire : 12-country reliability and validity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *35*(8), 1381–1395. https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000078924.61453.FB
Crocetta, T. B., Guarnieri, R., Massetti, T., Silva, T. D. d., Barbosa, R. T. d. A., Antão, J. Y. F. d. L., Abreu, L. C. d., & Monteiro, C. B. d. M. (2019). Concurrent validity and reliability of alternative computer game for the coincidence-anticipation timing task. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, *23*(2), 169–185. https://doi.org/10.1080/1091367X.2018.1560297
Crognier, L., & Féry, Y.-A. (2005). Effect of tactical initiative on predicting passing shots in tennis. *Applied Cognitive Psychology*, *19*(5), 637–649. https://doi.org/10.1002/acp.1100
Cross, R., & Pollard, G. (2011). Grand Slam men's singles tennis 1995-2009 Part 2 : Points, games and sets. *Coaching and Sport Science Review*, *53*, 3–6.
Czyż, S. H. (2021). Variability of practice, information processing, and decision making—How much do we know ? *Frontiers in Psychology*, 12 :639131. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.639131
Davey, P. R., Thorpe, R. D., & Williams, C. (2002). Fatigue decreases skilled tennis performance. *Journal of Sports Sciences*, *20*(4), 311–318. https://doi.org/10.1080/026404102753576080
Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1985). Conceptualizations of intrinsic motivation and self-determination. In *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior* (pp. 11–40). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-2271-7
Decroix, M., Wazir, M. R. W. N., Zeuwts, L., Deconinck, F. F., Lenoir, M., & Vansteenkiste, P. (2017). Expert – Non-expert differences in visual behaviour during alpine slalom skiing. *Human Movement Science*, *55*, 229–239. https://doi.org/10.1016/j.humov.2017.08.012
Dehaene, S. (2018). *Apprendre ! Les talents du cerveau, le défi des machines*. Odile Jacob.
Delabarre, L., Slawinski, J., & Loiseau Taupin, M. (2020). *Analyse des habiletés perceptivo-motrices en badminton* (Mémoire Master 1). Université de Paris.
Dicks, M., Button, C., & Davids, K. (2010). Examination of gaze behaviors under in situ and video simulation task constraints reveals differences in information pickup for perception and action. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *72*(3), 706–720. https://doi.org/10.3758/APP.72.3.706
Dicks, M., Davids, K., & Button, C. (2010). Individual differences in the visual control of

intercepting a penalty kick in association football. *Human Movement Science*, *29*(3), 401–411. https://doi.org/10.1016/j.humov.2010.02.008

Dieu, O., Schnitzler, C., Drumez, E., Harmel, E., & Potdevin, F. (2017). Analyse de la dynamique temporelle d'un set en badminton en fonction de niveaux de pratique : réflexions sur les stratégies couramment proposées en EPS. *Ejournal de la recherche sur l'intervention en éducation physique et sport -eJRIEPS*(42). https://doi.org/10.4000/ejrieps.542

Dieu, O., Schnitzler, C., Llena, C., & Potdevin, F. (2020). Complementing subjective with objective data in analysing expertise : A machine-learning approach applied to badminton. *Journal of Sports Sciences*, 1–10. https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1764812

Dieu, O., Vanhelst, J., Bui-Xuân, G., Blondeau, T., Fardy, P. S., & Mikulovic, J. (2014). Relationship between tactics and energy expenditure according to level of experience in badminton. *Perceptual and Motor Skills*, *119*(2), 455–467. https://doi.org/10.2466/29.PMS.119c21z3

Drisdelle, B. L. (2019). *Rôle de l'attention lors de la recherche visuelle : mesures électrophysiologiques* (Thèse de doctorat non publiée). Université de Montréal, Université de Montréal.

Duncan, J., & Humphreys, G. W. (1984). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*, *96*(3), 433–458.

Duncan, M. J., Fowler, N., George, O., Joyce, S., & Hankey, J. (2015). Mental fatigue negatively influences manual dexterity and anticipation timing but not repeated high-intensity exercise performance in trained adults. *Research in Sports Medicine*, *23*(1), 1–13. https://doi.org/10.1080/15438627.2014.975811

Düking, P., Giessing, L., Frenkel, M., & Sperlich, B. (2020). *Validity of the Polar Vantage V to assess heart rate variability during an orthostatic test.*

Elliott, B., Reid, M., & Crespo, M. (2003). Biomechanics of advanced tennis. *London : ITF*, 73–92.

Engström, E., Ottosson, E., Wohlfart, B., Grundström, N., & Wisén, A. (2012). Comparison of heart rate measured by Polar RS400 and ECG, validity and repeatability. *Advances in Physiotherapy*. (Publisher : Taylor & Francis)

Enns, J. T., & Richards, J. C. (1997). Visual attentional orienting in developing hockey players. *Journal of Experimental Child Psychology*, *64*(2), 255–275. https://doi.org/10.1006/jecp.1996.2348

Enoka, R. M., & Duchateau, J. (2016). Translating fatigue to human performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *48*(11), 2228–2238. https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000929

Epstein, W., & Rogers, S. (1995). *Perception of space and motion* (1st éd.). Elsevier Science Publishing Co Inc.

Ericsson, K. A., & Kintsch, W. (1995). Long-term working memory. *Psychological Review*, *102*(2), 211–245. https://doi.org/10.1037/0033-295X.102.2.211

Ericsson, K. A., Krampe, R. T., & Tesch-Römer, C. (1993). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological Review*, *100*(3), 363–406. https://doi.org/10.1037/0033-295X.100.3.363

Ericsson, K. A., & Smith, J. (1991). Prospects and limits of the empirical study of expertise : An introduction. In *Toward a general theory of expertise : Prospects and limits* (pp. 1–38). New York, NY, US : Cambridge University Press.

Everitt, B. S., & Skrondal, A. (2002). The Cambridge dictionary of statistics. *Cambridge University Press*, *Fourth edition*, 480.

Eysenck, M. W., Derakshan, N., Santos, R., & Calvo, M. G. (2007). Anxiety and cognitive performance : attentional control theory. *Emotion*, *7*(2), 336–353.

https://doi.org/10.1037/1528-3542.7.2.336

Fan, J., McCandliss, B. D., Sommer, T., Raz, A., & Posner, M. I. (2002). Testing the efficiency and independence of attentional networks. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *14*(3), 340–347. https://doi.org/10.1162/089892902317361886

Farrow, D., & Abernethy, B. (2003). Do expertise and the degree of perception-action coupling affect natural anticipatory performance ? *Perception*, *32*(9), 1127–1139. https://doi.org/10.1068/p3323

Farrow, D., & Abernethy, B. (2015). Expert anticipation and pattern perception. In J. Baker & D. Farrow (Eds.), *Routledge Handbook of Sport Expertise* (1re éd., pp. 9–21). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315776675-2

Farrow, D., Abernethy, B., & Jackson, R. C. (2005). Probing expert anticipation with the temporal occlusion paradigm : experimental investigations of some methodological issues. *Motor Control*, *9*(3), 330–349. https://doi.org/10.1123/mcj.9.3.330

Farrow, D., & Reid, M. (2012). The contribution of situational probability information to anticipatory skill. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *15*(4), 368–373. https://doi.org/10.1016/j.jsams.2011.12.007

Fayt, V., Quignon, G., & Lazzari, S. (2005). Influence de l'incrémentation de l'intensité de l'exercice sur les paramètres d'exécution gestuelle en tennis de table. *Les Cahiers de l'INSEP*, *35*(1), 71–79. https://doi.org/10.3406/insep.2005.1828

Fernandez-Fernandez, J., Lopez-Valenciano, A., Garcia-Tormo, J. V., Cabello-Manrique, D., & García-López, J. (2021). Acute effects of 2 consecutive simulated badminton matches on the shoulder range of motion and isometric strength of elite youth players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1–7. https://doi.org/10.1123/ijspp.2020-0659

Finsterer, J., & Mahjoub, S. Z. (2014). Fatigue in healthy and diseased individuals. *The American Journal of Hospice & Palliative Care*, *31*(5), 562–575. https://doi.org/10.1177/1049909113494748

Fortin-Guichard, D. (2021). *Attention sélective et prise de décision chez les volleyeurs : comparaison entre passeurs et autres joueurs* (Thèse de doctorat non publiée). Université Laval, Québec, Canada.

Fortin-Guichard, D., Laflamme, V., Julien, A.-S., Trottier, C., & Grondin, S. (2020). Decision-making and dynamics of eye movements in volleyball experts. *Scientific Reports*, *10*(1), 17288. https://doi.org/10.1038/s41598-020-74487-x

Foster, C., Boullosa, D., McGuigan, M., Fusco, A., Cortis, C., Arney, B. E., Orton, B., Dodge, C., Jaime, S., Radtke, K., Erp, T. v., Koning, J. J. d., Bok, D., Rodriguez-Marroyo, J. A., & Porcari, J. P. (2021). 25 years of session rating of perceived exertion : historical perspective and development. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *16*(5), 612–621. https://doi.org/10.1123/ijspp.2020-0599

French, K. E., & Thomas, J. R. (1987). The relation of knowledge development to children's basketball performance. *Journal of Sport Psychology*, *9*(1), 15–32.

Fu, Y., Liu, Y., Chen, X., Li, Y., Li, B., Wang, X., Shu, Y., & Shang, L. (2021). Comparison of energy contributions and workloads in male and female badminton players during games versus repetitive practices. *Frontiers in Physiology*, *12*, 640199. https://doi.org/10.3389/fphys.2021.640199

Galeano, J., Gomez, M.-A., Rivas, F., & Buldú, J. M. (2021). Entropy of badminton strike positions. *Entropy*, *23*(7), 799. https://doi.org/10.3390/e23070799

Ganglmayer, K., Haupt, M., Finke, K., & Paulus, M. (2021). Adults, but not preschoolers or toddlers integrate situational constraints in their action anticipations : a developmental study on the flexibility of anticipatory gaze. *Cognitive Processing*. https://doi.org/10.1007/s10339-021-01015-8

Gao, Y., Chen, L., Yang, S.-n., Wang, H., Yao, J., Dai, Q., & Chang, S. (2015). Contributions of visuo-oculomotor abilities to interceptive skills in sports. *Optometry and Vision Science*, 1. https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000000599

Gegenfurtner, A., Lehtinen, E., & Säljö, R. (2011). Expertise differences in the comprehension of visualizations : A meta-Analysis of eye-tracking research in professional domains. *Educational Psychology Review*, *23*(4), 523–552. https://doi.org/10.1007/s10648-011-9174-7

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 : Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, *18*(6), 1038–1046. https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2007.05.005

Girard, O., & Millet, G. P. (2009). Neuromuscular fatigue in racquet sports. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, *20*(1), 161–173. https://doi.org/10.1016/j.pmr.2008.10.008

Glavan, J. J., Haggit, J. M., & Houpt, J. W. (2020). Temporal organization of color and shape processing during visual search. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *82*(2), 426–456. https://doi.org/10.3758/s13414-019-01863-9

Goldberg, J. H., & Kotval, X. P. (1999). Computer interface evaluation using eye movements : methods and constructs. *International journal of industrial ergonomics : IE*, *24*(6), 631–645.

Golomb, J. D. (2019). Remapping locations and features across saccades : a dual-spotlight theory of attentional updating. *Current Opinion in Psychology*, *29*, 211–218. https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2019.03.018

Gredin, N. V., Bishop, D. T., Broadbent, D. P., Tucker, A., & Williams, A. M. (2018). Experts integrate explicit contextual priors and environmental information to improve anticipation efficiency. *Journal of Experimental Psychology : Applied*, *24*(4), 509–520. https://doi.org/10.1037/xap0000174

Gredin, N. V., Broadbent, D. P., Findon, J. L., Williams, A. M., & Bishop, D. T. (2020). The impact of task load on the integration of explicit contextual priors and visual information during anticipation. *Psychophysiology*, e13578. https://doi.org/10.1111/psyp.13578

Grondin, S. (2016). *Psychology of perception*. Cham : Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31791-5

Gréhaigne, J.-F., Godbout, P., & Bouthier, D. (2001). The teaching and learning of decision making in team sports. *Quest*, *53*(1), 59–76. https://doi.org/10.1080/00336297.2001.10491730

Güldenpenning, I., Steinke, A., Koester, D., & Schack, T. (2013). Athletes and novices are differently capable to recognize feint and non-feint actions. *Experimental Brain Research*, *230*(3), 333–343. https://doi.org/10.1007/s00221-013-3658-2

Habay, J., Van Cutsem, J., Verschueren, J., De Bock, S., Proost, M., De Wachter, J., Tassignon, B., Meeusen, R., & Roelands, B. (2021). Mental fatigue and sport-specific psychomotor performance : A systematic review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*. https://doi.org/10.1007/s40279-021-01429-6

Hadlow, S. M., Panchuk, D., Mann, D. L., Portus, M. R., & Abernethy, B. (2018). Modified perceptual training in sport : A new classification framework. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *21*(9), 950–958. https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.01.011

Hagemann, N., Strauss, B., & Cañal-Bruland, R. (2006). Training perceptual skill by orienting visual attention. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *28*(2), 143–158. https://doi.org/10.1123/jsep.28.2.143

Haider, H., & Frensch, P. A. (1999). Eye movement during skill acquisition : More evidence

for the information-reduction hypothesis. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, *25*(1), 172–190. https://doi.org/10.1037/0278-7393.25.1.172

Halson, S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Medicine*, *44*(Suppl 2), 139–147. https://doi.org/10.1007/s40279-014-0253-z

Halász, V., & Cunnington, R. (2012). Unconscious effects of action on perception. *Brain Sciences*, *2*(2), 130–146. https://doi.org/10.3390/brainsci2020130

Harezlak, K., Kasprowski, P., & Stasch, M. (2014). Towards Accurate Eye Tracker Calibration – Methods and Procedures. *Procedia Computer Science*, *35*, 1073–1081. https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.08.194

Hausegger, T., Vater, C., & Hossner, E.-J. (2019). Peripheral vision in martial arts experts : The cost-dependent anchoring of gaze. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 11.

