

Année universitaire 2023-2024

Master 1^{ère} année Master 2^{ème} année

Master STAPS mention : *Entraînement et Optimisation de la Performance
Sportive*

Parcours: *Recherche en Sciences du Sport et de l'Activité Physique*

MÉMOIRE

**TITRE : Étude des déterminants de l'anticipation en
badminton: dans quelle mesure la résonance motrice permet
de prédire les conséquences de l'action de l'adversaire.**

Par : Matisse LEMESLE

Sous la direction de : Yannick WAMAIN

Soutenu à la Faculté des Sciences du Sport et
de l'Éducation Physique le : 20/06/2024

« La Faculté des Sciences du Sport et de l'Education Physique n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les mémoires; celles-ci sont propres à leurs auteurs. »

Remerciements:

Je tiens absolument à remercier mon directeur de stage, Yannick WAMAIN, pour m'avoir encouragé et aidé, sans me donner les solutions mais en me faisant réfléchir constamment. Il m'a apporté de nouveaux points de vue à chaque problème permettant une compréhension de plus en plus vaste du travail de chercheur. Merci beaucoup pour son accompagnement.

Un grand merci à Robin Beaudinot et Michel Plantefève, deux entraîneurs du Badminton Club Roubaix, pour m'avoir apporté leur connaissance du Badminton.

Aussi merci à la coopération précieuse du club de Marchiennes, Arras et Béthune pour m'avoir laissé un espace dans leur salle afin de réaliser mon expérience sur place lors des compétitions. Merci beaucoup à la coopération des acteurs, qui ont réalisé une tâche difficile mais sans qui je n'aurais pu réaliser l'expérience. Bien sûr merci aux participants qui ont tous été volontaires, intéressés et agréables lors de l'expérience. Je tiens aussi à remercier énormément les différentes personnes qui m'ont autorisé volontiers à recruter dans leur club au cours des deux années (Wambrechies, Lezennes, Villeneuve d'Ascq, Hersin Coupigny, Hem, Liancourt).

Évidemment, je remercie mille fois ma famille et mes amis qui me soutiennent et m'encouragent dans les moments difficiles pour toujours donner le meilleur de moi-même.

Sommaire :

Introduction.....	4
Revue de littérature.....	5
Objectif du travail mené.....	11
<i>Étude 1</i>	
Matériels et Méthodes.....	12
A) Population	
B) Protocole	
C) Statistiques	
Résultats.....	17
Discussion étude 1.....	20
<i>Étude 2</i>	
Matériels et Méthodes.....	21
A) Population	
B) Protocole	
C) Statistiques	
Résultats.....	26
Discussion étude 2.....	29
Discussion et conclusion générale.....	30
Perspectives.....	33
Références bibliographiques.....	34
Résumés.....	37
Annexes.....	39

Introduction

L'anticipation est une compétence cognitive très importante permettant de s'éviter des dangers dans la vie courante. Dans un environnement sportif, elle est également primordiale, et plus particulièrement lorsque le sport est rapide tel que le Badminton. Cet environnement sportif impacte l'anticipation car il ajoute des choix mais aussi des informations importantes pour chaque action du sportif. Ainsi, un sportif sera plus ou moins rapide et précis dans son anticipation selon le nombre de choix et d'informations avant le début de l'action. Cette notion du changement de temps de réponse selon le nombre de choix est similaire à la Loi de Hick en 1952 (Figure 1) où plus il y a de choix et plus l'individu est long à réagir.

Cependant, les experts ont été prouvés plus performants que des novices à maintes reprises sur des tâches d'anticipation (Aglioti et al., 2008 ; Jin et al., 2011 ; Müller et Abernethy, 2012). Ce serait en partie grâce à l'activation de l'Action Observation Network (AON) qui est un système permettant d'incorporer ce qui est perçu pour comparer à son répertoire moteur afin de comprendre la situation. Ce phénomène d'activation des régions motrices au cours de la perception d'action est aussi appelé la Résonance Motrice (Rizzolatti et al., 1990) et pourrait expliquer pourquoi un expert est plus précis qu'un novice pour anticiper.

Cette problématique de l'importance du répertoire moteur dans l'anticipation a été le sujet des deux études de mon master et chacune tente d'apporter une réponse grâce à une approche différente. L'Étude 1 compare un groupe expert, novice et contrôle (non-badiste) grâce à cette tâche d'anticipation en réalité virtuelle sur le Badminton car chaque groupe a un répertoire plus ou moins grand selon leur expertise. L'hypothèse est que les experts anticipent mieux leurs adversaires grâce à un répertoire plus grand que les participants des autres groupes.

L'Étude 2 est constituée uniquement d'un groupe expert mais la notion de Profil de Joueur y est ajoutée. Le Profil de joueur est constitué des composantes Tactique, Technique et Physique. Le répertoire moteur de tous les participants est relativement grand mais avec une "forme" différente selon leur Profil de Joueur. Ainsi l'hypothèse est que les participants anticipent mieux les adversaires qui ont un profil similaire au leur.

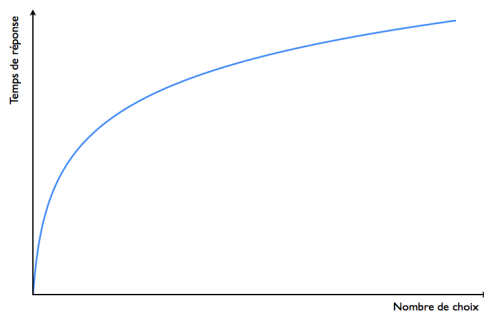


Figure 1: Loi de Hick (1952) expliquant le temps de réponse d'un individu (axe Y) selon son nombre de choix (axe X). Cette relation s'explique par la formule : $RT = a + b \log_2(n)$.

Revue de littérature

Dans la vie quotidienne, l'individu humain est sans cesse en train de prédire les conséquences de ses actes ou de son environnement. Ce phénomène, appelé anticipation, peut être réalisé de manière inconsciente ou consciente et consiste à utiliser les informations environnantes pour prédire une action à suivre, que ce soit la sienne ou celle d'autrui, avant qu'elle ne survienne. Bien qu'elle soit régulièrement utilisée, elle est complexe et engage des systèmes neurologiques différents qui doivent être étudiés. L'anticipation est aussi constamment exploitée dans le milieu de l'activité physique et du sport afin de prédire les actions d'autrui et d'adapter son comportement de manière efficace (Gray, 2002). Le rôle de l'anticipation semble particulièrement marqué dans des sports rapides, comme le Badminton, ou la simple réaction au comportement ne permet pas d'être efficace.

Peu importe le milieu, pour anticiper, nous utilisons des affordances, définies par Gibson (1979) comme un ensemble des possibilités d'action qui sont offertes par l'environnement à l'individu. C'est-à-dire qu'une affordance permet de montrer une possibilité de l'action à l'observateur, des éléments sont pris en compte comme sa propre taille, ses capacités locomotrices,... Cela permet de déterminer les comportements moteurs appropriés à l'environnement. L'individu humain est très sensible aux affordances (Withagen et Van Wermeskerken, 2009), ainsi le contexte se révèle primordial car nous oblige à résoudre en permanence les problèmes complexes offerts par l'environnement (Myszka et al., 2023). La plupart des études sur les affordances s'intéressent à des situations simples dans lesquelles des objets évoquent une seule affordance (Warren, 1984). L'étude de Warren consistait à demander aux participants s'ils se pensaient capables de monter une marche d'escalier. S'ils répondaient oui, la hauteur augmentait jusqu'à temps qu'ils ne se qualifiaient plus capables de la monter. Cependant, l'environnement sportif est trop complexe pour valider le modèle de l'affordance unique où une seule affordance arriverait à la fois. L'étude de Wagman et al. (2016) a alors créé le modèle de "Nested Affordances" ou "Affordances Imbriquées" en français où les affordances sont multiples et liées entre elles. En d'autres termes, Wagman a essayé de vérifier si la perception d'un environnement complexe pouvait permettre l'évocation d'une succession d'affordances. L'étude de Seifert et al. (2020) a permis d'appliquer cette conception des nested affordances dans le sport et plus précisément en

Escalade. Ils ont déterminé que lors d'une tâche simple (e.g. les grimpeurs déterminent s'ils sont capables de toucher une prise d'escalade), les participants se réfèrent plutôt à une échelle du corps, c'est-à-dire qu'ils prennent en compte les proportions de leur corps. Alors que lors d'une tâche plus complexe (e.g. les grimpeurs déterminent s'ils sont capables d'utiliser une prise pour ensuite grimper), ils se réfèrent à une échelle de l'action, donc ils s'intéressent à leur capacité à réaliser l'action et plus à leurs propriétés physiques. C'est d'ailleurs lors de tâches complexes que les participants ont été plus précis dans cette étude. Ce n'est pas uniquement le cas de l'Escalade où le grimpeur est seul face à son mur, des études ont aussi été réalisées sur le Football. L'étude de Duncan et al. (2022), sur des jeunes garçons footballeurs, a montré que l'individu humain peut adapter son environnement pour une action. Ils ont mis en place un dispositif où les participants devaient effectuer le plus de touches possibles lors d'un dribble pendant une minute en plaçant des plots comme ils le souhaitent, ce qui montre qu'une tâche difficile se fait par une échelle de l'action. L'expérience de Peker et al. (2023) a voulu compléter cette notion de nested affordances dans le sport. L'étude consiste à étudier l'écart minimum entre deux joueurs dans laquelle il est possible d'effectuer une passe sans risque d'interception en fonction de la distance de la passe et la présence d'équipiers et/ou d'adversaires. Les auteurs complètent que les nested affordances peuvent être personnelles ou interpersonnelles (i.e. sociales) mais aussi que les affordances supérieures ne sont pas une simple addition d'affordances inférieures car il y a un ajustement animal-environnement. Alors, la largeur de l'espace minimum pour réaliser cette passe augmentait selon la distance entre cet espace cible et le joueur mais aussi en fonction de la nature des deux joueurs formant l'espace ainsi que la direction de leur regard.

Néanmoins, les affordances évoquées par l'environnement à l'individu dépendent des sources d'informations disponibles et captées par celui-ci. Les sources diffèrent selon le domaine, ainsi, un individu qualifiable de spécialiste ou d'expert sera davantage capable de capter les informations importantes. Pour les sports de raquette, Müller et Abernethy (2012) ont créé un modèle représentant la capacité d'anticipation théorique d'un expert et d'un novice (Figure 2) où la précision de l'anticipation augmente au cours du temps pour les deux groupes grâce à des sources d'informations captées, ou non, selon l'expertise. Ce modèle permet de comprendre la différence de performance pour anticiper une frappe en Badminton notamment selon l'expertise d'un joueur.