Hayhoe, M. M., McKinney, T., Chajka, K., & Pelz, J. B. (2012). Predictive eye movements in natural vision. *Experimental Brain Research*, *217*(1), 125–136. https://doi.org/10.1007/s00221-011-2979-2

Heinemann, A., Kiesel, A., Pohl, C., & Kunde, W. (2010). Masked response priming in expert typists. *Consciousness and Cognition*, *19*(1), 399–407. https://doi.org/10.1016/j.concog.2009.09.003

Heinrich, A., Hansen, D. W., Stoll, O., & Cañal-Bruland, R. (2020). The impact of physiological fatigue and gaze behavior on shooting performance in expert biathletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *23*(9), 883–890. https://doi.org/10.1016/j.jsams.2020.02.010

Helm, F., Cañal-Bruland, R., Mann, D. L., Troje, N. F., & Munzert, J. (2020). Integrating situational probability and kinematic information when anticipating disguised movements. *Psychology of Sport and Exercise*, *46*, 101607. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2019.101607

Henderson, J. M., Hayes, T. R., Rehrig, G., & Ferreira, F. (2018). Meaning guides attention during real-world scene description. *Scientific Reports*, *8*(1), 13504. https://doi.org/10.1038/s41598-018-31894-5

Hicheur, H., Chauvin, A., Chassot, S., Chenevière, X., & Taube, W. (2017). Effects of age on the soccer-specific cognitive-motor performance of elite young soccer players : Comparison between objective measurements and coaches' evaluation. *PLOS ONE*, *12*(9), e0185460. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185460

Hodges, N. J., Wyder-Hodge, P. A., Hetherington, S., Baker, J., Besler, Z., & Spering, M. (2021). Topical review : Perceptual-cognitive skills, methods, and skill-based comparisons in interceptive sports. *Optometry and Vision Science : Official Publication of the American Academy of Optometry*, *98*(7), 681–695. https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000001727

Hoffman, J. E., & Subramaniam, B. (1995). The role of visual attention in saccadic eye movements. *Perception & Psychophysics*, *57*(6), 787–795. https://doi.org/10.3758/BF03206794

Hopstaken, J. F., van der Linden, D., Bakker, A. B., Kompier, M. A. J., & Leung, Y. K. (2016). Shifts in attention during mental fatigue : Evidence from subjective, behavioral, physiological, and eye-tracking data. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, *42*(6), 878–889. https://doi.org/10.1037/xhp0000189

Hornery, D. J., Farrow, D., Mujika, I., & Young, W. (2007). Fatigue in tennis : mechanisms of fatigue and effect on performance. *Sports Medicine*, *37*(3), 199–212. https://doi.org/10.2165/00007256-200737030-00002

Hosp, B. W., Schultz, F., Höner, O., & Kasneci, E. (2021). Soccer goalkeeper expertise identification based on eye movements. *PLOS ONE*, *16*(5), e0251070. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251070

Huang, H., Chatchawan, U., Eungpinichpong, W., & Hunsawong, T. (2019). Progressive

decrease in leg-power performance during a fatiguing badminton field test. *Journal of Physical Therapy Science*, *31*(10), 765–770. https://doi.org/10.1589/jpts.31.765

Huber-Huber, C., Buonocore, A., & Melcher, D. (2021). The extrafoveal preview paradigm as a measure of predictive, active sampling in visual perception. *Journal of Vision*, *21*(7), 12. https://doi.org/10.1167/jov.21.7.12

Huys, R., Smeeton, N. J., Hodges, N. J., Beek, P. J., & Williams, A. M. (2008). On the dynamic information underlying visual anticipation skill. *Perception & Psychophysics*, *70*(7), 1217–1234. https://doi.org/10.3758/PP.70.7.1217

Hüttermann, S., & Memmert, D. (2017). The attention window : A narrative review of limitations and opportunities influencing the focus of attention. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *88*(2), 169–183. https://doi.org/10.1080/02701367.2017.1293228

Hüttermann, S., Noël, B., & Memmert, D. (2018). Eye tracking in high-performance sports : Evaluation of its application in expert athletes. *International Journal of Computer Science in Sport*, *17*(2), 182–203. https://doi.org/10.2478/ijcss-2018-0011

Ida, H., Fukuhara, K., Ishii, M., & Inoue, T. (2013). Perceptual response and information pick-up strategies within a family of sports. *Human Movement Science*, *32*(1), 106–120. https://doi.org/10.1016/j.humov.2012.08.002

Ishii, A., Tanaka, M., & Watanabe, Y. (2014). Neural mechanisms of mental fatigue. *Reviews in the Neurosciences*, *25*(4), 469–479. https://doi.org/10.1515/revneuro-2014-0028

Jeannerod, M. (2001). Neural simulation of action : a unifying mechanism for motor cognition. *NeuroImage*, *14*, 103–109. https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0832

Jin, H., Xu, G., Zhang, J. X., Gao, H., Ye, Z., Wang, P., Lin, H., Mo, L., & Lin, C.-D. (2011). Event-related potential effects of superior action anticipation in professional badminton players. *Neuroscience Letters*, *492*(3), 139–144. https://doi.org/10.1016/j.neulet.2011.01.074

Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1980). A theory of reading : From eye fixations to comprehension. *Psychological Review*, *87*(4), 329–354. https://doi.org/10.1037/0033-295X.87.4.329

Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs : Prentice Hall.

Kassner, M., Patera, W., & Bulling, A. (2014). Pupil : an open source platform for pervasive eye tracking and mobile gaze-based interaction. In *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing : Adjunct Publication* (pp. 1151–1160). Seattle Washington : ACM. https://doi.org/10.1145/2638728.2641695

Kato, T. (2020). Using "Enzan No Metsuke" (gazing at the far mountain) as a visual search strategy in kendo. *Frontiers in Sports and Active Living*(2 :40).

Kiesel, A., Kunde, W., Pohl, C., Berner, M. P., & Hoffmann, J. (2009). Playing chess unconsciously. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, *35*(1), 292–298.

Kim, S., Lee, S., Ryu, D., Kim, C., & Lee, S. (2007). How do national badminton players utilize advanced visual cues to anticipate an attacker's intent ? *Journal of Sport & Exercise Psychology*, *29*(S1), 97.

Kim, Y.-T., Seo, J.-H., Song, H.-J., Yoo, D.-S., Lee, H. J., Lee, J., Lee, G., Kwon, E., Kim, J. G., & Chang, Y. (2011). Neural correlates related to action observation in expert archers. *Behavioural Brain Research*, *223*(2), 342–347. https://doi.org/10.1016/j.bbr.2011.04.053

Kishita, Y., Ueda, H., & Kashino, M. (2020). Eye and head movements of elite baseball players in real batting. *Frontiers in Sports and Active Living*, *2*, 3. https://doi.org/10.3389/fspor.2020.00003

Klatt, S., & Smeeton, N. J. (2021). Processing visual information in elite junior soccer players : Effects of chronological age and training experience on visual

perception, attention, and decision making. *European Journal of Sport Science*, 1–28. https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1887366

Klein, G., Ross, K., Moon, B., Klein, D., Hoffman, R., & Hollnagel, E. (2003). Macrocognition. *IEEE Intelligent Systems*, *18*(3), 81–85. https://doi.org/10.1109/MIS.2003.1200735

Klein, R. (2000). Inhibition of return. *Trends in Cognitive Sciences*, *4*(4), 138–147. https://doi.org/10.1016/s1364-6613(00)01452-2

Kliegl. (2010). Experimental effects and individual differences in linear mixed models : estimating the relationship between spatial, object, and attraction effects in visual attention. *Frontiers in Psychology*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2010.00238

Klostermann, A. (2019). Especial skill vs. quiet eye duration in basketball free throw : Evidence for the inhibition of competing task solutions. *European Journal of Sport Science*, 1–8. https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1571113

Klostermann, A., & Moeinirad, S. (2019). Fewer fixations of longer duration ? Expert gaze behavior revisited. *German Journal of Exercise and Sport Research*, *50*(1), 146–161. https://doi.org/10.1007/s12662-019-00616-y

Klostermann, A., Vater, C., Kredel, R., & Hossner, E.-J. (2019). Perception and action in sports. On the functionality of foveal and peripheral vision. *Frontiers in Sports and Active Living*, *1*, 66. https://doi.org/10.3389/fspor.2019.00066

Kluger, B. M., Krupp, L. B., & Enoka, R. M. (2013). Fatigue and fatigability in neurologic illnesses : proposal for a unified taxonomy. *Neurology*, *80*(4), 409–416. https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e31827f07be

Knicker, A. J., Renshaw, I., Oldham, A. R. H., & Cairns, S. P. (2011). Interactive processes link the multiple symptoms of fatigue in sport competition. *Sports Medicine*, *41*(4), 307–328. https://doi.org/10.2165/11586070-000000000-00000

Kolman, N. S., Kramer, T., Elferink-Gemser, M. T., Huijgen, B. C. H., & Visscher, C. (2019). Technical and tactical skills related to performance levels in tennis : A systematic review. *Journal of Sports Sciences*, *37*(1), 108–121. https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1483699

Kosack, M. H., Staiano, W., Folino, R., Hansen, M. B., & Lønbro, S. (2020). The acute effect of mental fatigue on badminton performance in elite players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1–7. https://doi.org/10.1123/ijspp.2019-0361

Krantz, N., & Dartnell, L. (2000). *Les experts en questions - savoirs professionnels en matiere d'entrainement* (INSEP Publications éd.).

Kredel, R., Vater, C., Klostermann, A., & Hossner, E.-J. (2017). Eye-tracking technology and the dynamics of natural gaze behavior in sports : A systematic review of 40 years of research. *Frontiers in Psychology*, *8*, 1845. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01845

Kristjánsson, A., & Draschkow, D. (2021). Keeping it real : Looking beyond capacity limits in visual cognition. *Attention, Perception & Psychophysics*. https://doi.org/10.3758/s13414-021-02256-7

Kuan, Y. M., Zuhairi, N. A., Manan, F. A., Knight, V. F., & Omar, R. (2018). Visual reaction time and visual anticipation time between athletes and non-athletes. *Malaysian Journal of Public Health Medicine*, 135–141.

Kundel, H. L., Nodine, C. F., Conant, E. F., & Weinstein, S. P. (2007). Holistic component of image perception in mammogram interpretation : gaze-tracking study. *Radiology*, *242*(2), 396–402. https://doi.org/10.1148/radiol.2422051997

Land, W. M. (2016). Action effects and task knowledge : The influence of anticipatory priming on the identification of task-related stimuli in experts. *PLOS ONE*, *11*(6), e0156928. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156928

Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, *33*(1), 159–174.

Lee, P. H., Macfarlane, D. J., Lam, T., & Stewart, S. M. (2011). Validity of the international physical activity questionnaire short form (IPAQ-SF) : A systematic review. *The International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, *8*, 115. https://doi.org/10.1186/1479-5868-8-115

Le Mansec, Y. (2017). *Conséquences de la fatigue sur la performance en tennis de table* (Thèse de doctorat non publiée). Université Bretagne Loire, Université Bretagne Loire.

Le Mansec, Y., Pageaux, B., Nordez, A., Dorel, S., & Jubeau, M. (2018). Mental fatigue alters the speed and the accuracy of the ball in table tennis. *Journal of Sports Sciences*, *36*(23), 2751–2759. https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1418647

Le Runigo, C., Benguigui, N., & Bardy, B. G. (2010). Visuo-motor delay, information-movement coupling, and expertise in ball sports. *Journal of Sports Sciences*, *28*(3), 327–337. https://doi.org/10.1080/02640410903502782

Lewis, M. B., & Dawkins, G. (2015). Local Navon letter processing affects skilled behavior : A golf-putting experiment. *Psychonomic Bulletin & Review*, *22*(2), 420–428. https://doi.org/10.3758/s13423-014-0702-6

Li, Q., & Ding, H. (2021). Construction of the structural equation model of badminton players' variable direction ability and its enlightenment to sports training. *Annals of Palliative Medicine*, *10*(4), 4623–4631. https://doi.org/10.21037/apm-21-644

Lithfous, S., Després, O., & Dufour, A. (2018). Les déficits d'attention spatiale. In *Le vieillissement neurodégénératif : méthodes de diagnostic différentiel* (p. 164). Elsevier Masson.

Liu, T., Shao, M., Yin, D., Li, Y., Yang, N., Yin, R., Leng, Y., Jin, H., & Hong, H. (2017). The effect of badminton training on the ability of same-domain action anticipation for adult novices : Evidence from behavior and ERPs. *Neuroscience Letters*, *660*, 6–11. https://doi.org/10.1016/j.neulet.2017.08.038

Loffing, F., & Cañal-Bruland, R. (2017). Anticipation in sport. *Current Opinion in Psychology*, *16*, 6–11. https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2017.03.008

Loffing, F., Stern, R., & Hagemann, N. (2015). Pattern-induced expectation bias in visual anticipation of action outcomes. *Acta Psychologica*, *161*, 45–53. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2015.08.007

Loffing, F., Sölter, F., Hagemann, N., & Strauss, B. (2016). On-court position and handedness in visual anticipation of stroke direction in tennis. *Psychology of Sport and Exercise*, *27*, 195–204. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2016.08.014

Lu, Y., Yang, T., Hatfield, B. D., Cong, F., & Zhou, C. (2019). Influence of cognitive-motor expertise on brain dynamics of anticipatory-based outcome processing. *Psychophysiology*, e13477. https://doi.org/10.1111/psyp.13477

Luck, S. J. (2009). The spatiotemporal dynamics of visual-spatial attention. In F. Aboitiz & D. Cosmelli (Eds.), *From Attention to Goal-Directed Behavior : Neurodynamical, Methodological and Clinical Trends* (pp. 51–66). Berlin, Heidelberg : Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-70573-4_3

Luft, C. D. B., Takase, E., & Darby, D. (2009). Heart rate variability and cognitive function : effects of physical effort. *Biological Psychology*, *82*(2), 164–168. https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2009.07.007

Lum, J., Enns, J. T., & Pratt, J. (2002). Visual orienting in college athletes : explorations of athlete type and gender. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *73*(2), 156–167. https://doi.org/10.1080/02701367.2002.10609004

Luque-Casado, A., Zabala, M., Morales, E., Mateo-March, M., & Sanabria, D. (2013). Cognitive performance and heart rate variability : The influence of fitness level. *PLOS ONE*, *8*(2), e56935. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056935

Lux, S., Marshall, J., Thimm, M., & Fink, G. (2008). Differential processing of hierarchical

visual stimuli in young and older healthy adults : Implications for pathology. *Cortex*. https://doi.org/10.1016/j.cortex.2005.08.001

Lyons, M., Al-Nakeeb, Y., Hankey, J., & Nevill, A. M. (2011). Groundstroke accuracy under moderate and high-intensity fatigue in expert and non-expert tennis players. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *43*(5), 944. https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000402637.33820.ff

Lüders, T., Schorer, J., & Loffing, F. (2020). On the influence of action preference on female players' gaze behavior during defense of volleyball attacks. *Frontiers in Sports and Active Living*, *2*, 6. https://doi.org/10.3389/fspor.2020.00006

MacInnes, J. J., Iqbal, S., Pearson, J., & Johnson, E. N. (2018). Wearable eye-tracking for research : Automated dynamic gaze mapping and accuracy/precision comparisons across devices. *bioRxiv*. https://doi.org/10.1101/299925

MacIntosh, B. R., Gardiner, P. F., & McComas, A. J. (2006). Chapter 15 Fatigue. In *Skeletal muscle form and function* (2nd ed. éd.). Champaign, Ill. Leeds Human Kinetics.

Mackay, D. G. (1973). Aspects of the theory of comprehension, memory and attention. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *25*(1), 22–40. https://doi.org/10.1080/14640747308400320

Madsen, C. M., Højlyng, M., & Nybo, L. (2016). Testing of badminton-specific endurance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *30*(9), 2582–2590. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001350

Madsen, C. M., Karlsen, A., & Nybo, L. (2015). Novel speed test for evaluation of badminton-specific movements. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *29*(5), 1203–1210. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000635

Magill, R., & Anderson, D. (2017). *Motor learning and control : concepts and applications (11th ed.)*. (M.-H. Education, Ed.). New York, NY.

Makaruk, H., Porter, J. M., Sadowski, J., Bodasińska, A., Zieliński, J., Niźnikowski, T., & Mastalerz, A. (2019). The effects of combining focus of attention and autonomy support on shot accuracy in the penalty kick. *PloS One*, *14*(9), e0213487. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213487

Mallek, M. (2019). *Expertise en sport de balle dans des tâches de poursuite virtuelle : importance de l'implication des processus perceptivo-moteurs* (Thèse de doctorat non publiée). Normandie Université, Normandie Université.

Mann, D. L., Schaefers, T., & Cañal-Bruland, R. (2014). Action preferences and the anticipation of action outcomes. *Acta Psychologica*, *152*, 1–9. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2014.07.004

Mann, D. T. Y., Williams, A. M., Ward, P., & Janelle, C. M. (2007). Perceptual-cognitive expertise in sport : a meta-analysis. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *29*(4), 457–478. https://doi.org/10.1123/jsep.29.4.457

Mansec, Y. L., Perez, J., Rouault, Q., Doron, J., & Jubeau, M. (2019). Impaired performance of the smash stroke in badminton induced by muscle fatigue. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1–24. https://doi.org/10.1123/ijspp.2018-0697

Marieb, E. N., & Hoehn, K. (2019). *Anatomie et physiologie humaines* (11e éd.). Pearson Education France.

Martell, S. G., & Vickers, J. N. (2004). Gaze characteristics of elite and near-elite athletes in ice hockey defensive tactics. *Human Movement Science*, *22*(6), 689–712. https://doi.org/10.1016/j.humov.2004.02.004

Marteniuk, R. G. (1976). *Information processing in motor skills*. New York : New York : Holt, Rinehart, and Winston.

Martínez de Quel, O., & Bennett, S. J. (2019). Perceptual-cognitive expertise in combat sports : a narrative review and a model of perception-action. *RICYDE. Revista internacional de*

ciencias del deporte, *15*(58), 323–338. https://doi.org/10.5232/ricyde2019.05802

McCarley, J. S., & Kramer, A. F. (2007). Eye movements as a window on perception and cognition. In *Neuroergonomics : The brain at work* (pp. 95–112). New York, NY, US : Oxford University Press.

McMains, S. A., & Somers, D. C. (2004). Multiple spotlights of attentional selection in human visual cortex. *Neuron*, *42*(4), 677–686. https://doi.org/10.1016/s0896-6273(04)00263-6

McRobert, A. P., Ward, P., Eccles, D. W., & Williams, A. M. (2011). The effect of manipulating context-specific information on perceptual-cognitive processes during a simulated anticipation task. *British Journal of Psychology*, *102*(3), 519–534. https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.2010.02013.x

Memmert, D. (2009). Pay attention ! A review of visual attentional expertise in sport. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, *2*(2), 119–138. https://doi.org/10.1080/17509840802641372

Mendez-Villanueva, A., Fernandez-Fernandez, J., & Bishop, D. (2007). Exercise-induced homeostatic perturbations provoked by singles tennis match play with reference to development of fatigue. *British Journal of Sports Medicine*, *41*(11), 717–722. https://doi.org/10.1136/bjsm.2007.037259

Meng, F.-W., Yao, Z.-F., Chang, E. C., & Chen, Y.-L. (2019). Team sport expertise shows superior stimulus-driven visual attention and motor inhibition. *PloS One*, *14*(5), e0217056. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217056

Micklewright, D., St Clair Gibson, A., Gladwell, V., & Al Salman, A. (2017). Development and validity of the rating-of-fatigue scale. *Sports Medicine*, *47*(11), 2375–2393. https://doi.org/10.1007/s40279-017-0711-5

Milazzo, N., Farrow, D., Ruffault, A., & Fournier, J. F. (2015). Do karate fighters use situational probability information to improve decision-making performance during on-mat tasks ? *Journal of Sports Sciences*, *34*(16), 1547–1556. https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1122824

Milner, D., & Goodale, M. (2006). *The visual brain in action*. Oxford University Press.

Molenberghs, P. (2012). Brain regions with mirror properties : A meta-analysis of 125 human fMRI studies. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 9.

Montagnini, A., Perrinet, L., & Masson, G. S. (2015, août). Visual motion processing and human tracking behavior. In G. Crist{\'{o}}bal, L. U. Perrinet, & M. S. Keil (Eds.), *Biologically Inspired Computer Vision* (Vol. 12, pp. 267–294).

Moreira, P. E. D., Dieguez, G. T. d. O., Bredt, S. d. G. T., & Praça, G. M. (2021). The acute and chronic effects of dual-task on the motor and cognitive performances in athletes : A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(4). https://doi.org/10.3390/ijerph18041732

Moreno-Perez, V., Gallo-Salazar, C., Coso, J. D., Ruiz-Pérez, I., Lopez-Valenciano, A., Barbado, D., Cabello-Manrique, D., & Fernandez-Fernandez, J. (2020). The influence of a badminton competition with two matches in a day on muscle damage and physical performance in elite junior badminton players. *Biology of Sport*, *37*(2), 195–201. https://doi.org/10.5114/biolsport.2020.94243

Mori, S., Ohtani, Y., & Imanaka, K. (2002). Reaction times and anticipatory skills of karate athletes. *Human Movement Science*, *21*(2), 213–230. https://doi.org/10.1016/S0167-9457(02)00103-3

Morris-Binelli, K., & Müller, S. (2017). Advancements to the understanding of expert visual anticipation skill in striking sports. *Canadian Journal of Behavioural Science / Revue canadienne des sciences du comportement*, *49*(4), 262–268. https://doi.org/10.1037/cbs0000079

Morris-Binelli, K., Müller, S., van Rens, F. E. C. A., Harbaugh, A. G., & Rosalie, S. M.

(2021). Individual differences in performance and learning of visual anticipation in expert field hockey goalkeepers. *Psychology of Sport and Exercise*, *52*, 101829. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2020.101829

Muraskin, J., Sherwin, J., Lieberman, G., Garcia, J. O., Verstynen, T., Vettel, J. M., & Sajda, P. (2017). Fusing multiple neuroimaging modalities to assess group differences in perception–action coupling. *Proceedings of the IEEE*, *105*(1), 83–100. https://doi.org/10.1109/JPROC.2016.2574702

Murphy, C. P., Jackson, R. C., & Williams, A. M. (2018). The role of contextual information during skilled anticipation. *Quarterly Journal of Experimental Psychology (2006)*, *71*(10), 2070–2087. https://doi.org/10.1177/1747021817739201

Murray, N. P., & Hunfalvay, M. (2017). A comparison of visual search strategies of elite and non-elite tennis players through cluster analysis. *Journal of Sports Sciences*, *35*(3), 241–246. https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1161215

Müller, S., & Abernethy, B. (2012). Expert anticipatory skill in striking sports : a review and a model. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *83*(2), 175–187. https://doi.org/10.1080/02701367.2012.10599848

Müller, S., Abernethy, B., Reece, J., Rose, M., Eid, M., McBean, R., Hart, T., & Abreu, C. (2009). An in-situ examination of the timing of information pick-up for interception by cricket batsmen of different skill levels. *Psychology of Sport and Exercise*, *10*(6), 644–652. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2009.04.002

Müller, S., Brenton, J., & Mansingh, A. (2020). Sources of information pick-up for anticipation by skilled cricket batsmen. *European Journal of Sport Science*, 1–23. https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1842911

Nadolny, M. (2014). *Volants et balles : les objets sportifs les plus rapides. Équipe Canada | Site officiel de l'équipe olympique. https ://olympique.ca/2014/09/12/volants-et-balles-les-objets-les-plus-rapides-en-sport/.*

Nakashima, R., & Kumada, T. (2017). The whereabouts of visual attention : Involuntary attentional bias toward the default gaze direction. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *79*(6), 1666–1673. https://doi.org/10.3758/s13414-017-1332-7

Navon, D. (1977). Forest before the trees. the precedence of global features in visual perception.pdf. *Cognitive Psychology*, *9*, 353–383.

Nejati, V. (2020). Effect of stimulus dimension on perception and cognition. *Acta Psychologica*, *212*, 103208. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2020.103208

Nieuwenhuys, A., & Oudejans, R. R. (2017). Anxiety and performance : perceptual-motor behavior in high-pressure contexts. *Current Opinion in Psychology*, *16*, 28–33. https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2017.03.019

Nieuwenhuys, A., & Oudejans, R. R. D. (2012). Anxiety and perceptual-motor performance : toward an integrated model of concepts, mechanisms, and processes. *Psychological Research*, *76*(6), 747–759. https://doi.org/10.1007/s00426-011-0384-x

Norman, D. A. (1968). Toward a theory of memory and attention. *Psychological Review*, *75*(6), 522–536. https://doi.org/10.1037/h0026699

Notarnicola, A., Maccagnano, G., Pesce, V., Tafuri, S., Novielli, G., & Moretti, B. (2014). Visual- spatial capacity : gender and sport differences in young volleyball and tennis athletes and non-athletes. *BMC research notes*, *7*, 57. https://doi.org/10.1186/1756-0500-7-57

Nougier, V., Stein, J.-F., & Bonnel, A.-M. (1991). Information processing in sport and "orienting of attention.". *International Journal of Sport Psychology*, *22*(3-4), 307–327.

Nyström, M., Andersson, R., Holmqvist, K., & van de Weijer, J. (2013). The influence of calibration method and eye physiology on eyetracking data quality. *Behavior Research Methods*, *45*(1), 272–288. https://doi.org/10.3758/s13428-012-0247-4

O'Donoghue, P. (2005). Analyse des matchs dans les sports de raquettes. *Les Cahiers de l'INSEP*, *35*(1), 267–268. https://doi.org/10.3406/insep.2005.1866

Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness : the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, *9*(1), 97–113.

Ortega-Toro, E., Blanca-Torres, J. C., Giménez-Egido, J. M., & Torres-Luque, G. (2020). Effect of scaling task constraints on the learning processes of under-11 badminton players during match-play. *Children*, *7*(10). https://doi.org/10.3390/children7100164

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 *Congreso Mundial de Ciencia y De- portes de Raqueta. Madrid :* (pp. 1–10).

Palix, J. (2006). *Attention et recherche visuelle* (Thèse de doctorat non publiée). Université Genève, Université Genève.

Panchuk, D., & Vickers, J. N. (2006). Gaze behaviors of goaltenders under spatial-temporal constraints. *Human Movement Science*, *25*(6), 733–752. https://doi.org/10.1016/j.humov.2006.07.001

Park, A. S. Y., & Schütz, A. C. (2021). Selective postsaccadic enhancement of motion perception. *Vision Research*, *188*, 42–50. https://doi.org/10.1016/j.visres.2021.06.011

Park, H.-B., Ahn, S., & Zhang, W. (2021). Visual search under physical effort is faster but more vulnerable to distractor interference. *Cognitive Research : Principles and Implications*, *6*(1), 17. https://doi.org/10.1186/s41235-021-00283-4

Park, S. H., Kim, S., Kwon, M., & Christou, E. A. (2016). Differential contribution of visual and auditory information to accurately predict the direction and rotational motion of a visual stimulus. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, *41*(3), 244–248. https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0390

Paull, G., & Glencross, D. (1997). Expert perception and decision making in baseball. *International Journal of Sport Psychology*, *28*(1), 35–56.

Pavelka, R., Třebický, V., Třebická Fialová, J., Zdobinský, A., Coufalová, K., Havlíček, J., & Tufano, J. J. (2020). Acute fatigue affects reaction times and reaction consistency in Mixed Martial Arts fighters. *PLOS ONE*, *15*(1), e0227675. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227675

Peacock, C. E., Hayes, T. R., & Henderson, J. M. (2019). Meaning guides attention during scene viewing, even when it is irrelevant. *Attention, Perception & Psychophysics*, *81*(1), 20–34. https://doi.org/10.3758/s13414-018-1607-7

Petersch, B., & Dierkes, K. (2021). Gaze-angle dependency of pupil-size measurements in head-mounted eye tracking. *Behavior Research Methods*. https://doi.org/10.3758/s13428-021-01657-8

Phomsoupha, M., & Laffaye, G. (2015). The science of badminton : Game characteristics, anthropometry, physiology, visual fitness and biomechanics. *Sports Medicine*, *45*(4), 473–495. https://doi.org/10.1007/s40279-014-0287-2

Piras, A., Lanzoni, I. M., Raffi, M., Persiani, M., & Squatrito, S. (2016). The within-task criterion to determine successful and unsuccessful table tennis players. *International Journal of Sports Science & Coaching*, *11*(4), 523–531. https://doi.org/10.1177/1747954116655050

Piras, A., Lobietti, R., & Squatrito, S. (2014). Response time, visual search strategy, and anticipatory skills in volleyball players. *Journal of Ophthalmology*, *2014*, 1–10. https://doi.org/10.1155/2014/189268

Piras, A., Raffi, M., Perazzolo, M., Malagoli Lanzoni, I., & Squatrito, S. (2017). Microsaccades and interest areas during free-viewing sport task. *Journal of Sports Sciences*, *37*(9), 980–987. https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1380893

Piras, A., & Vickers, J. N. (2011). The effect of fixation transitions on quiet eye duration and

performance in the soccer penalty kick : instep versus inside kicks. *Cognitive Processing*, *12*(3), 245–255. https://doi.org/10.1007/s10339-011-0406-z

Planchon, V. (2005). Traitement des valeurs aberrantes : concepts actuels et tendances générales. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 17.

Poole, A., & Ball, L. J. (2006). Eye tracking in human-computer interaction and usability research : current status and future prospects. In (Idea Group Reference éd., p. 13).

Poole, A., Ball, L. J., & Phillips, P. (2005). In search of salience : A response-time and eye-movement analysis of bookmark recognition. In S. Fincher, P. Markopoulos, D. Moore, & R. Ruddle (Eds.), *People and Computers XVIII — Design for Life* (pp. 363–378). London : Springer London.

Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *32*(1), 3–25.

Postma, D. B. W., den Otter, A. R., & Zaal, F. T. J. M. (2014). Keeping your eyes continuously on the ball while running for catchable and uncatchable fly balls. *PloS One*, *9*(3), e92392. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092392

Prevost, P. (2002). *Stratégies d'anticipation et rôle du contexte dans les tâches visuo-motrices* (Thèse de doctorat non publiée). Université Paris XI.

Prinz, W. (1997). Perception and action planning. *European Journal of Cognitive Psychology*, *9*(2), 129–154. https://doi.org/10.1080/713752551

Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Katz, L. C., LaMantia, A.-S., McNamara, J. O., & Williams, S. M. (2001). Types of eye movements and their functions. *Neuroscience. 2nd edition.*

Rayner, K. (2009). Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *62*(8), 1457–1506. https://doi.org/10.1080/17470210902816461

Remington, L., & Goodwin, D. (2011). *Clinical anatomy and physiology of the visual system* (3rd éd.). Elsevier - Health Science Division.

Reynolds, S. (2015). *Fire up your writing brain : How to use proven neuroscience to become a more creative, productive, and successful writer.* New York : Barnes & Noble.

Richardson, M. J., Shockley, K., Fajen, B. R., Riley, M. A., & Turvey, M. T. (2008). Ecological psychology. In *Handbook of Cognitive Science* (pp. 159–187). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-046616-3.00009-8

Rim, N. W., Choe, K. W., Scrivner, C., & Berman, M. G. (2021). Introducing point-of-interest as an alternative to area-of-interest for fixation duration analysis. *PLOS ONE*, *16*(5), e0250170. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250170

Rizzolatti, G., Fogassi, L., & Gallese, V. (2001). Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action. *Nature Reviews. Neuroscience*, *2*(9), 661–670. https://doi.org/10.1038/35090060

Roberts, J. W., Keen, B., & Kawycz, S. (2019). Anticipation of badminton serves during naturalistic match-play : a case for the post-performance analysis of perceptual-cognitive skills. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *59*(12), 1951–1955. https://doi.org/10.23736/S0022-4707.19.09540-9

Roca, A., Ford, P. R., McRobert, A. P., & Williams, A. M. (2013). Perceptual-cognitive skills and their interaction as a function of task constraints in soccer. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, *35*(2), 144–155. https://doi.org/10.1123/jsep.35.2.144

Roca, A., Ford, P. R., & Memmert, D. (2018). Creative decision making and visual search behavior in skilled soccer players. *PloS One*, *13*(7), e0199381. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199381

Rosalie, S. M., & Müller, S. (2013). Timing of in situ visual information pick-up that differentiates expert and near-expert anticipation in a complex

motor skill. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *66*(10), 1951–1962. https://doi.org/10.1080/17470218.2013.770044

Rosker, J., & Majcen Rosker, Z. (2021). Skill Level in Tennis Serve Return Is Related to Adaptability in Visual Search Behavior. *Frontiers in Psychology*, *12*, 689378. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.689378

Rossard, C., Testevuide, S., & Saury, J. (2005). Évolutions de la perception et de l'exploitation du rapport de force chez des joueurs de badminton dans une tâche de perfectionnement tactique. *Staps*, *68*(2), 95. https://doi.org/10.3917/sta.068.0095

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 : Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, *24*(1), 90–97. https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2013.10.007

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. https://doi.org/10.1080/02640410500188928

Rozand, V., & Lepers, R. (2016). Influence de la fatigue mentale sur les performances physiques. *Movement and Sports Sciences - Science et Motricite*. https://doi.org/10.1051/sm/2015045

Rumelhart, D. E. (1989). The architecture of mind : A connectionist approach. In *Foundations of cognitive science* (pp. 133–159). Cambridge, MA, US : The MIT Press.