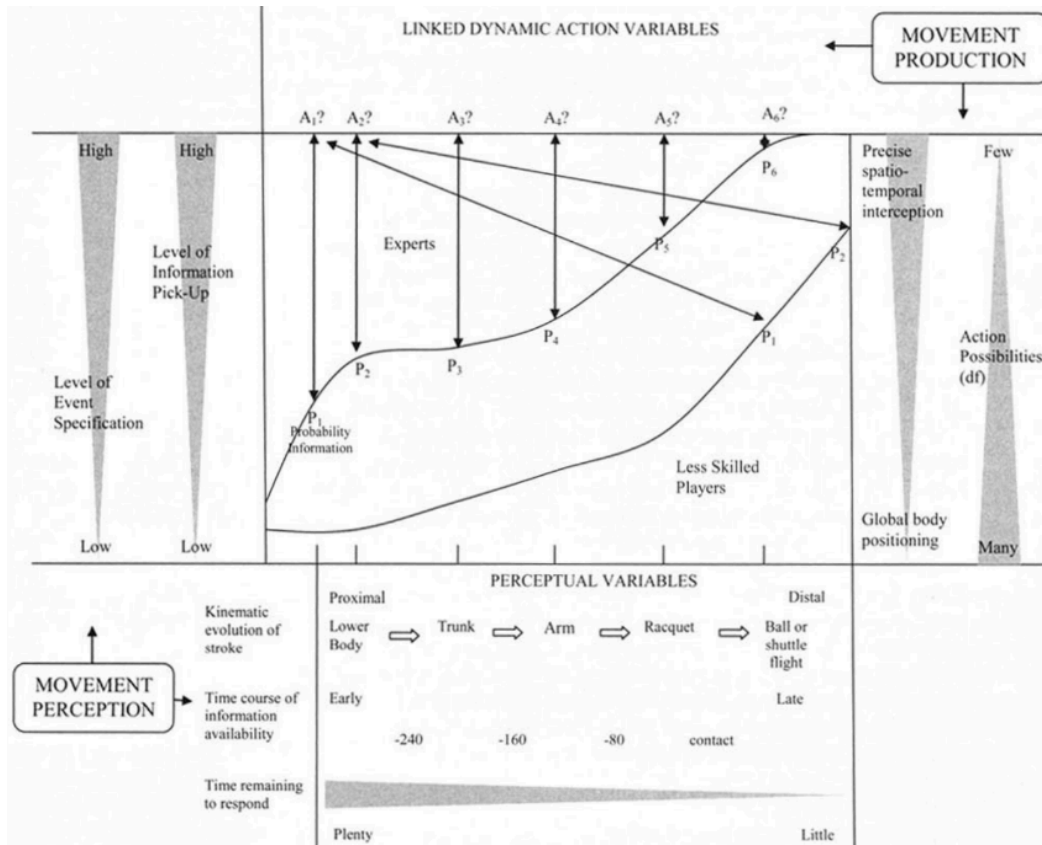


Figure 2: Modèle théorique tiré de l'étude de Müller et Abernethy (2012) représentant l'anticipation d'un joueur expert et d'un joueur novice dans les sports de raquette. Les variables (P) sont les différentes sources d'informations disponibles au cours du temps avant l'action. Les variables (A) sont les différentes phases d'exécution du mouvement adverse. Les deux joueurs sont plus ou moins sensibles aux différentes sources d'informations, ce qui leur permet de spécifier l'action à suivre en éliminant des possibilités d'action, ainsi cela leur permet de se préparer en retour à cette action.

Dans ce modèle, l'ensemble des possibilités d'actions (affordances) diminue au cours du déroulement de l'action grâce à deux catégories d'informations, permettant au final d'anticiper le comportement futur. Chronologiquement, les premières informations sont les informations contextuelles (représentées par A1 sur la Figure 2) qui dépendent des expériences passées et du contexte de l'action permettant le "strategic remembering", favorisant l'anticipation de la prochaine action (Christensen et Bicknell, 2019). L'étude de Vernon et al. (2018) a voulu catégoriser les sources d'informations permettant l'anticipation dans les sports de raquette. Suite à un entretien semi-directif, ils ont pu différencier neuf thèmes principaux qu'ils ont ensuite classé temporellement. Les informations contextuelles

sont les premières informations à arriver lors d'une action car elles peuvent être présentées juste avant l'action ou bien des jours avant. La deuxième catégorie d'informations sont les informations cinématiques, c'est-à-dire les informations visuelles du corps de l'adversaire (représentées par A2-A5 sur la Figure 2). Elles sont détectables dès le début de l'action où l'individu observe un mouvement de son adversaire (e.g. Football, sports de raquette,...). Elles sont un point clé pour anticiper en Badminton (Wright et al., 2011). La réussite de l'anticipation d'une action dépend de la prise en compte de ces informations cinématiques. Ainsi, selon ce que l'individu regarde de son adversaire, celui-ci aura plus ou moins d'indices sur les conséquences de l'action. L'étude de Costa et al. (2023) a permis de démontrer, dans le Tennis, quels étaient les éléments importants à observer pour anticiper la frappe adverse grâce à de l'occlusion des différents éléments (i.e. la balle, la raquette, les jambes,...), ils ont obtenu des résultats de précision plus faibles lorsque la balle ou le tronc étaient enlevés, signifiant que ce sont les éléments donnant le plus d'informations en Tennis et qui sont donc importants à regarder. Les informations cinématiques sont disponibles dès que l'individu se met en mouvement mais deviennent particulièrement pertinente pour l'anticipation lorsque nous nous rapprochons de la frappe, entre -160ms et 0ms avant la frappe (Jin et al., 2011), il faut donc être efficace dans des sports rapides comme le Badminton. Abernethy (1993) a montré l'importance des informations cinématiques recueillies sur certaines parties du corps pour anticiper en Badminton grâce à un système de "Point light display" (PLD, i.e. le corps est représenté par des points sur des repères anatomiques). Cette technique introduite par Johansson (1973) permet de ne présenter que les informations cinématiques à l'observateur en supprimant toutes autres informations contextuelles. L'anticipation du point d'atterrissage du volant par les participants (experts et novices) ont été très similaires en PLD par rapport à des situations naturelles, suggérant que les informations cinématiques jouent un rôle majeur dans la prédiction des comportements.

Les informations cinématiques peuvent être manipulées selon les fréquences spatiales (SF) pour se rendre plus ou moins évidentes. Les SF sont des réseaux composés de bandes sombres et lumineuses. Elles peuvent être de hautes fréquences (High SF), ce qui représentent tous les détails de la scène visuelle (bandes sombres). Elles peuvent aussi être de basses fréquences (Low SF), elles représentent les informations grossières d'une scène (bandes claires), comme si nous regardions à travers un filtre flou. La figure 3, tirée de l'étude de Ryu et al. (2018), montrent les différentes façons de voir une même scène selon les fréquences spatiales gardées. Les experts sont davantage capables de voir les informations dans des sources en low SF qui sont plus utiles pour anticiper correctement et surtout pour

discerner les feintes (Ryu et al., 2018). C'est donc une capacité très importante dans un sport aussi rapide que le Badminton car le but d'une feinte est de déstabiliser l'adversaire, de le surprendre et de lui mettre le doute pour la prochaine action à venir. Anticiper la prochaine frappe est alors primordial pour rester en vie dans l'échange. L'étude de Park et al. (2019) a testé l'anticipation de badistes experts et novices qui devaient regarder des vidéos avec, soit les informations normales, soit uniquement les informations en low SF ou en high SF. Les vidéos contenaient une frappe normale ou feintée. Les experts ont mieux perçu les feintes que les novices et surtout dans la condition low SF. Ce qui révèle que les informations en high SF (e.g. le regard de l'adversaire) sont majoritairement des distracteurs lors de l'anticipation en Badminton. Cette lecture des sources d'informations en low SF est importante et peut s'apprendre naturellement avec de l'expertise mais aussi avec un entraînement spécifique comme dans l'étude de Ryu et al. (2018). Ils ont créé un entraînement par vidéo et ils ont séparé leurs participants (tous novices) en trois groupes distincts: ils ont réalisé un entraînement en utilisant des vidéos, soit normales, soit avec des vidéos en high SF, soit avec des vidéos en low SF uniquement. L'entraînement a duré trois jours au bout duquel un test de rétention était donné et seuls les participants du groupe low SF se sont améliorés dans leur précision d'anticipation car ils ont changé leur recherche visuelle pour la rendre plus efficace en regardant le point de contact raquette/volant notamment. Ainsi la détection et l'utilisation des informations cinématiques peuvent être optimisées.



Figure 3: Représentation tirée de l'étude de Ryu et al. (2018) montrant les stimuli vidéos de chaque type de fréquences spatiales lors d'une frappe de Badminton. **(a)** représente les informations d'une SF normale. **(b)** représente les informations en high SF uniquement. **(c)** représente les informations en low SF uniquement.

Néanmoins, sans entraînement spécifique, il existe une inégalité de la sensibilité des informations cinématiques, surtout entre un groupe expert et novice. La recherche visuelle a été prouvée comme étant distinctes entre les deux groupes, notamment par l'étude d'Alder et

al. (2014) qui a analysé la manière dont les participants observaient la scène lors d'une tâche d'anticipation. Elle présentait des vidéos contenant des services avec des éléments supprimés (e.g. volant, raquette, jambes,...), projetés sur grand écran sur un terrain de Badminton réel. Ils ont aussi placé 28 marqueurs sur le serveur et sa raquette pour observer les plus importants. Sept marqueurs ont été primordiaux pour anticiper, ils sont placés de l'épaule droite (le serveur est droitier) jusqu'à sa raquette. Les experts ont regardé moins de marqueurs mais ils fixaient des marqueurs plus importants et chaque marqueur était fixé plus longtemps, ce qui permet d'obtenir plus d'informations. Cependant, d'autres études confirment une meilleure anticipation des experts par rapport aux novices uniquement dans des situations où les informations sont congruentes avec le résultat. Lorsque les informations sont incongruentes avec le résultat, ce sont les novices qui deviennent plus précis dans leur anticipation (Tomeo et al., 2013 ; Runswick et al., 2019). C'est le cas lorsqu'une incongruence existe entre les informations cinématiques et le résultat (Tomeo et al., 2013) mais aussi lorsque l'incongruence intervient entre les informations contextuelles et les informations cinématiques (Runswick et al., 2019). En effet, dans cette dernière étude, portant sur l'anticipation dans le Cricket, des informations contextuelles sont montrées aux participants avant chaque vidéo présentant les derniers lancers du bowler. Ces informations contextuelles pouvaient être congruentes ou non avec le lancer suivant présenté en vidéo. Lors de situations congruentes, les experts étaient significativement plus précis pour anticiper la zone visée par le lancer du bowler. Par contre, lorsque les informations contextuelles étaient incongruentes avec les informations cinématiques, les experts étaient significativement moins précis que les novices. D'après les auteurs, la cause serait que seuls les experts utilisent les informations contextuelles ce qui provoque un biais de confirmation (Nickerson, 1998). Celui-ci postule qu'une fois la décision prise, les individus préfèrent voir les informations allant dans ce sens plutôt que des informations entrant en conflit avec ce choix. Donc les experts sélectionnent déjà un choix avec les informations contextuelles et changent difficilement d'avis avec les informations cinématiques alors que les novices se forment un avis à l'aide des informations cinématiques. Toutefois, l'anticipation ne passe pas uniquement par le système visuel.

En effet, un autre système important est utilisé surtout par un joueur expert d'un sport. L'étude d'Aglioti et al. (2008) permet d'illustrer ce système. Cette expérience, en Basketball, consistait à regarder des vidéos de lancers-francs qui étaient coupés à différents temps avant que la balle ne rentre dans le panier. La tâche des participants consistait à prédire si le ballon s'apprêtait à rentrer dans le panier ou non. Plusieurs groupes ont été testés : un groupe novice,

un groupe expert et un groupe composé de journalistes et coaches de Basketball (i.e. ils voient régulièrement du Basketball mais n'en pratiquent pas ou peu). Les résultats révèlent que les basketteurs experts ont un pourcentage d'anticipation réussie sur différents temps d'occlusion plus important que les autres groupes révélant ainsi que l'expertise motrice était importante pour anticiper (Aglioti et al., 2008 ; Fourkas et al., 2008 ; Jin et al. 2011). Effectivement, le groupe d'experts avait un plus grand répertoire moteur, ce qui leur a permis d'utiliser la résonance motrice. La résonance motrice se définit comme l'activité neurale qui est spontanément générée lors de la perception du mouvement, des gestes et des actions faits par une autre personne (Decety, 2010). Celle-ci permet de comparer le geste de l'acteur à celui qu'aurait réalisé l'observateur pour comprendre leur intention, elle a aussi permis de comparer la trajectoire de la balle à une trajectoire optimale lorsque l'acteur tire. Cela serait permis grâce au système de neurones miroirs, découvert par Rizzolatti et al. (1990) qui "permettent à notre cerveau de corréliser les mouvements observés à nos propres mouvements et d'en reconnaître la signification" (Rizzolatti, Les Neurones Miroirs, 2008, p.10). D'ailleurs, l'appellation "neurones miroirs" fait débat car ils n'ont pas été réellement observés chez l'Homme, ce système est ainsi autrement appelé "Action Observation Network" (AON). Nous retrouvons notre notion de répertoire moteur (i.e. "nos propres mouvements"), c'est le système AON qui permet la comparaison entre notre répertoire moteur et l'action de l'adversaire, ce phénomène représente la résonance motrice. Dans l'étude d'Aglioti, l'utilité de l'AON est confirmée par le fait que les participants experts, qui ont un grand répertoire moteur en Basketball, ont mieux anticipé les lancers-francs, par contre ils n'ont pas été meilleurs que les autres groupes pour anticiper des tirs de Football car ils n'ont pas d'expertise dans ce domaine.

Alors, après cette mise en contexte, ma question est de savoir dans quelle mesure la résonance motrice est utilisée selon le répertoire moteur de l'individu pour prédire les conséquences de l'action adverse en Badminton ?

Objectif du travail mené

L'objectif de ce travail est de comprendre les déterminants de l'anticipation dans le Badminton. Plus particulièrement, nous étudions si la façon dont l'observateur utilise son propre répertoire moteur pour anticiper les conséquences de l'action de son adversaire conduit à une meilleure performance. Deux études expérimentales ont été menées afin de répondre à cette question. L'objectif de l'Étude 1 était de comparer les performances entre

trois groupes de pratiquants : non-badiste, novice et expert. Ces différents groupes ont été sélectionnés afin de manipuler la taille du répertoire moteur. L'hypothèse étant que les experts seront plus précis et rapides que les novices et non-badistes du fait de leur plus grand répertoire moteur. Aussi, nous avons comme hypothèse que les participants seront plus précis et rapides dans des conditions contenant beaucoup d'informations et peu de possibilités. Cette hypothèse sera vérifiée par les deux études.

L'objectif de l'Étude 2 est aussi de répondre à cette problématique uniquement par un groupe expert mais composé de profils différents ce qui apporte des répertoires moteurs divers. L'hypothèse étant que les participants anticipent plus précisément et rapidement des adversaires qui ont un Profil de Joueur similaire grâce à leur AON.

Étude 1

Matériels et Méthodes

Population

Quarante-sept hommes ont été recrutés dans les clubs de Badminton de la métropole lilloise. Seul un échantillon masculin et droitier a été sélectionné (Score Oldfield test) afin de maximiser la correspondance entre les joueurs observés et les participants. Ils ont été répartis en trois groupes distincts en fonction de leur classement et expérience du Badminton:

- Le Groupe “contrôle” était constitué de 12 non-badistes, âgés de 23.3 ans (SD = 4.6 ans) et tous NC (non-classés) car n'ayant jamais effectué de compétitions. Ils ont déjà pratiqué en période scolaire ou en loisir. Ils déclarent ne pas être spectateur ou téléspectateur de Badminton professionnel.
- Le Groupe “novice” était constitué de 17 badistes, âgés de 25.8 ans (SD = 10.3 ans), et de classement maximum moyen P11 (n = 5 NC, 2 P12, 2 P11, 2 P10, 6 D9). Le classement P11 représente environ les badistes classés 30 000 à 50 000ème français, soit des débutants. Le nombre moyen d'années d'expériences d'entraînement était de 1.9 ans (SD = 1.5 ans).
- Le Groupe “expert” était constitué de 18 badistes, âgés de 28.0 ans (SD = 9.2 ans), et de classement maximum moyen N3 (n = 5 R5, 3 R4, 3 N3, 4 N2, 3 N1). Le classement N3 représente environ les badistes classés entre 300 et 1000ème français. Le nombre d'années d'expériences d'entraînement était en moyenne de 14.4 ans (SD = 6.5 ans).

Protocole

Stimuli

Deux cents quarante vidéos de service au Badminton ont été acquises via une caméra insta 360 ONE RS installée sur un trépied Manfrotto MKBFRA4 BK-BH (Figure 4). La caméra était placée sur la ligne médiane du terrain à un mètre derrière la ligne de service afin d'imiter le placement du joueur après son service. Les vidéos présentaient un service qui partait de la droite de la caméra (point de vue du serveur) et un retour de service qui était coupé au moment de la frappe.

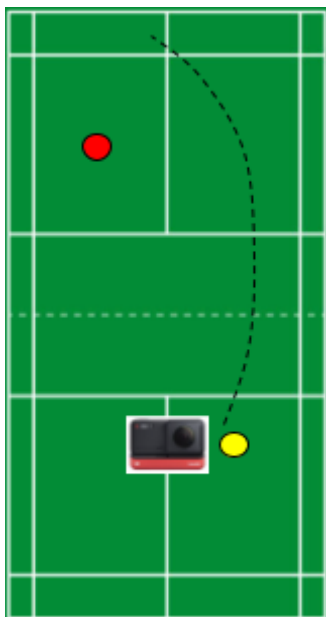


Figure 4: Situation de capture vidéo. La caméra insta 360 ONE RS est positionnée un mètre derrière la ligne de service sur son trépied. Le point jaune représente le serveur effectuant un service lobé, reflété par les tirets. Le point rouge représente le receveur positionné avant que le service ne soit effectué.

Cinq badistes droitiers issus de plusieurs clubs de la métropole lilloise (Hem, LUC, Roubaix), et d'un niveau moyen N1-N2 (3 N1 et 2 N2) ont participé à la création des vidéos, chacun a été serveur et receveur. Douze services distincts ont été proposés selon leur longueur, hauteur et orientation (liste complète des services en annexe I). Le serveur devait effectuer le service demandé en diagonale paire (i.e. à droite) sans en informer le receveur. Tous les services se faisaient en prise de raquette "revers" pour qu'il n'y ait aucune différenciation et donc d'indice pour le receveur mais aussi pour le futur participant qui visionnera les vidéos. Le receveur devait effectuer la frappe comme s'il était en match réel et il avait pour consignes d'éviter les feintes et de ne pas prendre les services en faute (en dehors du terrain). Après

chaque vidéo, le point d'atterrissage du volant était mesuré pour avoir les coordonnées réelles en largeur (X) et en longueur (Y). Chaque receveur devait réaliser quarante-huit vidéos (i.e. quatre pour chaque service).

Afin de rendre compte de la variabilité de retour produit pour les différents types de service, nous avons calculé à partir des coordonnées d'atterrissage du volant, la position moyenne par type de service, puis la distance entre cette moyenne et chacun des services de ce type. La moyenne de ces distances permet de connaître la variabilité de comportement pour chaque type de service. Nous les avons ensuite classés dans l'ordre croissant et sélectionné les trois types de service avec le plus de variation (court centre, court extérieur, court extérieur trop haut) et les trois avec le moins de variation (lob extérieur, flick extérieur, lob extérieur trop bas et trop court). Le fait d'avoir peu ou beaucoup de variabilité dans les retours donnent notre variable des Possibilités d'Action. Lorsqu'il y a peu de variabilité, cela correspond à peu de retours possibles, il n'y a alors qu'une faible compétition entre les quelques possibilités qui se crée chez l'observateur. À l'inverse, lorsqu'une forte variabilité est présente, beaucoup de retours distincts sont possibles et une forte compétition se crée chez l'observateur. Finalement, parmi les 240 vidéos, seulement 60 ont été sélectionnées comme stimuli pour l'expérience, soit deux vidéos par type de service et par serveur (i.e. 2 niveaux de Possibilités d'Action x 3 types de services x 5 serveurs x 2 exemplaires).

Chacune des vidéos a été présentée trois fois au participant dans un ordre aléatoire. Pour chacune de ces présentations, le moment où la vidéo se terminait était différent : soit la vidéo s'arrêtait au temps de contact raquette/volant, soit 67ms (i.e. 2 frames) avant le contact, soit 67ms après le contact. Cette manipulation expérimentale permettait de présenter au participant différents types d'information : soit seul le mouvement de l'adversaire, soit le mouvement et le début de la trajectoire du volant. Au final, chaque participant était exposé à 180 stimuli: 2 Possibilités d'Action (peu/beaucoup) x 3 Temps d'Occlusion (67ms avant, 67ms après ou au moment exact du contact raquette/volant) x 3 types de services pour chaque Possibilités d'Action x 10 vidéos par service.