Runswick, O. R., Roca, A., Williams, A. M., Bezodis, N. E., & North, J. S. (2018). The effects of anxiety and situation-specific context on perceptual-motor skill : a multi-level investigation. *Psychological Research*, *82*(4), 708–719.

Russell, S., Jenkins, D., Smith, M., Halson, S., & Kelly, V. (2018). The application of mental fatigue research to elite team sport performance : New perspectives. *Journal of Science and Medicine in Sport*. https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.12.008

Russell, S., Jenkins, D. G., Halson, S. L., Juliff, L. E., & Kelly, V. G. (2021). How do elite female team sport athletes experience mental fatigue ? Comparison between international competition, training and preparation camps. *European Journal of Sport Science*, 1–11. https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1897165

Russo, G., & Ottoboni, G. (2019). The perceptual – Cognitive skills of combat sports athletes : A systematic review. *Psychology of Sport and Exercise*, *44*, 60–78. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2019.05.004

Ryu, D., Abernethy, B., Mann, D. L., & Poolton, J. M. (2015). The contributions of central and peripheral vision to expertise in basketball : How blur helps to provide a clearer picture. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, *41*(1), 167–185. https://doi.org/10.1037/a0038306

Ryu, D., Abernethy, B., Mann, D. L., Poolton, J. M., & Gorman, A. D. (2013). The role of central and peripheral vision in expert decision making. *Perception*, *42*(6), 591–607. https://doi.org/10.1068/p7487

Sanabria, D., Morales, E., Luque, A., Gálvez, G., Huertas, F., & Lupiañez, J. (2011). Effects of acute aerobic exercise on exogenous spatial attention. *Psychology of Sport and Exercise*, *12*(5), 570–574. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2011.04.002

Sanders, A. F. (1983). Towards a model of stress and human performance. *Acta Psychologica*, *53*(1), 61–97. https://doi.org/10.1016/0001-6918(83)90016-1

Sanders, A. F. (1990). Issues and trends in the debate on discrete vs. continuous processing of information. *Acta Psychologica*, *74*(2), 123–167. https://doi.org/10.1016/0001-6918(90)90004-Y

Sant'Ana, J., Silva, V. S. D., & Diefenthaeler, F. (2013). Effect of fatigue in roundhouse kick's reaction time, response time and impact force in taekwondo..

https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1935.4645

Sant'Ana, J., Franchini, E., da Silva, V., & Diefenthaeler, F. (2017). Effect of fatigue on reaction time, response time, performance time, and kick impact in taekwondo roundhouse kick. *Sports Biomechanics*, *16*(2), 201–209. https://doi.org/10.1080/14763141.2016.1217347

Sarpeshkar, V., Abernethy, B., & Mann, D. L. (2017). Visual strategies underpinning the development of visual-motor expertise when hitting a ball. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, *43*(10), 1744–1772. https://doi.org/10.1037/xhp0000465

Savelsbergh, G. J. P., Williams, A. M., Van der Kamp, J., & Ward, P. (2002). Visual search, anticipation and expertise in soccer goalkeepers. *Journal of Sports Sciences*, *20*(3), 279–287. https://doi.org/10.1080/026404102317284826

Schapschröer, M., Lemez, S., Baker, J., & Schorer, J. (2016). Physical load affects perceptual-cognitive performance of skilled athletes : a systematic review. *Sports Medicine - Open*, *2*(1), 37. https://doi.org/10.1186/s40798-016-0061-0

Schmidt, R. A. (1993). *Apprentissage moteur et performance*. Vigot Collection Sport.

Schmidt, R. A. (2005). *Motor control and learning : a behavioral emphasis.* Human Kinetics.

Schmidt, R. A., & Lee, T. D. (2017). *Motor control and learning : A behavioral emphasis* (6e éd.). Human Kinetics.

Schütz-Bosbach, S., & Prinz, W. (2007). Perceptual resonance : action-induced modulation of perception. *Trends in Cognitive Sciences*, *11*(8), 349–355. https://doi.org/10.1016/j.tics.2007.06.005

Seifert, L., Button, C., & Davids, K. (2013). Key properties of expert movement systems in sport : An ecological dynamics perspective. *Sports Medicine*, *43*(3), 167–178. https://doi.org/10.1007/s40279-012-0011-z

Sepulveda, P., Usher, M., Davies, N., Benson, A. A., Ortoleva, P., & De Martino, B. (2020). Visual attention modulates the integration of goal-relevant evidence and not value. *eLife*, *9*. https://doi.org/10.7554/eLife.60705

Sharafi, Z., Soh, Z., & Guéhéneuc, Y.-G. (2015). A systematic literature review on the usage of eye-tracking in software engineering. *Information and Software Technology*, *67*(C), 79–107. https://doi.org/10.1016/j.infsof.2015.06.008

Shargal, E., Kislev-Cohen, R., Zigel, L., Epstein, S., Pilz-Burstein, R., & Tenenbaum, G. (2015). Age-related maximal heart rate : examination and refinement of prediction equations. *The journal of sports medicine and physical fitness*, *55*(10), 12.

Sharshin, A., Mohammadi, S., Pour Shahrabad, H. B., & Sedighi, M. (2011). The effects of functional fatigue on dynamic postural control of badminton players. *Biology of Exercise*, *7.1*, 25–34.

Sidenmark, L., & Gellersen, H. (2020). Eye, head and torso coordination during gaze shifts in virtual reality. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, *27*(1), 1–40. https://doi.org/10.1145/3361218

Simonet, M., Meziane, H. B., Runswick, O. R., North, J. S., Williams, A. M., Barral, J., & Roca, A. (2019). The modulation of event-related alpha rhythm during the time course of anticipation. *Scientific Reports*, *9*(1), 18226. https://doi.org/10.1038/s41598-019-54763-1

Slawinski, J., Houel, N., Bonnefoy-Mazure, A., Lissajoux, K., Bocquet, V., & Termoz, N. (2017). Mechanics of standing and crouching sprint starts. *Journal of Sports Sciences*, *35*(9), 858–865. https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1194525

Slimani, M., Znazen, H., Bragazzi, N. L., Zguira, M. S., & Tod, D. (2018). The effect of mental fatigue on cognitive and aerobic performance in adolescent active endurance athletes : insights from a randomized counterbalanced, cross-over trial. *Journal of Clinical Medicine*, *7*(12). https://doi.org/10.3390/jcm7120510

Smith, D. M. (2016). Neurophysiology of action anticipation in athletes : A systematic review. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *60*, 115–120. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2015.11.007

Smith, D. T., & Schenk, T. (2012). The Premotor theory of attention : time to move on ? *Neuropsychologia*, *50*(6), 1104–1114. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.01.025

Smith, M. R., Coutts, A. J., Merlini, M., Deprez, D., Lenoir, M., & Marcora, S. M. (2016). Mental fatigue impairs soccer-specific physical and technical performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *48*(2), 267–276. https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000762

Smith, M. R., Zeuwts, L., Lenoir, M., Hens, N., Jong, L. M. S. D., & Coutts, A. J. (2016). Mental fatigue impairs soccer-specific decision-making skill. *Journal of Sports Sciences*.

Sohn, Y. W., & Doane, S. M. (2003). Roles of working memory capacity and long-term working memory skill in complex task performance. *Memory & Cognition*, *31*(3), 458–466. https://doi.org/10.3758/BF03194403

Spitz, J., Put, K., Wagemans, J., Williams, A. M., & Helsen, W. F. (2018). The role of domain-generic and domain-specific perceptual-cognitive skills in association football referees. *Psychology of Sport and Exercise*, *34*, 47–56. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2017.09.010

Starkes, J. L., & Allard, F. (Eds.). (1993). *Cognitive issues in motor expertise* (N° 102). Amsterdam ; New York : North-Holland.

Stone, J. A., Maynard, I. W., North, J. S., Panchuk, D., & Davids, K. (2017). Temporal and spatial occlusion of advanced visual information constrains movement (re)organization in one-handed catching behaviors. *Acta Psychologica*, *174*, 80–88. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2017.01.009

Swann, C., Moran, A., & Piggott, D. (2015). Defining elite athletes : Issues in the study of expert performance in sport psychology. *Psychology of Sport and Exercise*, *16*, 3–14. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2014.07.004

Sáenz-Moncaleano, C., Basevitch, I., & Tenenbaum, G. (2018). Gaze behaviors during serve returns in tennis : A comparison between intermediate- and high-skill players. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *40*(2), 49–59. https://doi.org/10.1123/jsep.2017-0253

Tanaka, M., & Watanabe, Y. (2012). Supraspinal regulation of physical fatigue. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *36*(1), 727–734. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.10.004

Temprado, J.-J. (2005). Apprentissage et contrôle des coordinations perceptivo-motrices. Différentes perspectives dans les sciences du mouvement humain. *Bulletin de psychologie*, *Numéro 475*(1), 5–6.

Theureau, J. (2010). Les entretiens d'autoconfrontation et de remise en situation par les traces matérielles et le programme de recherche « cours d'action ». *Revue d'anthropologie des connaissances*, *Vol 4, n° 2*(2), 287–322.

Thibaut, R. (1993). *Le badminton*. Montréal : Gaëtan Morin Editeur.

Tomporowski, P. D. (2003). Effects of acute bouts of exercise on cognition. *Acta Psychologica*, *112*(3), 297–324. https://doi.org/10.1016/S0001-6918(02)00134-8

Torres-Luque, G., Blanca-Torres, J. C., Cabello-Manrique, D., & Kondric, M. (2020). Statistical comparison of singles badminton matches at the London 2012 and Rio De Janeiro 2016 Olympic Games. *Journal of Human Kinetics*, *75*, 177–184. https://doi.org/10.2478/hukin-2020-0046

Torres-Luque, G., Blanca-Torres, J. C., Giménez-Egido, J. M., Cabello-Manrique, D., & Ortega-Toro, E. (2020). Design, validation, and reliability of an observational instrument for technical and tactical actions in singles badminton. *Frontiers in Psychology*, *11*, 582693.

https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.582693

Torres-Luque, G., Fernández-García, A. I., Blanca-Torres, J. C., Kondric, M., & Cabello-Manrique, D. (2019). Statistical differences in set analysis in badminton at the RIO 2016 Olympic Games. *Frontiers in Psychology*, *10*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00731

Treisman, A. M. (1964). Selective attention in man. *British Medical Bulletin*, *20*(1), 12–16. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.bmb.a070274

Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, *12*(1), 97–136.

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. https://doi.org/10.1080/02640414.2012.759658

Turner, A. N., Bishop, C., Cree, J., Carr, P., McCann, A., Bartholomew, B., & Halsted, L. (2019). Building a high-performance model for sport : A human development-centered approach. *Strength & Conditioning Journal*, *41*(2), 100–107. https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000447

Valenzuela, P. L., Sánchez-Martínez, G., Torrontegi, E., Vázquez-Carrión, J., Montalvo, Z., & Kara, O. (2020). Validity, reliability, and sensitivity to exercise-induced fatigue of a customer-friendly device for the measurement of the brain's direct current potential. *Journal of Strength and Conditioning Research*. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003695

Van Cutsem, J., De Pauw, K., Vandervaeren, C., Marcora, S., Meeusen, R., & Roelands, B. (2019). Mental fatigue impairs visuomotor response time in badminton players and controls. *Psychology of Sport and Exercise*, *45*, 101579. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2019.101579

Van Cutsem, J., Marcora, S., De Pauw, K., Bailey, S., Meeusen, R., & Roelands, B. (2017). The effects of mental fatigue on physical performance : A systematic review. *Sports Medicine*, *47*(8), 1569–1588. https://doi.org/10.1007/s40279-016-0672-0

van der Kamp, J., Rivas, F., van Doorn, H., & Savelsbergh, G. (2008). Ventral and dorsal system contributions to visual anticipation in fast ball sports. *International Journal of Sport Psychology*, *39*(2), 100–130.

van der Linden, D., & Eling, P. (2006). Mental fatigue disturbs local processing more than global processing. *Psychological Research Psychologische Forschung*, *70*(5), 395–402. https://doi.org/10.1007/s00426-005-0228-7

van Maarseveen, M. J. J., Oudejans, R. R. D., Mann, D. L., & Savelsbergh, G. J. P. (2018). Perceptual-cognitive skill and the in situ performance of soccer players. *Quarterly Journal of Experimental Psychology (2006)*, *71*(2), 455–470. https://doi.org/10.1080/17470218.2016.1255236

van Maarseveen, M. J. J., Savelsbergh, G. J. P., & Oudejans, R. R. D. (2018). In situ examination of decision-making skills and gaze behaviour of basketball players. *Human Movement Science*, *57*, 205–216. https://doi.org/10.1016/j.humov.2017.12.006

Vansteenkiste, P., Vayens, R., Zeuwts, L., Philippaerts, R., & Lenoir, M. (2014). Cue usage in volleyball : a time course comparison of elite, intermediate and novice female players. *Biology of Sport*(31), 295–302.

Vater, C., Williams, A. M., & Hossner, E.-J. (2019). What do we see out of the corner of our eye ? The role of visual pivots and gaze anchors in sport. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, *0*(0), 1–23. https://doi.org/10.1080/1750984X.2019.1582082

Vickers, J. N. (1996a). Control of visual attention during the basketball free throw. *The American Journal of Sports Medicine*, *24*(6), S93–S97. https://doi.org/10.1177/036354659602406S25

Vickers, J. N. (1996b). Visual control when aiming at a far target. *Journal*

of Experimental Psychology : Human Perception and Performance, *22*(2), 342–354. https://doi.org/10.1037/0096-1523.22.2.342

Vickers, J. N., & Adolphe, R. M. (1997). Gaze behaviour during a ball tracking and aiming skill. *International Journal of Sports Vision*, *4*(1), 18–27.