Matériel

L'ensemble des vidéos a été présenté au sein du système de réalité virtuelle composé d'un casque HTC VIVE pro, permettant de présenter les vidéos dans un environnement immersif grâce à ses stations de base (capteurs), ainsi qu'une manette pour pouvoir pointer dans cet environnement.

Procédure

A leur arrivée, les participants étaient invités à s'asseoir pour relire ensemble la lettre d'informations envoyée par mail au moins 2 jours avant. Ensuite, ils devaient répondre à quelques questions concernant leur activité de badiste (sur leur classement, âge...) et passer un test de latéralité manuelle d'Edinburgh (Annexe II). Puis, il leur a été expliqué le but de l'étude, de l'expérience, comment répondre, ce qui est mesuré, ce qu'ils allaient devoir faire et aussi des détails pour qu'ils ne soient pas désorientés en rentrant dans l'univers immersif de la réalité virtuelle. Ensuite, les participants étaient debout avec leur casque afin d'observer les vidéos (Figure 5.a). L'expérience a alors débuté dans un environnement calme. Quelques essais de familiarisation (15) ont été proposés aux participants afin qu'ils puissent s'habituer à la tâche. Les vidéos utilisées pour les essais de familiarisation n'étaient pas des vidéos choisies pour les essais expérimentaux et elles n'étaient pas prises en compte dans les résultats. Pour chaque essai, les participants avaient comme consignes de déterminer le point d'atterrissage du volant de la frappe présentée. Pour répondre, ils devaient pointer sur le terrain de simple (i.e. sans les couloirs sur les côtés, Figure 5.b) qui apparaissait devant eux. Il était précisé qu'ils devaient trouver par eux-mêmes l'équilibre entre être précis et rapide dans leurs réponses sans leur donner d'exemple concret. Il y avait deux pauses au premier et deuxième tiers (i.e. 60ème et 120ème vidéo sur les 180) qui duraient autant de temps que le participant le souhaitait. L'expérience se réalisait debout pour que ce soit plus immersif mais si le participant évoquait des douleurs ou vertiges, il était autorisé à s'asseoir pour continuer l'expérience (1 participant). Les participants tenaient la manette de la main droite ou à deux mains comme ils voulaient mais ne pouvaient pas changer en cours d'expérience pour qu'il n'y ait pas de biais du type de préhension de la manette qui pourrait changer la stratégie de réponse du participant. L'expérience durait entre 20 et 25 min selon la rapidité des réponses du participant, sans prendre en compte les consignes et le débriefing.

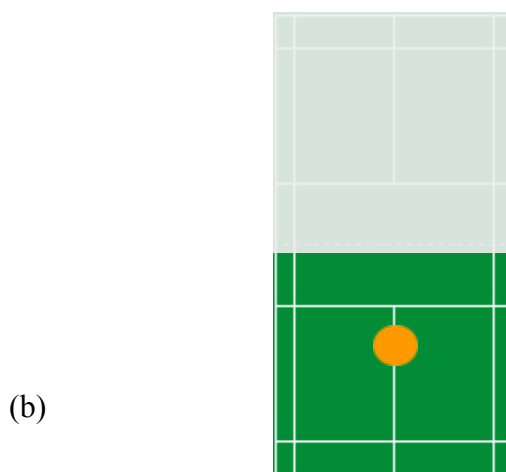
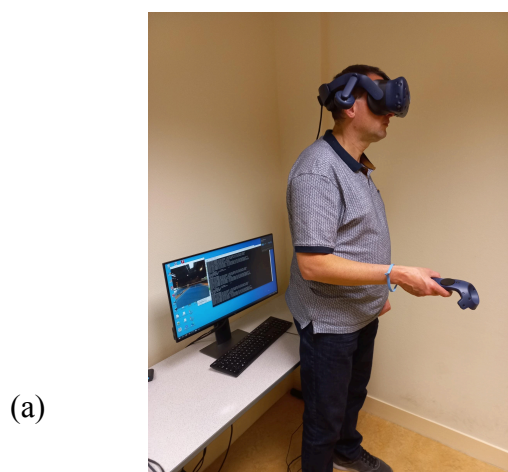


Figure 5: **(a)** Photo d'un participant novice visionnant une vidéo et s'apprêtant à pointer pour répondre durant l'expérience. L'ordinateur derrière retransmet en direct ce qu'il regarde. **(b)** Représentation de l'image de terrain de Badminton apparaissant dans le casque après chaque vidéo pour permettre aux participants de répondre. La partie grisée est le demi-terrain de l'adversaire et le rond orange représente l'emplacement de la caméra sur le terrain.

Statistiques

Mesures

Dans cette étude, le Temps de Réponse et les coordonnées de la réponse du participant ont été enregistrés à chaque essai. Le Temps de Réponse correspondait au délai entre la fin de la vidéo et la réponse validée du participant. Les coordonnées étaient exprimées en centimètre sur X et Y (largeur/longueur) en considérant l'origine du repère dans le coin supérieur gauche du terrain.

Plusieurs critères ont été choisis pour sélectionner les données, aucun problème ne devait survenir pendant la manipulation (lag de la vidéo, déconcentration du participant). Aussi, leur Temps de Réponse devait se situer entre 0.5s et 5s, cet intervalle de temps a été déterminé par une loi normale et permettait aux participants d'effectuer correctement la tâche. De plus, des critères sur la position des réponses ont été nécessaires. En largeur, nous acceptons les réponses entre 0 et 610 cm (la largeur d'un terrain de double). En longueur, aucune donnée n'est sortie de la zone de réponse donc il n'est pas nécessaire d'ajouter une limite.

Une fois les coordonnées des réponses obtenues, nous avons calculé l'Erreur de Précision par la distance euclidienne entre les coordonnées réelles et celles répondues par le participant. Le calcul a été effectué via la formule suivante:

$$\sqrt{(X_{réel} - X_{réponse})^2 + (Y_{réel} - Y_{réponse})^2}$$

$X_{réel}$ et $Y_{réel}$ sont les coordonnées de position du point d'atterrissage du volant mesurées au cours de l'acquisition des stimuli. $X_{réponse}$ et $Y_{réponse}$ sont les coordonnées des réponses des participants au cours de l'expérience.

Sur les 8460 données enregistrées (de Temps de Réponse et coordonnées), quelques données ont été supprimées selon les critères précédemment mentionnés pour finalement obtenir 8134 données de Temps de Réponse et de coordonnées valides. Enfin, un participant appartenant au Groupe novice a dû être exclu des données car ce dernier répondait trop lentement par rapport aux critères pour une majorité des stimuli.

Analyses des données

Dans un premier temps, la moyenne des Temps de Réponse et de l'Erreur de Précision par participant et selon le Temps d'Occlusion et les Possibilités d'Action des vidéos a été effectuée. Ensuite, avec ces moyennes obtenues, la prochaine étape a été de réaliser une ANOVA mixte sur le logiciel JAMOVI avec comme variables indépendantes (VI) le Temps d'Occlusion et les Possibilités d'Action et comme facteur de groupe, le Groupe des participants.

Cette ANOVA mixte a permis de tester les effets principaux et d'interactions. Lorsque nécessaire, des tests post-hoc ont été effectués pour décomposer les résultats significatifs avec une correction de Tukey. Seuls les résultats significatifs ($p < 0.05$) sont reportés dans la partie résultat.

Résultats

L'effet principal du Temps d'Occlusion s'est révélé significatif pour le Temps de Réponse ($F(2,86) = 40.48, p < 0.001$, Table 1, Figure 6.a) et pour l'Erreur de Précision ($F(2,86) = 120.91, p < 0.001$, Table 2, Figure 6.c). Les tests post-hoc (Annexe III) révèlent que le Temps de Réponse des participants était plus court en condition +67ms qu'en condition 0ms ($t(2,43) = -5.21, p < 0.001$) et qu'en condition -67ms ($t(2,43) = -7.18, p < 0.001$). Le Temps de Réponse a aussi été significativement plus court dans la condition 0ms par rapport à la condition -67ms ($t(2,43) = -5.46, p < 0.001$). Les tests post-hoc (Annexe IV) ont montré que les participants ont été significativement plus précis au Temps d'Occlusion +67ms par rapport à la condition 0ms ($t(43) = -10.86, p < 0.001$) mais aussi comparé à la condition -67ms ($t(43) = -12.39, p < 0.001$), ils ont aussi été significativement plus précis à la condition 0ms par rapport à la condition -67ms ($t(43) = -6.47, p < 0.001$).

L'ANOVA révèle également un effet principal des Possibilités d'Action sur le Temps de Réponse ($F(1,43) = 5.55, p = 0.023$, Figure 6.b) qui a été plus court lorsqu'il y avait peu de Possibilités d'Action par rapport à la condition beaucoup de Possibilités d'Action. Aussi, l'effet principal des Possibilités d'Action a été significatif sur l'Erreur de Précision ($F(1,43) = 174.59, p < 0.001$, Figure 6.d) avec plus de précision des participants lorsqu'il y avait peu de Possibilités d'Action.

L'effet de Groupe a été significatif uniquement pour l'Erreur de Précision ($F(2,43) = 11.3, p < 0.001$, Figure 6.e). Des tests post-hoc ont été effectués pour comparer les groupes deux à deux (Annexe V). Ils ont montré que les experts ont été significativement plus précis que le

Groupe contrôle ($t(43) = -4.76, p < 0.001$), le Groupe novice a aussi été significativement plus précis que le Groupe contrôle ($t(43) = -2.92, p = 0.015$).

L'effet d'interaction du Temps d'Occlusion x Possibilités d'Action a été significatif pour l'Erreur de Précision ($F(2,86) = 44.17, p < 0.001$, Figure 6.f). Des tests post-hoc (Annexe VI) ont été effectués et confirment que les participants ont été significativement plus précis dans la condition à -67ms et peu de Possibilités d'Action que dans la condition à -67ms et beaucoup de Possibilités d'Action ($t(43) = -11.45, p < 0.001$). Aussi, ils ont été significativement plus précis dans la condition 0ms avec peu de Possibilités d'Action comparativement à la condition 0ms avec beaucoup de Possibilités d'Action ($t(43) = -11.84, p < 0.001$). De plus, ils ont été significativement plus précis dans la condition peu de possibilités à +67ms que dans la condition beaucoup de possibilités à +67ms ($t(43) = -5.58, p < 0.001$).

Dernièrement, l'interaction Temps d'Occlusion x Groupe a été significative pour l'Erreur de Précision ($F(4,86) = 3.63, p = 0.009$, Figure 6.g). Les tests post-hoc (Annexe VII) ont permis de confirmer que les experts ont été plus précis que le Groupe contrôle à 0 ms ($t(43) = -4.36, p = 0.002$) et aussi dans la condition +67ms ($t(43) = -4.99, p < 0.001$) mais ils n'ont jamais été significativement plus précis que le Groupe novice, peu importe le Temps d'Occlusion.

	Somme des carrés	ddl	Carrés moyens	F	p
Temps d'occlusion	2.4661	2	1.23305	40.478	<.001
Temps d'occlusion * Groupe	0.1054	4	0.02636	0.865	0.488
Résidu	2.6197	86	0.03046		
Possibilités d'Action	0.1862	1	0.18619	5.554	0.023
Possibilités d'Action * Groupe	0.0770	2	0.03852	1.149	0.327
Résidu	1.4415	43	0.03352		
Temps d'occlusion * Possibilités d'Action	0.0167	2	0.00833	0.650	0.524
Temps d'occlusion * Possibilités d'Action * Groupe	0.0831	4	0.02077	1.621	0.176
Résidu	1.1019	86	0.01281		
	Somme des carrés	ddl	Carrés moyens	F	p
Groupe	1.84	2	0.918	0.479	0.623
Résidu	82.36	43	1.915		

Table 1: Résultats de l'ANOVA mixte sur JAMOVI du Temps de Réponse moyen des participants selon les variables indépendantes du Temps d'Occlusion, des Possibilités d'Action et du Groupe.

Effets intra-sujets					
	Somme des carrés	ddl	Carrés moyens	F	p
Temps d'occlusion	151682	2	75841.2	120.910	<.001
Temps d'occlusion * Groupe	9109	4	2277.2	3.630	0.009
Résidu	53944	86	627.3		
Possibilités d'Action	233487	1	233486.9	174.586	<.001
Possibilités d'Action * Groupe	894	2	447.2	0.334	0.718
Résidu	57507	43	1337.4		
Temps d'occlusion * Possibilités d'Action	46437	2	23218.7	44.172	<.001
Temps d'occlusion * Possibilités d'Action * Groupe	397	4	99.1	0.189	0.944
Résidu	45205	86	525.6		
	Somme des carrés	ddl	Carrés moyens	F	p
Groupe	58965	2	29482	11.3	<.001
Résidu	111874	43	2602		

Table 2: Résultats de l'ANOVA mixte sur JAMOVI de l'Erreur de Précision moyenne des participants selon les variables indépendantes du Temps d'Occlusion, des Possibilités d'Action et du Groupe.

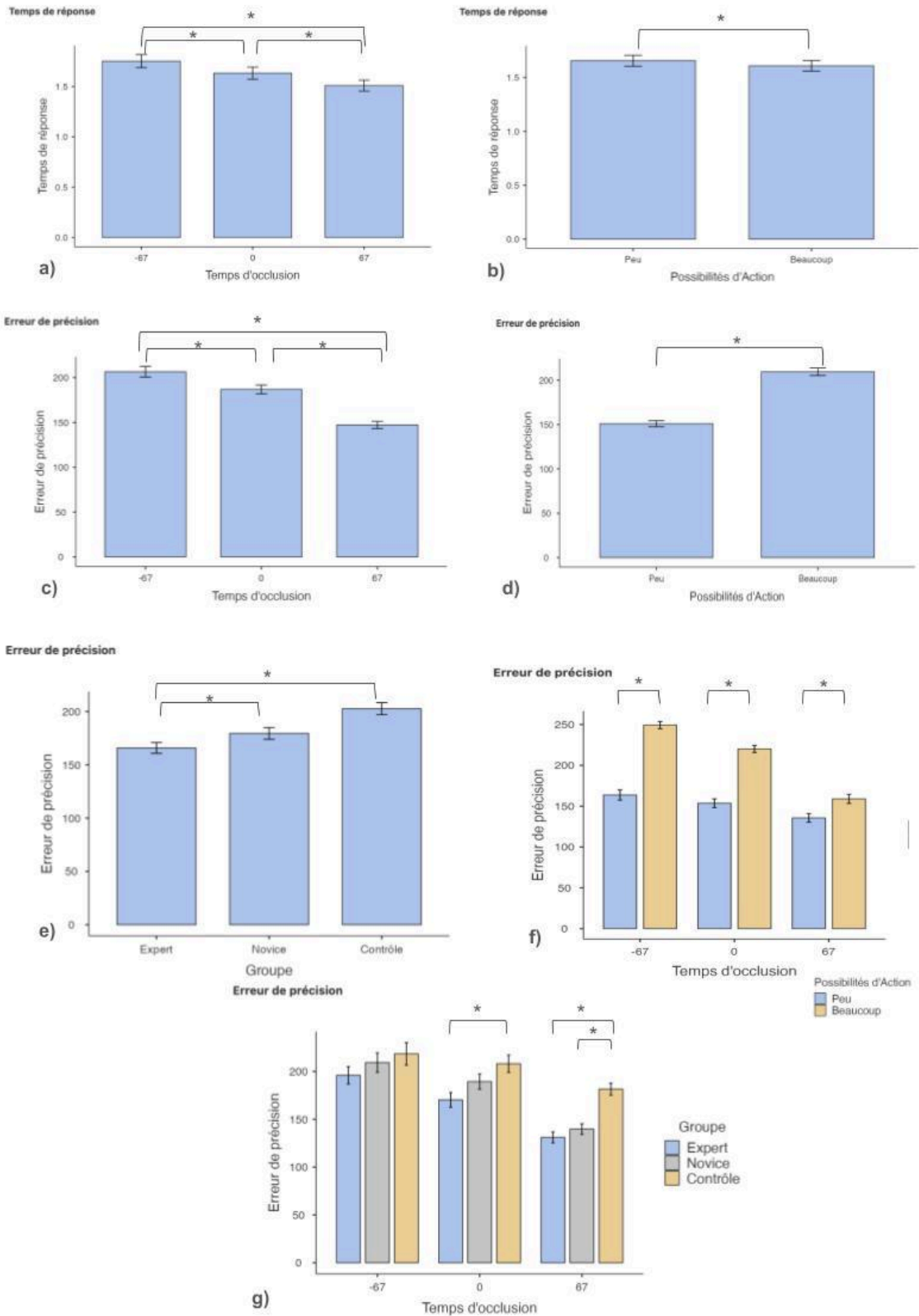


Figure 6: **(a)** Évolution du Temps de Réponse (s) en fonction du Temps d'occlusion des vidéos (-67ms/0ms/+67ms). **(b)** Évolution du Temps de Réponse (s) en fonction des Possibilités d'Action (Peu/Beaucoup). **(c)** Évolution de l'Erreur de Précision (cm) en fonction du Temps d'Occlusion des vidéos (-67ms/0ms/+67ms). **(d)** Évolution de l'Erreur de Précision (cm) en fonction des Possibilités d'Action (Peu/Beaucoup). **(e)** Évolution de l'Erreur de Précision (cm) en fonction du Groupe des participants (Contrôle/Novice/Expert). **(f)** Évolution de l'Erreur de Précision (cm) en fonction de l'interaction entre le Temps d'Occlusion (-67ms/0ms/+67ms) et les Possibilités d'Action (Peu/Beaucoup). **(g)** Évolution de l'Erreur de Précision (cm) en fonction de l'interaction entre le Temps d'Occlusion (-67ms/0ms/+67ms) et le Groupe (Expert/Novice/Contrôle). Les astérisques (“*”) montrent les différences significatives entre deux conditions. Les barres d'erreurs représentent l'écart-type.

Discussion de l'étude 1

Cette première étude nous a permis d'obtenir des résultats en adéquation avec nos hypothèses. En effet, les effets principaux du Temps d'Occlusion et des Possibilités d'Action sont significatifs pour le Temps de Réponse et l'Erreur de Précision. De plus, L'interaction Temps d'Occlusion x Possibilités d'Action est significative pour l'Erreur de Précision. Cela signifie que ces deux variables sont importantes et liées sur la quantité de Possibilités d'Action juste avant le début de l'action. Alors, il est important de les prendre en compte ensemble dans les prochaines études sur l'anticipation.

Qui plus est, cette première étude nous a permis de tester l'impact de la taille du répertoire moteur dans la résonance motrice afin d'anticiper un adversaire. En effet, nous nous attendions à ce que notre Groupe expert soit significativement plus rapide et précis que les deux autres groupes. Les résultats sont moins clairs qu'attendus. Bien que les experts aient une tendance à être plus précis que le Groupe novice, il n'y a aucune significativité, néanmoins, ils sont significativement plus précis que le Groupe contrôle. De plus, les experts ne sont pas significativement plus rapides que les deux autres groupes. Une explication plausible serait un écart de niveau insuffisant entre le Groupe expert et novice car les novices ont déjà acquis un assez grand répertoire moteur en 2 ans de pratique, en moyenne, ce qui leur permet d'anticiper presque aussi précisément que le Groupe expert. Une autre explication pourrait être les limites matérielles qui n'ont pas permis aux experts d'être

totale­ment immergés dans l'expérimentation. Ainsi ils n'auraient pas pu effectuer proprement la résonance motrice pour anticiper précisément.

Le dernier effet significatif, l'interaction Temps d'Occlusion x Groupe, est aussi important car il permet de valider l'hypothèse précédente sur les limites. En effet, le Groupe expert n'a été que significativement plus précis par rapport au Groupe contrôle lorsque beaucoup d'informations étaient disponibles et surtout lorsque le début de la trajectoire du volant est visible. C'est étrange car, grâce à l'activation de leur AON couplé à leur répertoire moteur, les experts devraient être capables d'utiliser les premières informations pour éliminer précocement des possibilités en utilisant la résonance motrice. Mais ça n'a pas été le cas, l'utilisation de leur AON a été possiblement limitée par une faible correspondance entre leur profil et celui de l'acteur observé, menant à une difficulté d'utiliser l'AON. La faible correspondance peut être due à des tactiques distinctes ou une qualité technique différente notamment.

Ainsi, des éléments importants n'ont pas été pris en compte dans cette première étude, ces éléments composent le profil d'un joueur de Badminton, ce qui expliquerait pourquoi un participant a mieux anticipé un acteur par rapport à un autre. La raison est qu'il est plus facile de comparer son répertoire moteur avec un répertoire moteur similaire (Loula et al. 2005). L'objectif de l'Étude 2 est d'observer l'importance de la correspondance entre le profil de l'observateur et l'acteur pour la rapidité et la précision de l'anticipation grâce à une meilleure résonance motrice.