Vickers, J. N., Vandervies, B., Kohut, C., & Ryley, B. (2017). Quiet eye training improves accuracy in basketball field goal shooting. *Progress in Brain Research*, *234*, 1–12. https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2017.06.011

Vickers, J. N., & Williams, A. M. (2007). Performing under pressure : the effects of physiological arousal, cognitive anxiety, and gaze control in biathlon. *Journal of Motor Behavior*, *39*(5), 381–394. https://doi.org/10.3200/JMBR.39.5.381-394

Vine, S. J., Freeman, P., Moore, L. J., Chandra-Ramanan, R., & Wilson, M. R. (2013). Evaluating stress as a challenge is associated with superior attentional control and motor skill performance : Testing the predictions of the biopsychosocial model of challenge and threat. *Journal of Experimental Psychology : Applied*, *19*(3), 185–194. https://doi.org/10.1037/a0034106

Volkmann, F. C. (1986). Human visual suppression. *Vision Research*, *26*(9), 1401–1416. https://doi.org/10.1016/0042-6989(86)90164-1

Wan, J.-j., Qin, Z., Wang, P.-y., Sun, Y., & Liu, X. (2017). Muscle fatigue : general understanding and treatment. *Experimental & Molecular Medicine*, *49*(10), e384–e384. https://doi.org/10.1038/emm.2017.194

Wang, C., Trongnetrpunya, A., Samuel, I. B. H., Ding, M., & Kluger, B. M. (2016). Compensatory neural activity in response to cognitive fatigue. *The Journal of Neuroscience*, *36*(14), 3919–3924. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3652-15.2016

Westfall, J., Kenny, D. A., & Judd, C. M. (2014). Statistical power and optimal design in experiments in which samples of participants respond to samples of stimuli. *Journal of Experimental Psychology : General*, *143*(5), 2020–2045. https://doi.org/10.1037/xge0000014

Wickens, C. D. (2002). Multiple resources and performance prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, *3*(2), 159–177. https://doi.org/10.1080/14639220210123806

Williams, A. M. (2009). Perceiving the intentions of others : how do skilled performers make anticipation judgments ? In *Progress in Brain Research* (Vol. 174, pp. 73–83). Elsevier. https://doi.org/10.1016/S0079-6123(09)01307-7

Williams, A. M., & Davids, K. (1998). Visual search strategy, selective attention, and expertise in soccer. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *69*(2), 111–128. https://doi.org/10.1080/02701367.1998.10607677

Williams, A. M., Davids, K., Burwitz, L., & Williams, J. G. (1994). Visual search strategies in experienced and inexperienced soccer players. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *65*(2), 127–135. https://doi.org/10.1080/02701367.1994.10607607

Williams, A. M., Davids, K., & Williams, J. G. P. (2000). *Visual perception and action in sport*. London : E & FN Spon. (OCLC : 248459714)

Williams, A. M., & Ericsson, K. A. (2005). Perceptual-cognitive expertise in sport : some considerations when applying the expert performance approach. *Human Movement Science*, *24*(3), 283–307. https://doi.org/10.1016/j.humov.2005.06.002

Williams, A. M., & Ford, P. R. (2008). Expertise and expert performance in sport. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, *1*(1), 4–18. https://doi.org/10.1080/17509840701836867

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. (Publisher : John Wiley & Sons, Inc.) https://doi.org/10.1002/acp.1710

Williams, A. M., & Grant, A. (1999). Training perceptual skill in sport. *International Journal of Sport Psychology*, *30*(2), 194–220.

Williams, A. M., & Jackson, R. C. (2019a). *Anticipation and decision making in sport*. Routledge.

Williams, A. M., & Jackson, R. C. (2019b). Anticipation in sport : Fifty years on, what have we learned and what research still needs to be undertaken ? *Psychology of Sport and Exercise*, *42*, 16–24. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2018.11.014

Williams, A. M., & Ward, P. (2007). Anticipation and decision making : Exploring new horizons. In *Handbook of sport psychology, 3rd ed* (pp. 203–223). Hoboken, NJ, US : John Wiley & Sons, Inc.

Williams, A. M., Ward, P., Knowles, J. M., & Smeeton, N. J. (2002). Anticipation skill in a real-world task : Measurement, training, and transfer in tennis. *Journal of Experimental Psychology : Applied*, *8*(4), 259–270. https://doi.org/10.1037/1076-898X.8.4.259

Williams, A. M., Ward, P., Smeeton, N. J., & Allen, D. (2004). Developing anticipation skills in tennis using on-court instruction : perception versus perception and action. *Journal of Applied Sport Psychology*, *16*(4), 350–360. https://doi.org/10.1080/10413200490518002

Wilson, M., & Knoblich, G. (2005). The case for motor involvement in perceiving conspecifics. *Psychological Bulletin*, *131*(3), 460–473. https://doi.org/10.1037/0033-2909.131.3.460.

Wimshurst, Z. L., Sowden, P. T., & Wright, M. (2016). Expert–novice differences in brain function of field hockey players. *Neuroscience*, *315*, 31–44. https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2015.11.064

Witkowski, M., Tomczak, E., Bojkowski, L., Borysiuk, Z., & Tomczak, M. (2021). Do expert fencers engage the same visual perception strategies as beginners ? *Journal of Human Kinetics*, *78*(1), 49–58. https://doi.org/10.2478/hukin-2021-0045

Wolfe, J. M. (2021). Guided Search 6.0 : An updated model of visual search. *Psychonomic Bulletin & Review*. https://doi.org/10.3758/s13423-020-01859-9

Wolfe, J. M., Cave, K. R., & Franzel, S. L. (1989). Guided search : An alternative to the feature integration model for visual search. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, *15*(3), 419–433. https://doi.org/10.1037/0096-1523.15.3.419

Wolfe, J. M., & Horowitz, T. S. (2017). Five factors that guide attention in visual search. *Nature Human Behaviour*, *1*(3), 1–8. https://doi.org/10.1038/s41562-017-0058

Wright, M. J., Bishop, D. T., Jackson, R. C., & Abernethy, B. (2011). Cortical fMRI activation to opponents' body kinematics in sport-related anticipation : expert-novice differences with normal and point-light video. *Neuroscience Letters*, *500*(3), 216–221. https://doi.org/10.1016/j.neulet.2011.06.045

Wulf, G., & Lewthwaite, R. (2016). Optimizing performance through intrinsic motivation and attention for learning : The OPTIMAL theory of motor learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, *23*(5), 1382–1414. https://doi.org/10.3758/s13423-015-0999-9

Xu, H., Wang, P., Ye, Z., Di, X., Xu, G., Mo, L., Lin, H., Rao, H., & Jin, H. (2016). The role of medial frontal cortex in action anticipation in professional badminton players. *Frontiers in Psychology*, *7*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01817

Annexes

Annexe A. Comité d'Éthique pour la Recherche

Avis donné par les membres du Comité d'Éthique pour la Recherche (CER) de l'Université Paris-Saclay, au LIMSI (Orsay)

Numéro de dossier : 127
Titre de l'étude : Effet de la fatigue sur l'anticipation en badminton.
Date de l'étude : septembre 2019 à avril 2020
Demandeur de l'étude : Jean SLAWINSKI
Date de réception de la demande : 01/09/2019
Etablissement et laboratoire de rattachement : INSEP (Institut National du Sport, de l'Expertise et de la Performance), Laboratoire Sport Expertise et Performance EA 7370
Lieu(x) de l'étude : Paris, 12ème
Version d'avis : 3
Avis précédemment donné (si pas 1ère évaluation) : 2

Tenant compte des réponses et spécifications fournies par le demandeur, les membres présents lors de la réunion ont voté à la majorité l'avis suivant :

Avis 1 : Favorable

La référence associée à cet avis est la suivante : CER-Paris-Saclay-2019-058

Annexe B. Questionnaire de latéralité adapté d'Oldfield (1971)

« élément sous droit, diffusion non autorisée »

Annexe C. Questionnaire international d'activité physique, version française et courte

« élément sous droit, diffusion non autorisée »

Annexe D. Article scientifique relatif à l'étude 2

frontiers in Sports and Active Living

BRIEF RESEARCH REPORT
published: 05 October 2021
doi: 10.3389/fspor.2021.725625

Effects of Acute Physical Fatigue on Gaze Behavior and Performance During a Badminton Game

Mildred Loiseau-Taupin[1], Alexis Ruffault[1,2], Jean Slawinski[1], Lucile Delabarre[1] and Dimitri Bayle[3]*

[1] *Laboratory Sport, Expertise, Performance (EA7370), French Institute of Sport (INSEP), Paris, France,* [2] *Unité de Recherche Intrafacultaire Santé et Société, Université de Liège, Liège, Belgium,* [3] *LICAE Lab, UFR STAPS, University of Paris, Nanterre, France*

In badminton, the ability to quickly gather relevant visual information is one of the most important determinants of performance. However, gaze behavior has never been investigated in a real-game setting (with fatigue), nor related to performance. The aim of this study was to evaluate the effect of fatigue on gaze behavior during a badminton game setting, and to determine the relationship between fatigue, performance and gaze behavior. Nineteen novice badminton players equipped with eye-tracking glasses played two badminton sets: one before and one after a fatiguing task. The duration and number of fixations for each exchange were evaluated for nine areas of interest. Performance in terms of points won or lost and successful strokes was not impacted by fatigue, however fatigue induced more fixations per exchange on two areas of interest (shuttlecock and empty area after the opponent's stroke). Furthermore, two distinct gaze behaviors were found for successful and unsuccessful performance: points won were associated with fixations on the boundary lines and few fixation durations on empty area before the participant's stroke; successful strokes were related to long fixation durations, few fixation durations on empty area and a large number of fixations on the shuttlecock, racket, opponent's upper body and anticipation area. This is the first study to use a mobile eye-tracking system to capture gaze behavior during a real badminton game setting: fatigue induced changes in gaze behavior, and successful and unsuccessful performance were associated with two distinct gaze behaviors.

Keywords: physiological load, eye movements, visual search strategy, visual perception, racket sports

OPEN ACCESS

Edited by:
Bernadette Ann Murphy, Ontario Tech University, Canada

Reviewed by:
Kerstin Witte, Otto von Guericke University Magdeburg, Germany
Filipe Casanova, Universidade Lusófona, Portugal

****Correspondence:***
Mildred Loiseau Taupin
mildred.loiseau-taupin@insep.fr

Specialty section:
This article was submitted to Movement Science and Sport Psychology, a section of the journal Frontiers in Sports and Active Living

Received: *15 June 2021*
Accepted: *08 September 2021*
Published: *05 October 2021*

Citation:
Loiseau-Taupin M, Ruffault A, Slawinski J, Delabarre L and Bayle D (2021) Effects of Acute Physical Fatigue on Gaze Behavior and Performance During a Badminton Game. Front. Sports Act. Living 3:725625. doi: 10.3389/fspor.2021.725625

INTRODUCTION

In racket sports, the ability to rapidly gather relevant visual information is one of the main determinants of sports performance. This active process is essential for effective motor action responses (Abernethy and Russell, 1987; Abernethy et al., 1993). A good visual acuity, a wide field of vision, and a good recognition of peripheral elements allow players to anticipate events (Afonso et al., 2012; Alder et al., 2019). This is particularly true in badminton, which is the fastest racket sport in terms of flight velocities (Alder et al., 2019) and is characterized by short, high intensity actions (Alder et al., 2014). The study of gaze behavior during sport is challenging, however mobile eye-tracking systems can be used to gather relevant data (Abernethy et al., 1993).

Studies have shown that the number and duration of fixations (Aziz, 2017) and their locations (Barreto et al., 2021) are task and context specific. Despite this, 69% of eye tracking studies have been conducted in laboratory conditions (Abernethy et al., 1993). Although such studies provide useful information, the controlled environments, constrained cues, few response possibilities, or the evaluation of discrete parts of an action limit the conclusions which can be drawn (Borg, 1982; Belza, 1994; Blomqvist et al., 2001; Brams et al., 2019). To fully understand gaze behavior during matches, studies must be conducted in real-game situations. The purpose of gaze behavior is to take in information from different areas by the use of a search strategy (Abernethy et al., 1993). Behavior can be characterized by variables such as the duration and number of fixations. Studies have demonstrated that gaze behaviors differ according to the study conditions, for example in representative task designs vs. well-controlled laboratory experiments (Barreto et al., 2021), and that behavior must be evaluated in real settings involving a variety of situations (Brenner and Smeets, 2017) which are ecologically valid (Casanova et al., 2013). Furthermore, gaze behavior can only be fully understood if it is related to performance (Chia et al., 2017). However, to date, this relationship has been little studied in real badminton conditions, although it has been evaluated during specific actions in basketball (Cohen, 1988), karate (Connor et al., 2018), sailing (Dicks et al., 2010) and gymnastics (Faber et al., 2012). To our knowledge, only one study in racket sports linked gaze behavior to performance using a mobile eye-tracking system, however this was in a strictly controlled tennis situation (i.e., four types of serves) that was very different to the a real-game setting. Four areas of interest were mapped: ball before bounce, bounce area, ball after bounce and other. The results showed that successful strokes were related to longer fixation durations during the first part of the ball flight (Gegenfurtner et al., 2011).

One feature of the real-game situation that is not present in controlled studies is fatigue. Fatigue has been defined as a decrease in physical performance that is associated with an increase in the real or perceived difficulty of a task (Hagemann et al., 2006). Fatigue impacts on the interactions between cognitive processes and motor actions (Hughes et al., 1993; Hüttermann et al., 2018) and can impair technical skills such as gaze behavior, movement speed, or tactical choices (Kassner et al., 2014; Kredel et al., 2017; Kolman et al., 2019). Furthermore, it impacts perceptual-cognitive processes differently depending on the physical intensity, the type of physical exercise, and the motor task (MacIntosh, 2006). However, the impact of fatigue on gaze behavior in racket sports has only been evaluated in one, reasonably representative, study. In a badminton task that involved responding to blocks of actions displayed on a screen (shadow shots and verbal confirmations) interspersed with a physical fatiguing task, participants were able to sustain the additional mental effort induced by physical fatigue during the main part of the exercise, but not at the end: during the last block, the number of fixations increased, their durations shortened (i.e., less effective gaze behavior), and the accuracy of the motor responses decreased (Mann et al., 2007).

These studies provided some information about gaze behavior and the impact of fatigue on gaze behavior, however, to the best of our knowledge, no studies have yet evaluated the impact of fatigue on gaze behavior or the relationship between fatigue, gaze behavior and performance in a real-game setting.

This study aimed to explain visual perception in non-experienced racket sport players. The first aim was therefore to determine the relationship between fatigue and gaze behavior during a badminton game and the second aim was to determine the relationship between gaze behavior, fatigue and performance. We hypothesized that acute physical fatigue would reduce fixation duration and increase the number of fixations per rally (Alder et al., 2019), and that fixation duration would be shorter and the number of fixations on the shuttlecock (providing relevant information for novices) would be higher for successful compared to unsuccessful strokes.

MATERIALS AND METHODS

Participants

Nineteen right-handed individuals (mean age = 26.0 ± 2.9 years, eight women, mean age = 27.3 ± 2.0) voluntarily participated in this study. None had any experience in any racket sports. We chose novice participants in order to seek a relationship between the gaze behavior variables analyzed and performance in non-experienced players. A power analysis for mixed models was performed using a procedure developed by Westfall et al. (2014). The design parameters were the effect size (set at 0.5), the α value (set at 0.05), the statistical power (set at 0.8) and the number of participants (set at 19). The power analysis revealed that a minimum of 48.7 stimuli were required. In our study, the number of stimuli was 73.7 ± 11.6 (i.e., number of exchanges per participant).

Participants were first informed of the study procedure and were then screened for eligibility. All participants provided written informed consent for participation and the study was approved by a National Ethical Committee (CER-Paris-Saclay-2019-058).

Apparatus and Measures

Gaze Behavior

A binocular mobile eye-tracking system (Pupil Labs Core eye-tracker, accuracy 0.6°, precision 0.02°) was used to record eye motion. It was a wearable mobile eye tracking headset with one scene camera (120 Hz) and two infrared spectrum eye cameras for dark pupil detection (200 Hz). The mobile eye-tracking system was calibrated for each participant at the start of the session and recalibrated between each game point, using screen marker calibration methods with five markers (Milazzo et al., 2016). For the recalibration, participants were asked to look at a single marker fixed on a post positioned 1.98 m directly in front of their eyes.

Performance Indicators

The sessions were video recorded with a JVC GC PX100 BEU Camcorder (frequency: 100 Hz) placed in a fixed position behind and to the right of the participant (on the same side of the court

as the participant). This position allowed the whole field to be captured (height: 2.20 m, distance from the back boundary line: 4.05 m).

Perceived Fatigue and Exertion

Perceived fatigue was assessed using a visual analog scale ranging from 0 (no fatigue) to 10 (maximal fatigue and exhaustion), which captures momentary fatigue and is validated for physical activity (Murray and Hunfalvay, 2017). Perceived exertion was assessed with the Borg scale which ranges from 6 (no exertion) to 20 (maximal exertion) (Nakashima and Kumada, 2017) and captures participants' perception of exercise intensity.

Heart Rate

Each participant wore a Polar RS400 running computer to measure heart rate and to ensure that they reached around 90% of their maximal theoretical heart rate during the fatigue session, corresponding to the average heart rate during a badminton match (Alder et al., 2019).

Experimental Procedure

All participants played two badminton sets against the same opponent who was a racket (not badminton) player. Only one experiment was performed per day to avoid fatiguing the opponent. The experimental procedure included three phases: (i) a pre-fatigue badminton set; (ii) a fatigue session, and (iii) a post-fatigue badminton set. Perceived fatigue and exertion were measured after each phase.

Badminton Game

Each badminton set was played to 21 points in accordance with the Badminton World Federation rules. Participants were equipped with a binocular mobile eye-tracking system and the games were recorded with a camcorder.

Fatigue Session

A specific fatigue session was designed by the national badminton coach. The session lasted 18 min and included two series of 12 different exercises (20 s of running and 20 s of rest), with 2 min of rest between each. Each series was performed in a half-court and incorporated shadow training with a racket. Participants were instructed to sprint as fast as possible in order to reproduce the same level of fatigue as in a match. They wore a Polar RS400 running computer for the whole procedure to record heart rate. The mean percentage of heart rate was 93.0 $\pm$ 4.1 % during this fatigue session.

Data Processing

Mean heart rate was calculated as a percentage of the maximal theoretical heart rate for each experimental phase. Maximal theoretical heart rate was calculated using the formula by Milazzo

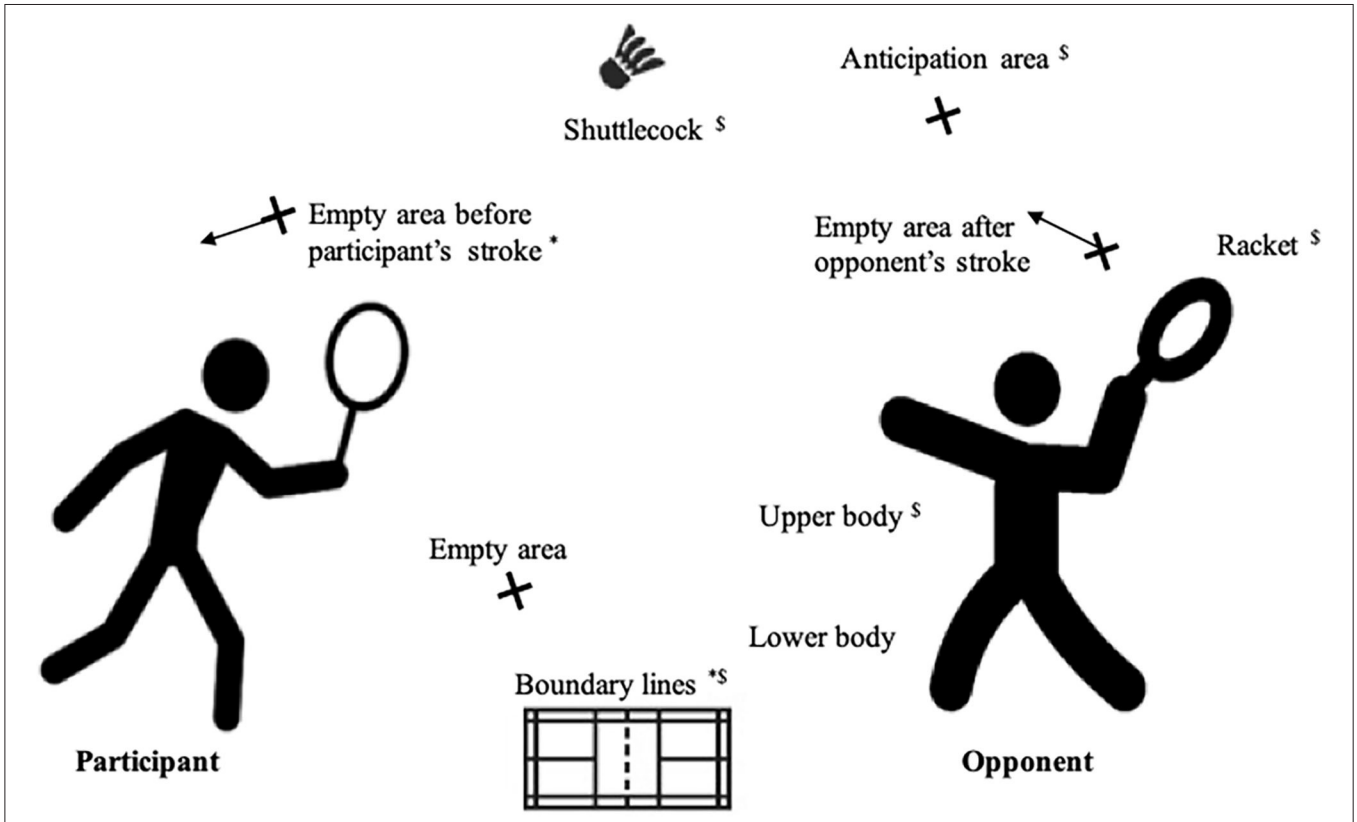


FIGURE 1 | Nine areas of interest analyzed for gaze behaviors. *Areas of interest involved in performance for win point. $Areas of interest involved in performance for successful stroke.



FIGURE 2 | Gaze point during single marker calibration obtained on Pupil Player software.

et al. (2016). Mean perceived fatigue and exertion scores were calculated for each session.

We determined nine areas of interest (AOIs), based on the study by Phomsoupha and Laffaye (2015): shuttlecock, opponent's racket, opponent's upper body, opponent's lower body, boundary lines (court limits), anticipation area (anticipation of the contact point between shuttlecock and opponent's racket), empty area after opponent's stroke (while the participant located the shuttlecock after the opponent's stroke), empty area before participant's stroke (no location before the participant's stroke), empty area (no discernible location) (**Figure 1**). We coded 10% of the eye-tracking data by two independent sport scientists. An analysis of the degree of agreement was conducted and we obtained 84.5% of concordance for AOIs. The error of accuracy (0.6°) corresponds to a maximum imprecision of 14 cm at a distance of 13.40 m (distance between the two background lines; tan(0.6) x 1340 = 14), and 4.14 cm at a distance of 3.96 m (distance between the two serve lines; Tan(0.6) x 396 = 4.14).

Opponent's and participant's serves and strokes during rallies were considered separately (mean number of exchanges per participant was 73.7 ± 11.6). Gaze behavior was only evaluated during strokes. Rallies were composed of several exchanges; an exchange was defined as a stroke by the opponent followed by a stroke by the participant.

Pupil Player software was used to identify gaze location from the mobile eye-tracker recordings of eye and head motion. Pupil Capture software recorded and mapped pupil positions from eye to scene using a pupil detection algorithm and then a transfer function (Mann et al., 2007). Thus, one gaze point was obtained for each time instant: we termed this fixation for simplicity (**Figure 2**). We manually determined, frame by frame, which of the nine AOIs defined above was fixed for each time instant of the world camera video recording by the eye-tracker using Pupil Player software. The timestamp of the first video frame in one of the nine AOI is defined as the beginning of the fixation. Timestamp of the last frame of consecutive fixation in the same AOI is defined as the end of the fixation

Five variables were recorded for each participant during the badminton sets: mean fixation duration, number of fixations and number of switches per exchange; and mean fixation duration and total number of fixations for each AOI per set. A switch was defined as a shift in the gaze between two AOIs. The total number of fixations was the sum of fixations per AOI per set divided by the number of rallies in the set.

The number of points, strokes performed, and faults were determined from the video recording of the badminton set and Kinovea 0.8.15 Software. Success was defined using 2 criteria: points won/lost and successful strokes. Points were calculated for each rally. A point was won if the participant scored the

point and lost if the participant committed a fault. A stroke was successful when the participant hit the shuttlecock to the opponent's side without a fault, or unsuccessful if the participant did not touch the shuttlecock or if the shuttlecock did not land on the opponent's side of the court.

Statistical Analysis

Data were analyzed using RStudio Version 1.4.1106. For each participant and each badminton set, a mean 0.8 ± 1.0% of fixation duration data were removed using univariate anomaly detection. We then removed fixation durations that were more than two standard deviations longer than the mean duration: higher than 1047 ms for the pre-fatigue sets and higher than 1043 ms for the post-fatigue sets (a mean 5.1 ± 5.0% of data were deleted). The number of observations corresponded to the total number of fixations in the pre-fatigue (4,797) and post-fatigue sets (5,015) ($t_{18} = -0.78$, $p > 0.05$, Cohen's $d = -0.18$).

Linear mixed models were performed to analyze the following variables: fatigue (two conditions: pre-post fatigue sets), performance (two conditions: points won and lost or successful and unsuccessful strokes), gaze behavior (fixation duration, number of fixations, number of switches, fixation duration and number of fixations per AOIs) and fatigue markers (heart rate, perceived fatigue and perceived exertion) with participants as a random effect for all analyses.

We first compared fatigue markers across the experimental phases and then estimated the effects of fatigue on performance and on gaze behavior. Finally, we estimated the effects of performance on gaze behavior.

For all mixed linear models, significance was set at $p < 0.05$ a and conditional R^2 value was used to indicate the model's total explanatory power. Tukey *post-hoc* tests to determine specific differences for the significant mixed linear models. The strength of the effect was calculated using Cohen's *d* and was interpreted as small for values around 0.2, medium around 0.5 and large for those around 0.8 (Piras et al., 2014).

RESULTS

Fatigue Levels

Table 1 displays the three markers of fatigue. There was a main effect of heart rate ($p < 0.001$, $R^2 = 0.76$), perceived fatigue ($p < 0.001$, $R^2 = 0.77$) and perceived exertion ($p < 0.001$, $R^2 = 0.67$) between the phases of the experimental procedure. *Post-hoc* tests on fatigue indicators demonstrated that fatigue increased between the pre-fatigue and post-fatigue sets (all *p* values < 0.01), and between the pre-fatigue sets and fatigue sessions (all *p* values < 0.001), and decreased between the fatigue sessions and post-fatigue sets (all *p* values < 0.001).

Effects of Fatigue on Performance

There was no effect of fatigue on either points won/lost ($p = 0.88$, R^2 = not applicable) or successful/unsuccessful strokes ($p = 0.47$, $R^2 = 0.78$).

TABLE 1 | Mean percentage of maximal heart rate during each session, mean perceived fatigue and mean exertion with Borg scale after each session.

	Set 1—Pre-Fatigue	Fatigue Protocol	Set 2—Post-Fatigue
Heart rate (%)	77.6 ± 10.5	93.0 ± 4.1***	85.9 ± 7.9**,$$$
Perceived Fatigue	4.1 ± 1.1	7.8 ± 0.9***	5.9 ± 1.2**,$$$
Borg Scale	12.0 ± 1.6	16.6 ± 1.5***	13.6 ± 2.3**,$$$

Scores are presented as mean ± standard deviation. Heart rate is in percentage of maximal heart rate. Perceived fatigue and Borg scale are a number from each visual analog scale.
***p < 0.01, ***p < 0.001 from Pre-Fatigue Sets; $$$p < 0.001 from Fatigue Protocol.*

Effects of Fatigue on Gaze Behaviors

There was no effect of fatigue on fixation duration ($p = 0.16$, $R^2 = 0.50$, Cohen's $d = 0.34$), number of fixations ($p = 0.14$, $R^2 = 0.27$, Cohen's $d = -0.43$) or the number of switches ($p = 0.12$, $R^2 = 0.43$, Cohen's $d = -0.40$). There was no effect of fatigue on fixation duration for any of the nine AOIs (all *p* values > 0.05). There was a significant effect of fatigue on the number of fixations for shuttlecock ($p < 0.05$, $R^2 = 0.61$, Cohen's $d = -0.53$) and empty area after opponent's stroke ($p < 0.05$, $R^2 = 0.48$, Cohen's $d = -0.51$): the number of fixations on the shuttlecock was lower in pre- (144.4 ± 28.3) than post-fatigue sets (159.1 ± 27.2) and the number of fixations on empty area after the opponent's stroke was lower in pre- (45.6 ± 23.3) than post-fatigue sets (56.0 ± 17.6).

Gaze Behavior and Performance

Performance and Number of Fixations

Point Won/Lost

There was no effect of the number of fixations on performance ($p = 0.79$, $R^2 = 0.19$, Cohen's $d = -0.05$). For the number of fixations per AOI, the only main significant effect on performance was for the boundary lines ($p < 0.05$, $R^2 = 0.25$, Cohen's $d = 0.42$): the number of fixations on the boundary lines was higher for points won (9.1 ± 10.3) than lost (5.4 ± 7.0).

Successful/Unsuccessful Strokes

There was an effect of the number of fixations on performance ($p < 0.001$, $R^2 = 0.50$, Cohen's $d = 0.69$): the number of fixations was higher for successful (3.2 ± 0.5) than unsuccessful strokes (2.3 ± 0.4). There was a significant effect of the number of fixations on performance for five locations: opponent's racket ($p < 0.001$, $R^2 = 0.49$, Cohen's $d = 1.75$), shuttlecock ($p < 0.001$, $R^2 = 0.56$, Cohen's $d = 1.27$), opponent's upper body ($p < 0.001$, $R^2 = 0.66$, Cohen's $d = 2.0$), anticipation area ($p < 0.001$, $R^2 = 0.77$, Cohen's $d = 3.1$) and boundary lines ($p < 0.001$, $R^2 = 0.30$, Cohen's $d = -1.15$). The number of fixations was higher for successful than unsuccessful strokes: opponent's racket: 13.4 ± 9.7 vs. 1.0 ± 3.1, shuttlecock: 181.0 ± 48.8 vs. 126.6 ± 33.8, opponent's upper body: 27.1 ± 13.6 vs. 4.0 ± 5.7 and anticipation area: 67.2 ± 22.9 vs. 8.4 ± 11.2. However, for the boundary lines, the number of fixations was lower for successful than unsuccessful strokes (2.0 ± 2.6 vs. 10.9 ± 10.5) (**Table 2**).

TABLE 2 | Number of fixations on each location for successful and unsuccessful strokes during rallies.

Dependent variableLocations	Successful strokes	Unsuccessful strokes	P value	Fixed effect estimate (95% CI)	Effect size (95% CI)	R^2
Shuttlecock	181.0 ± 48.8	126.6 ± 33.8	***	−54.4 (−69.4; −39.4)	1.3 (0.8; 1.7)	0.56
Opponent's Racket	13.4 ± 9.7	1.0 ± 3.1	***	−58.8 (−66.3, −51.3)	3.1 (2.2; 4.0)	0.77
Opponent's Upper body	27.1 ± 13.6	4.0 ± 5.7	***	−23.1 (−27.2; −19.0)	2.0 (1.4; 2.6)	0.66
Opponent's Lower body	1.6 ± 3.2	0.2 ± 1.0	N/A	N/A	N/A	N/A
Boundary lines	2.0 ± 2.6	10.9 ± 10.5	**	8.9 (5.6; 12.2)	−1.2 (−1.7; −0.6)	0.30
Anticipation area	67.2± 22.9	8.4 ± 11.2	***	−58.8 (−66.3;−51.3)	3.2 (2.2; 4.0)	0.77
Empty area after opponent's stroke	31.9 ± 17.6	32.6 ± 14.1	ns	0.6 (−5.5; 6.7)	−0.04 (−0.3;0.3)	0.29
Empty area before participant's stroke	57.3 ± 24.2	54.3 ± 22.3	ns	−3.0 (−10.9; 4.8)	0.1 (−0.1;0.4)	0.45
Empty area	3.2 ± 12.2	7.2 ± 12.0	ns	4.0 (−0.3; 8.3)	−0.3 (−0.5; −0.2)	0.40

Scores are presented as mean ± standard deviation.
$^{*}p < 0.05$, $^{**}p < 0.01$, $^{***}p < 0.001$, ns: Not Significant, N/A: Not Applicable.