Étude 2

Matériels et Méthodes

Population

Trente-neuf experts ont été recrutés dans les clubs de la région Hauts-De-France. Contrairement à l'Étude 1, l'échantillon n'est pas constitué uniquement d'hommes droitiers mais de 22 hommes droitiers (56 % de l'échantillon), 12 femmes droitères (31 %) et 5 hommes gauchers (13 %) afin d'obtenir de la variété dans les Profils du Joueur des participants. L'âge moyen des participants était de 23.1 ans (SD = 5.9 ans). Dans notre échantillon, nous avons obtenu 18 participants avec un classement maximal N3 (environ les 1000 meilleurs français d'un tableau), 10 joueurs classés au maximum N2 (environ 300 meilleurs) et 11 joueurs classés au maximum N1 (environ 100 meilleurs). Les critères pour

être considéré expert sont plus ardues que la première étude pour correspondre à l'étude de Gladwell (2008) qui donne environ 10 000 heures de pratique afin d'être considéré expert d'un domaine. En moyenne, les participants ont effectué 12.0 années d'entraînement (SD = 5.3 ans). Cela correspondrait alors à 16.0 heures par semaine en moyenne ($10\,000 \div 12 \div 52 = 16.0$), ce qui paraît correspondre pour des sportifs compétitifs depuis des années. Un deuxième critère des participants était l'âge minimum qui était de 16 ans pour que les 10 000 heures soient atteignables mais aussi pour la compréhension des questionnaires qui étaient difficiles en dessous de cet âge.

Protocole

Stimuli

Deux cents cinquante-six vidéos, constituées d'un service et d'un retour de service, ont été acquises selon la même méthodologie que pour l'Étude 1. Nous avons cependant utilisé simultanément deux caméras Insta 360 RS séparées de 6,5cm. Ce montage à deux caméras nous a permis de reproduire la vision stéréoscopique dans le casque de réalité virtuelle, afin d'augmenter l'immersion des participants.

Huit badistes issus de plusieurs clubs de la région (Roubaix, Hem, LUC, Gravelines, La Bassée, Liancourt), et d'un niveau moyen N2 (5 joueurs N3, 3 joueurs N1) ont participé à la création des vidéos. Ils ont été sélectionnés de façon à obtenir des Profils du Joueur très différents et des niveaux distincts. Sur le même principe que l'Étude 1, huit services différents ont été proposés, variant en longueur, hauteur et orientation.

Les règles pour créer les vidéos ont été les mêmes à l'exception des receveurs qui pouvaient réaliser des feintes et fixations (i.e. petite feinte où la frappe est retardée intentionnellement afin de forcer l'adversaire à choisir une mauvaise direction) pour qu'ils puissent exprimer un jeu correspondant à leur Profil du Joueur. Après chaque vidéo, le point d'atterrissage du volant était mesuré pour avoir les coordonnées réelles en largeur (X) et en longueur (Y). Chaque receveur devait réaliser trente-deux vidéos (quatre pour chaque service).

Parmi ces 256 vidéos, 96 ont été sélectionnées comme stimuli pour l'expérience, soit deux vidéos par type de service et par serveur (i.e. $2 \times 6 \times 8$). La même méthode que l'étude précédente a été utilisée pour calculer la variabilité des retours (cf. Étude 1). Nous avons choisi les trois services avec le plus de variabilité (court centre, court extérieur et lob extérieur) et les trois services avec le moins de variabilité (flick centre, flick extérieur, lob extérieur trop bas et trop court). Les services ne sont pas exactement les mêmes que l'Étude 1

et cela peut s'expliquer par deux raisons: les Profils du Joueur variés des receveurs (Tactique, Technique,...) mais aussi par l'autorisation de feintes.

De manière comparable à l'Étude 1, 96 vidéos ont été sélectionnées (i.e. 8 acteurs x 2 Possibilités d'Action x 3 types de service par possibilité x 2 vidéos par type) et seront présentés selon 2 temps d'occlusions différents (-67ms, +67ms)

Matériel

Le matériel utilisé pour passer l'expérience est le même que l'Étude 1. Néanmoins, le matériel de l'expérience étant transportable, celle-ci a pu être réalisée sur trois compétitions certains week-ends, soit à Marchiennes, Arras et Béthune. L'organisation de chaque compétition a pu donner un espace afin de réaliser l'expérience dans de bonnes conditions, normalisées, pour pouvoir ajouter les résultats obtenus en compétition avec ceux obtenus dans la salle de laboratoire. (Figure 7.a ; 7.b).

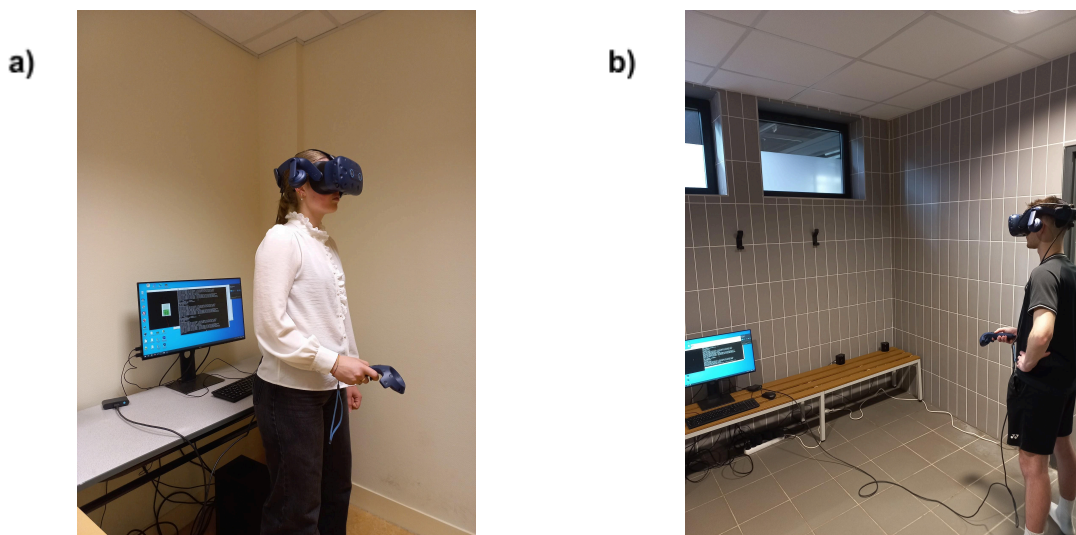


Figure 7: **(a)** Photo d'une participante réalisant l'expérience dans la salle de laboratoire. **(b)** Photo d'un participant réalisant l'expérience dans un vestiaire de la salle de Badminton de Béthune.

En complément, des questionnaires et tests ont été créés et utilisés afin d'évaluer le Profil du Joueur de chaque participant. Ainsi, après quelques versions, des questionnaires tactiques et techniques en version papier ont été élaborés pour différencier les participants (Annexe VIII). Le questionnaire tactique est composé de 3 axes (rapport de force, vitesse des frappes et le déplacement de son adversaire et soi-même) comportant 3 questions chacun. Une échelle de Likert était proposée pour répondre à chaque item en donnant ainsi un score à chaque

question qui s'additionne selon chaque axe. Le questionnaire technique demandait la réussite de 20 frappes techniques qui ont 3 difficultés différentes. Des tranches de pourcentage étaient proposées aux participants et ils devaient placer chaque frappe selon leur maîtrise. Le score final était calculé sur 100 sachant que les frappes difficiles donnaient plus de points. De plus, des tests physiques ont été imaginés pour faire ressortir les qualités physiques principales nécessaires du badiste. Ces tests devaient prendre relativement peu de place et ne devaient pas fatiguer excessivement le participant. Le premier test mesure la force et coordination du haut du corps, il consiste en un lancer de volant uniquement avec le bras et l'épaule (sans raquette), le dos étant collé contre un mur. Ils avaient 3 essais pour lancer le volant le plus loin possible (Figure 8.a). La moyenne pour les hommes a été de 6.38 mètres (SD = 0.70 m) et la moyenne de lancer des femmes a été de 5.31 mètres (SD = 0.54m). Le deuxième test physique, pour mesurer la vitesse du bas du corps, consiste en un test de déplacement le plus rapide possible (Figure 8.b). Le but est de réaliser 10 aller-retours entre deux plots espacés de cinq mètres en déplacement de Badminton (i.e. pas chassés ou croisés). Le score moyen des hommes est de 35.02s (SD = 2.05s) et celui des femmes est de 37.82s (SD = 2.54s). La Vitesse Maximale Aérobie (VMA) est aussi très importante pour le Badminton mais est malheureusement trop compliquée à tester en termes de fatigue, d'espace et de temps. Ainsi, les deux questionnaires Tactique et Technique mais aussi les deux tests physiques permettent de créer les trois composantes constituant le Profil du Joueur des participants.

a)



b)

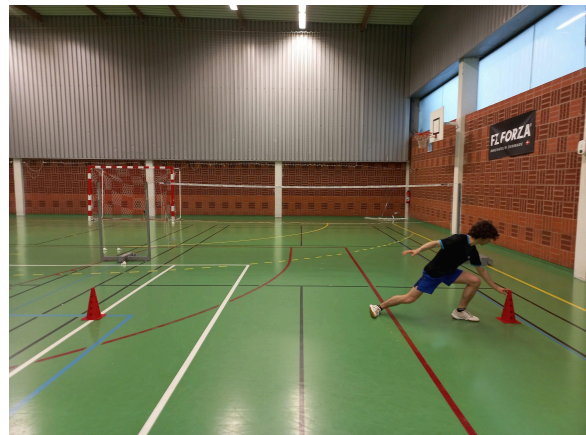


Figure 8: (a) Photo d'un participant réalisant le test physique de lancer. (b) Photo d'un participant réalisant le test physique de déplacement.

Procédure

La procédure était strictement similaire à l'Étude 1, excepté que les questionnaires et tests physiques afin de déterminer le Profil du Joueur ont été administrés après la présentation du principe de l'étude. L'expérience durait en totalité 45min maximum en prenant en compte les questionnaires et tests physiques, les consignes, la manipulation et le débriefing.

Statistiques

Mesures

Ici encore, les coordonnées du point d'atterrissage estimé du volant et le Temps de Réponse ont été enregistrés à chaque essai. Les coordonnées nous ont permis d'effectuer le même calcul grâce à Rstudio afin de calculer l'Erreur de Précision. Les critères de sélection des données étaient également identiques à l'Étude 1, mais l'ajout des feintes possibles dans les retours a modifié le Temps de Réponse accepté des participants. Ainsi, après avoir effectué une loi normale, nous avons déterminé que le Temps de Réponse des participants était accepté entre 0.4s et 4s. Pour la précision, aucune coordonnée des réponses n'a été en dehors des limites donc il n'est pas nécessaire de juger une zone supplémentaire pour accepter les réponses.

Après un traitement des données, 7341 données de précision et de Temps de Réponse ont été obtenues sur les 7644 enregistrées.