Performance and Fixation Durations

Points Won/Lost

There was no overall effect of fixation duration on performance ($p = 0.89$, $R^2 = 0.17$, Cohen's $d = 0.03$). Analysis of each AOI showed that only the fixation duration for the empty area before the participant's stroke impacted performance ($p < 0.05$, $R^2 = 0.48$): fixation duration was shorter for points won (64.6 ± 45.3 ms) than points lost (79.7 ± 35.6 ms).

Successful/Unsuccessful Strokes

There was an effect of fixation duration on performance ($p < 0.001$, $R^2 = 0.64$, Cohen's $d = 2.00$): fixations were longer for successful (364.2 ± 36.3 ms) than unsuccessful strokes (336.2 ± 43.4 ms). Analysis of each AOI showed an effect of fixation duration on performance for three AOIs: opponent's upper body ($p < 0.001$, $R^2 = 0.38$), anticipation area ($p < 0.05$, $R^2 = 0.43$) and empty area ($p < 0.05$, $R^2 = 0.22$). Fixation durations was higher for successful than unsuccessful strokes: opponent's upper body: 270.0 ± 98.8 ms vs. 176.4 ± 120.4 ms; anticipation area: 402.2 ± 86.7 ms vs. 337.9 ± 156.5 ms and empty area: 364.9 ± 257.0 ms vs. 195.3 ± 126.0 ms.

DISCUSSION

This is one of the first studies to investigate the effects of fatigue on gaze behavior in a real badminton game setting. Fatigue indicators showed that the experimental procedure successfully induced a similar level of physical fatigue as occurs in real-game conditions. The results only partially confirmed our first hypothesis since acute physical fatigue did not shorten fixation durations, although it did induce a higher number of fixations. However, fatigue did not affect performance. Our second hypothesis was also partially confirmed: fixation durations were longer, not shorter as hypothesized, however the number of fixations was higher for successful strokes compared to unsuccessful strokes.

The lack of an effect of fatigue on performance could be attributed to the novice status of the participants. They won few points and failed a relatively high proportion of strokes both with and without fatigue. The lack of an impact of fatigue on performance could result from the use of other types of anticipatory mechanisms (information pick-up strategies, motor responses or contextual information) to compensate for the fatigued mechanism and maintain results (performance).

This study adds valuable information to the small body of literature in the domain of gaze behavior: the results showed that acute physical fatigue increased the number of fixations on two specific locations (shuttlecock and empty area after opponent's stroke), but did not modify fixation duration. The novice participants demonstrated a random visual strategy to pick-up information because of their low experience level. The increase in the number of fixations on the shuttlecock and empty area after the opponent's stroke suggested that fatigue caused disorganized search behavior. This is consistent with the results of another study in badminton (but not in a real-game setting) that suggested that fatigue negatively impacted operational processes, resulting in a reduction in the efficiency of gaze behavior (Mann et al., 2007). Similarly, during a free-viewing visual search task (non-sports context), incremental exhaustive aerobic exercise increased saccade duration and decreased average saccade velocity (Piras et al., 2017). Together, these results suggest that fatigue has a negative effect on gaze behavior, however further studies in real-game settings, with fatigue conditions like those induced in a real match are required to fully confirm this.

The relationships found between gaze behavior and points won is likely specific to novice players. In contrast with expert players who tend to use tactical information in anticipation of the opponent's stroke (Pluijms et al., 2013), the novice players mainly fixed the boundary lines, with shorter fixations on empty area before their stroke, to win points. Higher numbers of fixations on the boundary lines may be necessary for novice players to integrate the dimensions of the court. This information could be useful, (1) to not return shots made by the opponent that are out of court and (2) to stay on the move during the opponent's stroke so as not to lose time and make a successful return stroke. The shorter fixations on the empty area before their stroke suggests that the novices needed to keep their focus on relevant areas prior

to making their stroke. It seems reasonable to hypothesize that they needed a long information intake from the shuttlecock for this purpose.

The novice players in this study fixed all nine AOIs analyzed. Successful strokes were particularly related to four AOIs (opponent's racket, shuttlecock, opponent's upper body, and anticipation area) and were not related to one AOI (boundary lines). This is in line with the finding by Roca et al. (2013) that rather than fixing on a few strategic locations, novice players fix on many locations. However, in accordance with Piras et al. (2017). who found in tennis that novice players focused on racket and ball parts, in the present study players fixed the shuttlecock significantly more than other areas, and tended to fix anticipation area (between opponent's racket and shuttlecock) more often than other locations.

The difference in the areas fixed between the present study and previous studies can be explained by the use of a real-game setting in the present study, rather than video recordings (Sáenz-Moncaleano et al., 2018; Russo and Ottoboni, 2019). In the present study, gaze durations were longer for successful strokes, which we considered as an indicator of accuracy, and fixation duration is positively correlated with accuracy (Shargal et al., 2015; Schapschröer et al., 2016). The longer fixation durations on the opponent's upper body and anticipation area for successful strokes suggested these locations provided relevant information for novices. It is possible that the longer fixation durations recorded for empty area were actually due to simultaneous head and eye movement which reduced the accuracy of the eye tracker. We had hypothesized that fixations on anticipation area would allow information to be collected through parafoveal processing, since the focus was close to the future point of impact between the shuttlecock and racket, near to the opponent's body (Smith et al., 2016). However an extended visual span may only develop with expertise (Triolet et al., 2013), therefore the novice players only used foveal vision on the areas on which they fixed, optimizing the information gathered for their level of ability. Although the participants were novice badminton players, they had experience in other sports. It is possible that they had thus developed and used an extended visual, even if shuttlecock was the most important AOI.

The type of visual search strategy used is a predictor of expertise (Triolet et al., 2013). Studies have shown that expert players fixed on fewer locations for longer durations than novice players (Westfall et al., 2014; Shargal et al., 2015; Van Maarseveen et al., 2018; Brams et al., 2019). In the present study, successful strokes were associated with longer fixation durations and fixations on more locations, which is somewhat similar to gaze behavior used by expert players.

The main limitation of this study was that the eye-tracking device only recorded foveal vision, and did not provide information about peripheral vision or the participant's focus of attention (Abernethy et al., 1993). However, gaze direction and spatial allocation are highly correlated (Williams and Ericsson, 2005), therefore our results may provide an indication of participants' focus of attention. Moreover, saccades are an important gaze behavior that could have been measured in our study. However, the signal detection of saccades was not possible in real-game conditions because of the moving targets and the moving participant wearing the eye-tracking glasses.

This study has several strengths. We attempted to use a robust methodology in terms of eye-tracking research in sports by basing the method on four criteria (Williams et al., 2002): realistic viewing conditions, naturalistic responses, precise measurements and the analysis of large amounts of gaze-data. The recording of data in a real-game setting allowed the perception-action system to be evaluated as a whole, rather than in part as is often the case in controlled studies. Moreover, the analysis of the relationship between fatigue, gaze behavior and performance provided information relating to tactical skills, which are directly related to the perception-action system (Zwierko et al., 2019).

CONCLUSION

The results of this study showed that acute physical fatigue impacted the gaze behavior of novice players during a real badminton game setting. The number of fixations on the shuttlecock and on empty area after the opponent's stroke increased with fatigue. Furthermore, two distinct gaze behaviors were found for successful and unsuccessful performance: points won were associated with fixations on the boundary lines and few fixation durations on empty area before the participant's stroke, and successful strokes were related to long fixation durations, few fixation durations on empty area and a large number of fixations on the shuttlecock, racket, opponent's upper body and anticipation area. These results confirm some previous results found in laboratory conditions and provide new data in real-game conditions. The substantial differences in some aspects of gaze behavior between the results of the present study and those of studies that used controlled situations confirm the importance of evaluating gaze behaviors in near real-world conditions.

DATA AVAILABILITY STATEMENT

The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors, without undue reservation.

ETHICS STATEMENT

The studies involving human participants were reviewed and approved by National Ethical Committee, University Paris-Saclay, CER-Paris-Saclay-2019-058. The patients/participants provided their written informed consent to participate in this study.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

AR, DB, JS, and MLT contributed to conception and design of the study. MLT and LD organized the database. MLT performed the statistical analysis and wrote the first draft of the manuscript. All authors contributed to manuscript revision, read, and approved the submitted version.

REFERENCES

Abernethy, B., and Russell, D. G. (1987). Expert-novice differences in an applied selective attention task. *J. Sport Psychol.* 9, 326-345. doi: 10.1123/jsp.9.4.326

Abernethy, B., Thomas, K. T., and Thomas, J. T. (1993). Chapter 17 strategies for impoving understanding of motor expertise [for mistakes we have made and things we have learned !!]. *Adv. Psychol.* 102, 317–356. doi: 10.1016/S0166-4115(08)61478-8

Afonso, J., Garganta, J., McRobert, A., Williams, A. M., and Mesquita, I. (2012). The perceptual cognitive processes underpinning skilled performance in volleyball: evidence from eye-movements and verbal reports of thinking involving an *in situ* representative task. J. Sports Sci. *Med.* 11, 339–345. Available online at: https://www.jssm.org/jssm-11-339.xml%3Eabst#

Alder, D., Ford, P. R., Causer, J., and Williams, A. M. (2014). The coupling between gaze behavior and opponent kinematics during anticipation of badminton shots. *Hum. Mov. Sci.* 37, 167–179. doi: 10.1016/j.humov.2014.07.002

Alder, D. B., Broadbent, D. P., Stead, J., and Poolton, J. (2019). The impact of physiological load on anticipation skills in badminton: from testing to training. *J. Sports Sci.* 37, 1816–1823. doi: 10.1080/02640414.2019.1596051

Aziz, H. A. (2017). Comparison between field research and controlled laboratory research. *Arch. Clin. Biomed. Res.* 01, 101–104. doi: 10.26502/acbr.50170011

Barreto, J., Casanova, F., Peixoto, C., Fawver, B., and Williams, A. M. (2021). How task constraints influence the gaze and motor behaviours of elite-level gymnasts. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 18:6941. doi: 10.3390/ijerph18136941

Belza, B. (1994). The impact of fatigue on exercise performance. *Arthritis Care Res.* 7, 176–180. doi: 10.1002/art.1790070404

Blomqvist, M., Luhtanen, P., and Laakso, L. (2001). Comparison of two types of instruction in badminton. *Eur. J. Phys. Educ.* 6, 139–155. doi: 10.1080/1740898010060206

Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Med. Sci. Sports Exerc.* 14, 377–381. doi: 10.1249/00005768-198205000-00012

Brams, S., Ziv, G., Levin, O., Spitz, J., Wagemans, J., Williams, A. M., et al. (2019). The relationship between gaze behavior, expertise, and performance: a systematic review. *Psychol. Bull.* 145, 980–1027. doi: 10.1037/bul0000207

Brenner, E., and Smeets, J. B. J. (2017). Accumulating visual information for action. *Prog. Brain Res.* 236:75–95. doi: 10.1016/bs.pbr.2017.07.007

Casanova, F., Garganta, J., Silva, G., Alves, A., Oliveira, J., and Williams, A. M. (2013). Effects of prolonged intermittent exercise on perceptual-cognitive processes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 45, 1610–1617. doi: 10.1249/MSS.0b013e31828b2ce9

Chia, J. S., Burns, S. F., Barrett, L. A., and Chow, J. Y. (2017). Increased complexities in visual search behavior in skilled players for a self-paced aiming task. *Front. Psychol.* 8:987. doi: 10.3389/fpsyg.2017.00987

Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. 2nd Edn.* New York, NY: Routledge: L. Erlbaum Associates.

Connor, J. D., Crowther, R. G., and Sinclair, W. H. (2018). Effect of different evasion maneuvers on anticipation and visual behavior in elite rugby league players. *Motor Control* 22, 18–27. doi: 10.1123/mc.2016-0034

Dicks, M., Button, C., and Davids, K. (2010). Examination of gaze behaviors under in situ and video simulation task constraints reveals differences in information pickup for perception and action. *Atten. Percept. Psychophys.* 72, 706–720. doi: 10.3758/APP.72.3.706

Faber, L. G., Maurits, N. M., and Lorist, M. M. (2012). Mental fatigue affects visual selective attention. *PLoS ONE* 7:e48073. doi: 10.1371/journal.pone.0048073

Gegenfurtner, A., Lehtinen, E., and Sälj,ö R. (2011). Expertise differences in the comprehension of visualizations: a meta-analysis of eye-tracking research in professional domains. *Educ. Psychol. Rev.* 23, 523–552. doi: 10.1007/s10648-011-9174-7

Hagemann, N., Strauss, B., and Cañal-Bruland, R. (2006). Training perceptual skill by orienting visual attention. *J. Sport Exerc. Psychol.* 28, 143–158. doi: 10.1123/jsep.28.2.143

Hughes, P. K., Bhundell, N. L., and Waken, J. M. (1993). Visual and psychomotor performance of elite, intermediate and novice table tennis competitors. *Clin. Exp. Optom.* 76, 51–60. doi: 10.1111/j.1444-0938.1993.tb05090.x

Hüttermann, S., Noël, B., and Memmert, D. (2018). Eye tracking in high-performance sports: evaluation of its application in expert athletes. *Int. J. Comput. Sci. Sport* 17, 182–203. doi: 10.2478/ijcss-2018-0011

Kassner, M., Patera, W., and Bulling, A. (2014). "Pupil: an open source platform for pervasive eye tracking and mobile gaze-based interaction," in *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct Publication* (Seattle WA: *ACM)* 1151–1160. doi: 10.1145/2638728.2641695

Kolman, N. S., Kramer, T., Elferink-Gemser, M. T., Huijgen, B. C. H., and Visscher, C. (2019). Technical and tactical skills related to performance levels in tennis: a systematic review. *J. Sports Sci.* 37, 108–121. doi: 10.1080/02640414.2018.1483699

Kredel, R., Vater, C., Klostermann, A., and Hossner, E.-J. (2017). Eye-tracking technology and the dynamics of natural gaze behavior in sports: a systematic review of 40 years of research. *Front. Psychol.* 8:1845. doi: 10.3389/fpsyg.2017.01845

MacIntosh, G.ardiner, and McComas, A. J. (2006). *Chapter 15 Fatigue. Skeletal Muscle Form and Function. 2nd Edn.* Champaign, IL: Leeds Human Kinetics. doi: 10.5040/9781492596912

Mann, D. T. Y., Williams, A. M., Ward, P., and Janelle, C. M. (2007). Perceptual-cognitive expertise in sport: a meta-analysis. *J. Sport Exerc. Psychol.* 29, 457–478. doi: 10.1123/jsep.29.4.457

Milazzo, N., Farrow, D., and Fournier, J. F. (2016). Effect of implicit perceptual-motor training on decision-making skills and underpinning gaze behavior in combat athletes. *Percept. Mot. Skills* 123, 300–323. doi: 10.1177/0031512516656816

Murray, N. P., and Hunfalvay, M. (2017). A comparison of visual search strategies of elite and non-elite tennis players through cluster analysis. *J. Sports Sci.* 35, 241–246. doi: 10.1080/02640414.2016.1161215

Nakashima, R., and Kumada, T. (2017). The whereabouts of visual attention: involuntary attentional bias toward the default gaze direction. *Atten. Percept. Psychophys.* 79, 1666–1673. doi: 10.3758/s13414-017-1332-7

Phomsoupha, M., and Laffaye, G. (2015). The science of badminton: game characteristics, anthropometry, physiology, visual fitness and biomechanics. *Sports Med.* 45, 473–495. doi: 10.1007/s40279-014-0287-2

Piras, A., Lobietti, R., and Squatrito, S. (2014). Response time, visual search strategy, and anticipatory skills in volleyball players. *J. Ophthalmol.* 2014, 1–10. doi: 10.1155/2014/189268

Piras, A., Raffi, M., Perazzolo, M., Malagoli Lanzoni, I., and Squatrito, S. (2017). Microsaccades and interest areas during free-viewing sport task. *J. Sports Sci.* 37, 980–987. doi: 10.1080/02640414.2017.1380893

Pluijms, J. P., Cañal-Bruland, R., Kats, S., and Savelsbergh, G. J. P. (2013). Translating key methodological issues into technological advancements when running *in-situ* experiments in sports: an example from sailing. *Int. J. Sports Sci. Coach.* 8, 89–103. doi: 10.1260/1747-9541.8.1.89

Roca, A., Ford, P. R., McRobert, A. P., and Williams, A. M. (2013). Perceptual-cognitive skills and their interaction as a function of task constraints in soccer. *J. Sport Exerc. Psychol.* 35, 144–155. doi: 10.1123/jsep.35.2.144

Russo, G., and Ottoboni, G. (2019). The perceptual – Cognitive skills of combat sports athletes: a systematic review. *Psychol. Sport Exerc.* 44, 60–78. doi: 10.1016/j.psychsport.2019.05.004

Sáenz-Moncaleano, C., Basevitch, I., and Tenenbaum, G. (2018). Gaze behaviors during serve returns in tennis: a comparison between intermediate- and high-skill players. *J. Sport Exerc. Psychol.* 40, 49–59. doi: 10.1123/jsep.2017-0253

Schapschröer, M., Lemez, S., Baker, J., and Schorer, J. (2016). Physical load affects perceptual-cognitive performance of skilled athletes: a systematic review. *Sports Med. Open* 2:37. doi: 10.1186/s40798-016-0061-0

Shargal, E., Kislev-Cohen, R., Zigel, L., Epstein, S., Pilz-Burstein, R., and Tenenbaum, G. (2015). Age-related maximal heart rate: examination and refinement of prediction equations. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 55:12. Available online at: https://www.minervamedica.it/en/journals/sports-med-physical-fitness/article.php?cod=R40Y2015N10A1207

Smith, M. R., Coutts, A. J., Merlini, M., Deprez, D., Lenoir, M., and Marcora, S. M. (2016). Mental fatigue impairs soccer-specific physical and technical performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 48, 267–276. doi: 10.1249/MSS.0000000000000762

Triolet, C., Benguigui, N., Le Runigo, C., and Williams, A. M. (2013). Quantifying the nature of anticipation in professional tennis. *J. Sports Sci.* 31, 820–830. doi: 10.1080/02640414.2012.759658

Van Maarseveen, M. J. J., Savelsbergh, G. J. P., and Oudejans, R. R. D. (2018). *In situ* examination of decision-making skills and gaze behaviour of basketball players. *Hum. Mov. Sci.* 57, 205–216. doi: 10.1016/j.humov.2017.12.006

Westfall, J., Kenny, D. A., and Judd, C. M. (2014). Statistical power and optimal design in experiments in which samples of participants respond to samples of stimuli. *J. Exp. Psychol. Gen.* 143, 2020–2045. doi: 10.1037/xge0000014

Williams, A. M., and Ericsson, K. A. (2005). Perceptual-cognitive expertise in sport: some considerations when applying the expert performance approach. *Hum. Mov. Sci.* 24, 283–307. doi: 10.1016/j.humov.2005.06.002

Williams, A. M., Ward, P., Knowles, J. M., and Smeeton, N. J. (2002). Anticipation skill in a real-world task: measurement, training, and transfer in tennis. *J. Exp. Psychol. Appl.* 8, 259–270. doi: 10.1037/1076-898X.8.4.259

Zwierko, T., Jedziniak, W., Florkiewicz, B., Stepiński, M., Buryta, R., Kostrzewa-Nowak, D., et al. (2019). Oculomotor dynamics in skilled soccer players: the effects of sport expertise and strenuous physical effort. *Eur. J. Sport Sci.* 19, 612–620. doi: 10.1080/17461391.2018.1538391

Conflict of Interest: The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Publisher's Note: All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.

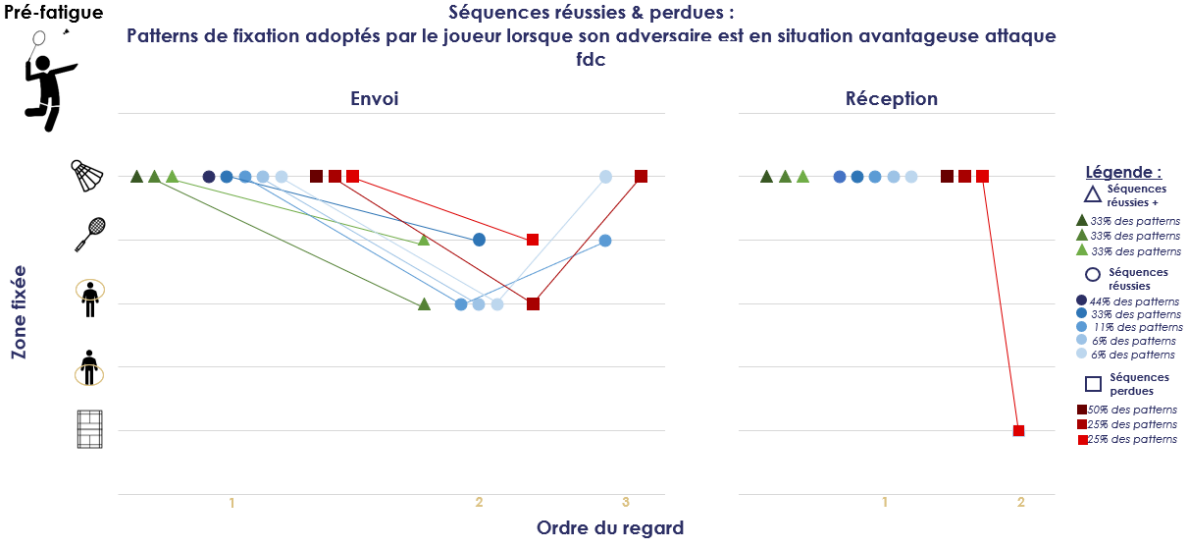
Copyright © 2021 Loiseau-Taupin, Ruffault, Slawinski, Delabarre and Bayle. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

Annexe E. Rapport rendu à l'entraîneur national à la suite de l'étude 3

Tableau représentant les séquences lorsque l'adversaire est en situation avantageuse attaque fond de court

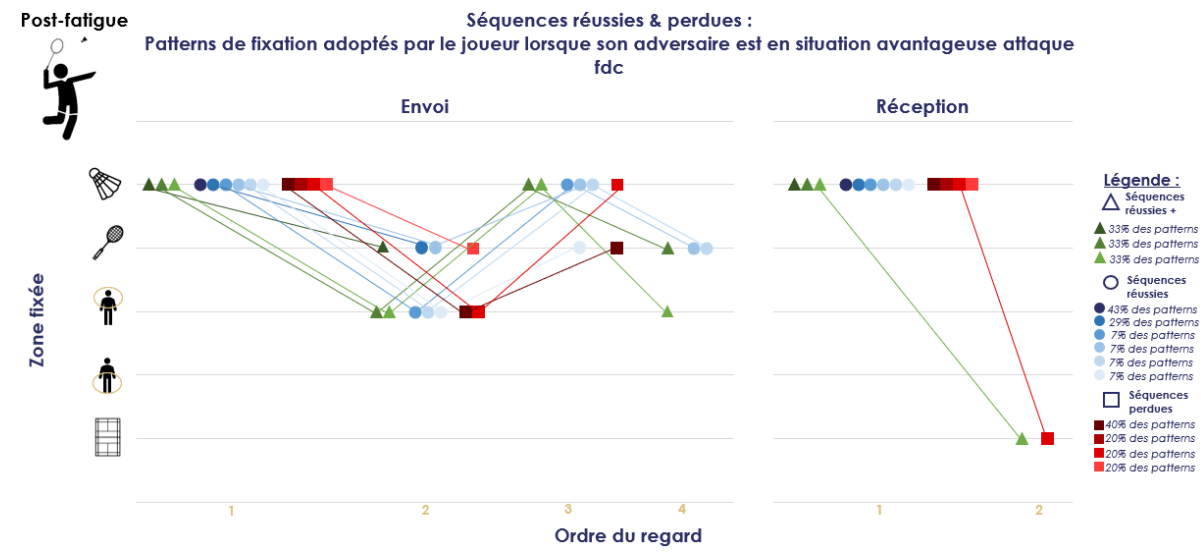
PRÉ-FATIGUE

Pré-fatigue	Séquences réussies +		Séquences réussies		Séquences perdues	
Situation 1 : adversaire en situation avantageuse (attaque fdc)	19%		66%		15%	
	TR moyen					
	116 ms ± 53 ms		154 ms ± 39 ms		175 ms ± 31 ms	
	Temps de fixations moyen ± *écart-type* | % de fixations					
	Phase envoi	Phase réception	Phase envoi	Phase réception	Phase envoi	Phase réception
	1027ms ± 279 ms — 60%	570 ms ± 192 ms — 100%	795 ms ± 429 ms — 62%	434 ms ± 185 ms — 100%	395 ms ± 269 ms — 66%	410 ms ± 96 ms — 75%
	400 ms — 20%	0 ms — 0%	350 ms ± 228 ms — 25%	0 ms — 0%	440ms — 17%	0 ms — 0%
	470 ms — 20%	0 ms — 0%	283 ms ± 98 ms — 13%	0 ms — 0%	330 ms — 17%	0 ms — 0%
	0 ms — 0%	0 ms — 0%	0 ms — 0%	0 ms — 0%	0 ms — 0%	0 ms — 0%
	0 ms — 0%	0 ms — 0%	0 ms — 0%	0 ms — 0%	0 ms — 0%	340 ms — 25%



POST-FATIGUE

Post-fatigue	Séquences réussies +		Séquences réussies		Séquences perdues	
Situation 1 : adversaire en situation avantageuse attaque fdc	14%		64%		23%	
	TR moyen					
	137 ms ± 112 ms		144 ms ± 43 ms		156 ms ± 39 ms	
	Temps de fixations moyen ± *écart-type* | % de fixations					
	Phase envoi	Phase réception	Phase envoi	Phase réception	Phase envoi	Phase réception
	246 ms ± 166 ms — 50%	550 ms ± 226 ms — 75%	610 ms ± 368 ms — 60%	531 ms ± 211 ms — 100%	688 ms ± 480 ms — 50%	378 ms ± 108 ms — 67%
	235 ms ± 49 ms — 20%	0 ms — 0%	308 ms ± 165 ms — 30%	0 ms — 0%	235ms ± 191 ms — 20%	0 ms — 0%
	210 ms ± 165 ms — 30%	0 ms — 0%	290 ms ± 115 ms — 10%	0 ms — 0%	313 ms ± 51 ms — 30%	0 ms — 0%
	0 ms — 0%	0 ms — 0%	0 ms — 0%	0 ms — 0%	0 ms — 0%	0 ms — 0%
	0 ms — 0%	940 ms — 25%	0 ms — 0%	0 ms — 0%	0 ms — 0%	370 ms ± 141 ms — 33%



Déterminants moteurs et visuels du jugement d'anticipation en badminton : Effets de la fatigue et de l'expertise.

Résumé – Parmi les informations sensorielles utilisées par un joueur dans un sport d'opposition médié par un filet, les informations visuelles représentent les informations les plus utilisées. Prélever les informations visuelles pertinentes sous pression temporelle est un des déterminants de la performance en badminton. L'anticipation, comme jugement et l'attention, comme habileté perceptivo-cognitive, se définissent à partir de la prise d'informations visuelles. L'anticipation implique une prise d'informations visuelles et l'attention permet cette prise d'information. La fatigue, comme contrainte inhérente à la pratique, peut impacter l'anticipation, l'attention, la prise d'informations visuelles ainsi que la performance sportive. Cependant, les liens entre ces variables restent peu décrits et compris dans la pratique réelle de badminton. Ainsi, le premier objectif scientifique de cette thèse est, à partir du modèle exploratoire de l'expertise, d'apporter des connaissances descriptives et explicatives sur le jugement d'anticipation à partir de quatre déterminants : moteur, visuel, attentionnel et de connaissance pour des joueurs de badminton dans un contexte de réalité de terrain. Le second objectif est d'évaluer les effets de la fatigue sur ce jugement. Les résultats principaux de cette thèse montrent une différence de réponses motrices d'anticipation/réaction et visuelles selon le niveau d'expertise (Etude 1). Concernant les effets de la fatigue, les réponses motrices et visuelles sont peu impactées par la fatigue pour une population de joueurs novices (Etude 2) mais sont impactées pour une population de joueurs experts (Etude 3). Plus précisément, dans un rapport de force défensif, la fatigue impacte les comportements étudiés (Etude 4). Ces premiers résultats en situations écologiques de badminton permettent un apport descriptif et explicatif du sport selon deux niveaux d'expertise extrême (des non joueurs et des sportifs de haut niveau) et une compréhension de la contrainte fatigue sur le jugement d'anticipation. Enfin, la compréhension des mécanismes attentionnels et d'anticipation en situation contrôlée montre un effet de l'expertise et de la fatigue (Etude 5). Ce projet de thèse ouvre des perspectives pratiques d'entraînement et des perspectives de recherches complémentaires sur la compréhension des mécanismes d'anticipation observés à partir des déterminants du jugement d'anticipation. En effet, les apports de ce projet permettent un rendu accessible des connaissances à des fins pédagogiques afin d'optimiser les programmes d'entraînement (écrits, consignes, situations) et de nouvelles questions de recherche autour des mécanismes neuronaux et du lien fatigue-performance impliqués dans le jugement d'anticipation en situation et autour des facteurs (engagement, type de jeux) pouvant impacter ce jugement.
Mots-clés : *perception visuelle, prise d'informations, analyse oculomotrice, attention.*

Motor and visual determinants of anticipation judgdment in badminton : Effects of fatigue and expertise.

Abstract – Among the sensory information used by a player in a net-mediated opposition sport, visual information represents the most used information. Collecting relevant visual information under temporal pressure is one of the determinants of badminton performance. Anticipation, as judgment and attention, as perceptivo-cognitive skill, is defined from the acquisition of visual information. Anticipation involves visual information pick-up and attention allows this information pick-up. Fatigue, as an inherent constraint in practice, can affect anticipation, attention, visual search and performance in sport. However, the links between these variables remain poorly described and understood in real badminton settings. Thus, first scientific aim of this thesis is, from the expertise model, to bring descriptive and explanatory knowledge on anticipation judgment from four determinants: motor, visual, attentional and knowledge determinants for badminton players in real game settings. The second goal is to assess effects of fatigue on this judgment. The main results of this thesis show a difference in anticipation/reaction motor and visual responses according to the level of expertise (Study 1). Regarding effects of fatigue, motor and visual responses are little impacted by fatigue for novice players (Study 2) but are impacted for expert players (Study 3). More specifically, in a defensive force ratio, fatigue impacts gaze and motor behaviors (Study 4). These first results in ecological situations of badminton allow descriptive and explanatory contribution according to two levels of expertise (beginners and high-level athletes) and an understanding of the fatigue constraint on anticipation judgment. Finally, the understanding of attentional and anticipation mechanisms in a controlled situation shows an effect of expertise and fatigue (Study 5). This thesis project opens up practical perspectives of training and perspectives of complementary research on the understanding of the mechanisms of anticipation observed from the determinants of the anticipation judgment. Indeed, the contributions of this project allow an accessible rendering of knowledge for educational purposes in order to optimize the training programs (written feedback, instructions, training situations) and new research questions around the neuronal mechanisms and the fatigue-performance link involved in the anticipation judgment in situations and around factors (commitment, type of games) that can impact this judgment.
Keywords: *visual perception, information pick-up, visual search, attention.*