Analyses des données

L'analyse de données a été réalisée via Rstudio et reprend les étapes de l'Étude 1. Cependant, en amont, nous avons évalué la similarité entre les Profil du Joueur du participant et de l'acteur sur la base des résultats obtenus aux questionnaires et tests. La distance euclidienne entre chaque composante du Profil de Joueur (Tactique, Technique et Physique de l'observateur vs l'acteur) a été calculée. Sur cette base, nous avons ensuite réalisé un médiane split pour séparer les essais pour lesquels la Correspondance de profils du Joueur est importante (Correspondance "Proche") et les essais pour lesquels la Correspondance est faible (Correspondance "Loin").

Enfin, l'évolution du Temps de Réponse et de l'Erreur de Précision en fonction des différentes variables indépendantes (Temps d'Occlusion, Possibilités d'Action et Correspondance de Profil du Joueur) ont été évalués au moyen d'une ANOVA à mesures répétées. Des tests post-hoc ont été effectués pour les résultats significatifs avec une

correction de Tukey. Seuls les résultats significatifs ($p < 0.05$) ont été reportés dans la partie résultat.

Résultats

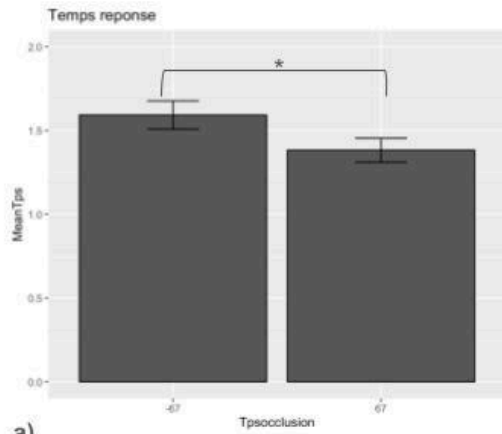
L'effet principal du Temps d'Occlusion a été significatif sur le Temps de Réponse ($F(1,37) = 57.27, p < 0.001$, Figure 9.a) avec un Temps de Réponse significativement plus court dans la condition +67ms comparé à la condition -67ms. Le Temps d'Occlusion a aussi été significatif sur l'Erreur de Précision ($F(1,37) = 195.49, p < 0.001$, Table 3, Figure 9.c) avec les participants qui ont été plus précis dans la condition +67ms que dans la condition -67ms.

<i>Predictors</i>	Dependent variable
	<i>p</i>
Tpsocclusion	<0.001
PossAction	0.140
correspondanceProfil	0.553
Tpsocclusion:PossAction	0.376
Tpsocclusion:correspondanceProfil	0.640
PossAction:correspondanceProfil	0.158
Tpsocclusion:PossAction:correspondanceProfil	0.053

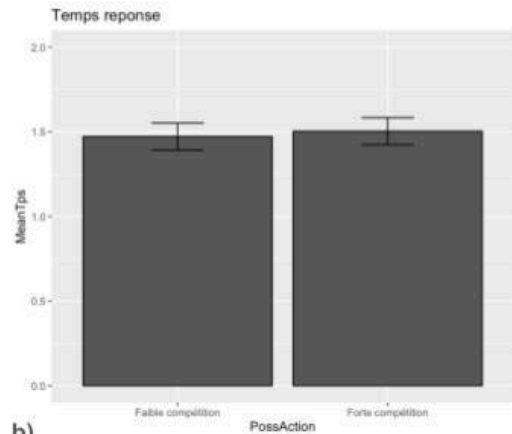
Table 3: Résultats de l'ANOVA sur Rstudio de l'Erreur de Précision moyenne des participants selon les variables indépendantes du Temps d'Occlusion, des Possibilités d'Action et de Correspondance de Profil du Joueur.

L'effet principal des Possibilités d'Action n'a pas été significatif pour le Temps de Réponse mais nous obtenons une tendance ($F(1,37) = 3.07, p = 0.088$, Figure 9.b).

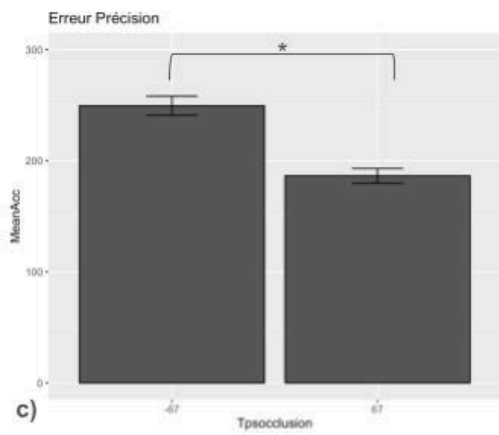
Dernièrement nous observons une forte tendance de la triple interaction Temps d'Occlusion x Possibilités d'Action x Correspondance de Profil du Joueur sur l'Erreur de Précision ($F(1,37) = 3.78, p = 0.053$, Table 3, Figure 9.d).



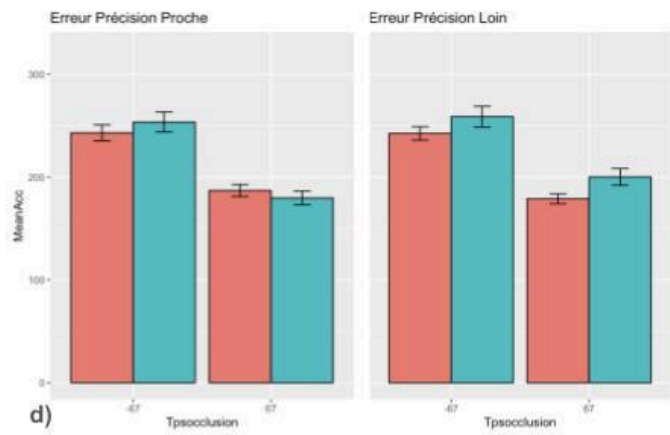
a)



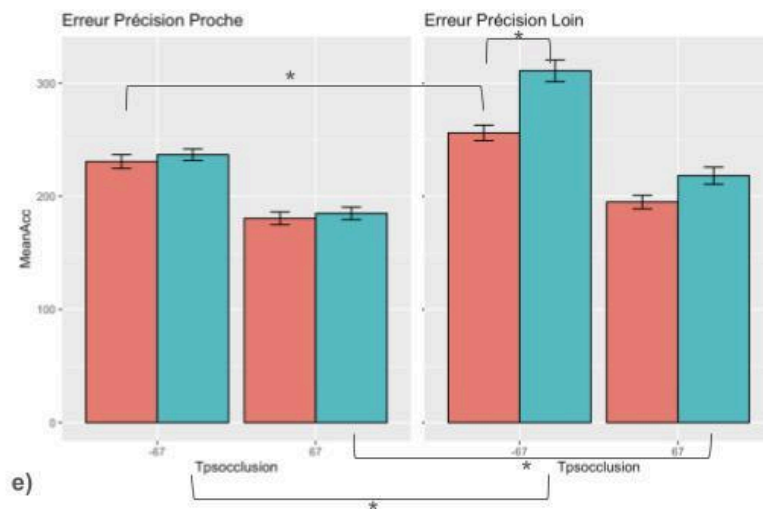
b)



c)



d)



e)

Figure 9: **(a)** Évolution du Temps de Réponse (s) selon le Temps d’Occlusion (-67/+67ms). **(b)** Évolution du Temps de Réponse (s) selon les Possibilités d’Action (Peu/Beaucoup). **(c)** Évolution de l’Erreur de Précision (cm) selon le Temps d’Occlusion (-67/+67ms). **(d)** Évolution de l’Erreur de Précision (cm) selon la triple interaction entre le Temps d’Occlusion (-67/+67ms), les Possibilités d’Action (Peu/Beaucoup) et la Correspondance de Profil du Joueur (Proche/Loin). **(e)** Évolution de l’Erreur de Précision (cm) selon la triple interaction du Temps d’Occlusion (-67/+67ms), des Possibilités d’Action (Peu/Beaucoup) et de la Correspondance de Latéralité entre observateur et acteur (Proche/Loin). Les astérisques (“*”) montrent les différences significatives entre deux conditions. Les barres d’erreurs représentent l’écart-type. La couleur rouge représente une faible compétition correspondant à la condition peu de possibilités et la couleur rouge pour la forte compétition correspondant à la condition beaucoup de possibilités.

Lors de l’expérience, d’autres informations sur les participants ont été recueillies afin de quantifier le Profil du Joueur et tester leur impact sur les scores de prédiction. De manière inattendue, la latéralité semble apparaître comme un élément important dans l’anticipation des comportements d’autrui. Nous avons donc analysé si la Correspondance de Latéralité entre les observateurs et les acteurs (i.e. Correspondance ou non entre la main dominante de l’observateur et l’acteur) affectait le Temps de Réponse et l’Erreur de Précision selon. Selon cette Correspondance de Latéralité, tous les effets principaux et d’interaction sont significatifs (Table 4).

<i>Predictors</i>	Dependent variable
	<i>p</i>
Tpsocclusion	<0.001
PossAction	0.001
correspondanceProfil	<0.001
Tpsocclusion:PossAction	0.011
Tpsocclusion:correspondanceProfil	0.001
PossAction:correspondanceProfil	<0.001
Tpsocclusion:PossAction:correspondanceProfil	0.014

Table 4: Résultats de l’ANOVA sur Rstudio de l’Erreur de Précision moyenne des participants selon les variables indépendantes du Temps d’Occlusion, des Possibilités d’Action et de Correspondance de Latéralité des participants.

En plus des effets décrits plus haut, nous observons une interaction Temps d’Occlusion x Possibilités d’Action x Correspondance de Latéralité sur l’Erreur de Précision ($F(1,38) =$

6.71, $p = 0.01$, Figure 9.e). Les tests post-hoc (Annexe IX) ont démontré que les participants de Correspondance “Proche” ont été significativement plus précis en condition +67ms par rapport à la condition -67ms, dans la condition peu ($t(38) = 9.47, p < 0.001$) et beaucoup de possibilités ($t(38) = 9.79, p < 0.001$). C’est aussi le cas des participants de Correspondance “Loin” en condition peu ($t(38) = 9.57, p < 0.001$) et beaucoup de possibilités ($t(38) = 10.38, p < 0.001$). De plus, les participants de Correspondance “Loin” ont été significativement plus précis en condition peu de possibilités par rapport à la condition beaucoup de possibilités, avec un Temps d’Occlusion de -67ms uniquement ($t(38) = 5.05, p < 0.001$). Dernièrement, les participants de Correspondance “Proche” ont été significativement plus précis que les participants de Correspondance “Loin” dans les conditions -67ms avec peu ($t(38) = 3.56, p = 0.021$) et beaucoup de possibilités ($t(38) = 7.14, p < 0.001$) et aussi en condition +67 avec beaucoup de possibilités ($t(38) = 4.38, p = 0.002$).

Discussion de l’étude 2

Cette deuxième étude nous a permis de tester et confirmer l’impact de la VI du Temps d’Occlusion, que ce soit sur le Temps de Réponse ou sur l’Erreur de Précision. Comme nous l’attendions, un Temps d’Occlusion plus tardif, donnant plus d’informations, permet un Temps de Réponse et une Erreur de Précision plus faibles, de manière similaire à l’Étude 1.

De plus, bien que le résultat soit moins clair, l’effet des Possibilités d’Action a une tendance pour le Temps de Réponse. Comme prévu, cet effet principal avantage la tâche d’anticipation dans des situations lorsque peu de Possibilités d’Action sont réalisables par l’acteur comparativement à des situations avec beaucoup de Possibilités d’Action.

Aussi, la triple interaction, qui est l’effet nous intéressant le plus, n’est pas significative pour le Temps de Réponse mais tendanciel pour l’Erreur de Précision. Nous y reviendrons plus longuement dans la discussion générale, néanmoins cela apparaît dans le sens de notre hypothèse de l’importance de nos trois VI et surtout la Correspondance de Profil du Joueur.

De manière plus intéressante, nous observons dans cette étude, des patterns différents d’Erreur de Précision selon la Correspondance de Latéralité. La Correspondance de Latéralité a permis d’obtenir tous les effets principaux et d’interaction pour l’Erreur de Précision (Table 4, Figure 9.e). Cette variable nous indique que plus la Correspondance de Latéralité est élevée et plus le désavantage des situations avec beaucoup de possibilités se réduit lorsque le participant observe un individu correspondant à son Profil du Joueur, particulièrement dans des situations d’un Temps d’Occlusion à +67ms.

Ainsi, cette étude permet de confirmer les résultats obtenus dans l'Étude 1 mais également de démontrer une importance certaine de la Correspondance de Profil du Joueur et de la Latéralité entre l'observateur et l'acteur dans l'anticipation.

Discussion et conclusion générale

Discussion

Les présentes études avaient pour but de comprendre dans quelle mesure la résonance motrice permet d'anticiper rapidement et précisément grâce à la taille du répertoire moteur des participants et leur correspondance avec les acteurs mais aussi selon le nombre d'informations et de possibilités dans l'action.

Pour cela, les deux études ont eu besoin de stimuli vidéos qui ont été choisis selon la variabilité des retours de service, c'est-à-dire que certains retours d'un même type de service atterrissaient dans une zone très proche, alors peu de variabilité était observée dans ce cas. Les participants étaient placés dans des situations immersives en réalité virtuelle d'un serveur se préparant à prédire les comportements adverses.

Les résultats de l'Étude 1 ont montré une influence du nombre d'informations à disposition dans l'environnement, de la variété des réponses de l'acteur et de l'expertise des participants sur la rapidité et l'exactitude de leurs réponses. Les résultats de l'Étude 2 ont montré une importance de la quantité d'informations donnée au participant mais aussi de la ressemblance entre l'observateur et l'acteur pour le temps nécessaire pour répondre et la précision.

Dans les parties suivantes, nous allons discuter, en premier lieu, de l'effet de l'expertise sur l'anticipation. Ensuite, nous discuterons de l'effet du nombre d'informations disponibles aux joueurs pour permettre l'anticipation. Puis nous discuterons de l'importance de l'effet de la variabilité des retours de services sur l'anticipation. Enfin, nous discuterons de l'effet de la similarité entre l'observateur et l'acteur pour anticiper.

Les précédentes recherches sur l'anticipation dans le sport ont mis en évidence plusieurs points importants pour ces deux études. Tout d'abord, il a été montré que les experts sont meilleurs que les novices pour anticiper, notamment au niveau neurophysiologique grâce à des changements cérébraux, comme P3 qui serait plus large chez les experts et serait lié à la mémoire de reconnaissance (Jin et al. 2011, Liu et al. 2017). En effet, dans notre Étude 1, les performances de précision augmentaient grâce à l'expertise des participants. Effectivement, notre variable de Groupe a été significative sur l'Erreur de Précision. Les participants experts

ont pu donner des réponses plus précises que les participants non-badistes lors des mêmes stimuli. Cela rejoint nos attentes car correspond à la littérature (Jin et al., 2011 ; Müller et Abernethy, 2012 ; Alder et al., 2014). Avoir un plus grand répertoire moteur permet à l'individu de se reconnaître dans d'avantages de situations adverses grâce à l'activation de l'AON qui compare ce qui est perçu au répertoire moteur. Cela implique que les experts sont plus efficaces que des débutants d'un domaine pour chercher des informations cinématiques primordiales sur les mouvements de l'adversaire. C'est en lien avec l'étude d'Alder et al. (2014) qui a observé le regard des experts et novices grâce à un système d' Eye Tracking, les experts ont fixé moins de sources d'informations mais pendant plus longtemps, ce qui permet d'obtenir plus d'informations dès le début du mouvement de l'adversaire.

Les précédentes recherches sur l'anticipation dans le sport ont aussi montré une différence au niveau comportemental des experts, par une meilleure utilisation des informations à disposition dans l'environnement (Müller et Abernethy, 2012 ; Hyun Park et al., 2019 ; Runswick et al., 2019). En effet, nous avons observé au cours des deux études que lorsque nous présentons une diversité d'informations à l'observateur ainsi qu'une exposition plus longue à l'information de la vidéo, les performances de prédiction augmentent. Effectivement, la variable Temps d'Occlusion influence systématiquement le Temps de Réponse et l'Erreur de Précision dans les deux études menées. Les participants ont pu donner des réponses plus précises dans un temps plus court lorsque beaucoup d'informations étaient données. Cela rejoint ce que nous attendions car cela correspond à la littérature, (Hick, 1952; Müller et Abernethy, 2012; Alder et al., 2014 ; Aglioti et al., 2008). Donner plus d'informations, par un Temps d'Occlusion tardif, permet d'éliminer plus de Possibilités d'Action avant le début de l'action. Ainsi il en restera relativement peu ou alors se situant dans une même zone, ce qui permet de déjà prendre une option ou de la confirmer très vite après le début de l'action. Ainsi la tâche est plus facile, ce qui permet un Temps de Réponse plus court et une Erreur de Précision plus faible. Cela signifie que les informations en fin de stimuli sont importantes pour prédire l'adversaire car elles appartiennent à des parties de son corps de plus en plus précises permettant de connaître plus assurément la frappe adverse (Müller et Abernethy, 2012). C'est aussi et surtout le cas des informations de trajectoire de volant (condition +67ms) qui sont hautement porteuses d'informations bien que la trajectoire soit visible pendant uniquement 2 frames. Les informations tardives sont surtout importantes pour les participants du groupe expert qui ont un répertoire moteur développé car ce sont des informations fines, très importantes pour des experts, mais quasiment indétectables pour des débutants.

La littérature a aussi mis en évidence l'importance du nombre de choix distincts de l'adversaire sur la rapidité et l'exactitude de son anticipation (Wright et al. 2011 ; Alder et al. 2014 ; Costa et al. 2023). En effet, toutes les situations sportives ne se valent pas. Certaines sont plus complexes à anticiper que d'autres. Nous avons, par exemple, mis en évidence une influence du nombre de Possibilités d'Action sur les performances de prédiction. Ces effets sont visibles dans les deux études réalisées. La variabilité des retours pour un même service complexifie la tâche d'anticipation car un plus grand nombre de choix distincts est possible à l'acteur, alors il est nécessaire de supprimer un plus grand nombre de possibilités pour apporter une meilleure précision. Pour cela, il est nécessaire d'être efficace dans la prise d'informations mais surtout, il faut davantage d'informations pour éliminer suffisamment de choix afin d'avoir la même précision entre des situations stéréotypées et variables (Alder et al., 2014). Cela rejoint les résultats obtenus lors de l'Étude 1. Cependant, certains sportifs ont des possibilités de comportements plus grandes du fait de leur expertise. Ils devraient donc avoir des performances moins bonnes à ces situations sur lesquelles le comportement à prédire est plus variable (Hick, 1952). Si ce n'est pas le cas, c'est deux choses : soit ils n'utilisent pas leur AON et leur répertoire pour prédire, soit ils utilisent des informations déjà disponibles pour réduire les comportements à prédire.

Cependant, la littérature montre que, même parmi des participants experts, des différences subsistent du fait de répertoires moteurs différents (Runswick et al., 2019 ; Loula et al., 2005). En effet, lorsqu'un observateur expert avec un répertoire moteur unique anticipe un acteur ayant un répertoire moteur très distinct de l'observateur, l'anticipation est plus complexe et imprécise. Effectivement, l'Étude 2 a obtenu une tendance de la triple interaction sur l'Erreur de Précision, mais aussi la Correspondance de Latéralité a été significative sur tous les effets principaux et d'interaction. Alors, nous pouvons imaginer une moindre activation de l'AON lors d'une faible correspondance entre le répertoire moteur de l'acteur et celui de l'observateur conduisant ainsi à une moins bonne anticipation. Le répertoire moteur se créant par la pratique, il sera ainsi très différent selon le temps de pratique (entre un non-badiste, novice ou expert) mais aussi entre deux experts ayant chacun des parcours divergents. Donc, ce répertoire moteur sera plus ou moins utile pour réaliser la résonance motrice, afin de se mettre à la place de l'acteur, pour anticiper précisément ce dernier. Pour la latéralité, cela s'expliquerait par une comparaison entre ce qui est perçu et le répertoire moteur du cortex moteur non-dominant lorsque nous observons un adversaire avec une latéralité opposée. Alors, ce cortex moteur non-entraîné n'a pas acquis une technique aussi large que le cortex moteur dominant et donc la précision d'anticipation est plus

approximative. Alors, lorsque les profils de l'observateur et l'acteur sont similaires, cela permet une aide pour la prédiction en supprimant plus facilement des choix de l'adversaire, mais ce n'est pas toujours le cas. Notamment lorsque beaucoup d'informations sont données pour peu de possibilités de retours de l'adversaire car la tâche d'anticipation devient très facile et donc un profil similaire n'apporte pas une différence majeure. Cependant, contrairement à l'Étude 2, les résultats de l'Étude 1 vont moins dans le sens de l'importance du répertoire moteur. Cela s'explique possiblement par des limites répondues dans l'Étude 2 (vue stéréoscopique, possibilité de feintes pour les acteurs) mais surtout par des profils trop similaires entre les groupes (e.g. même latéralité de tous les participants), ce qui n'a pas permis de créer des différences significatives sur la vitesse et l'exactitude de prédiction. Finalement, ces résultats signifient pour le badiste qu'avoir de l'expertise est nécessaire pour mieux anticiper, mais aussi qu'il est plus facile d'anticiper un adversaire qui lui ressemble. Donc, il est aussi intéressant de connaître les différentes tactiques et techniques notamment pour s'adapter à tous ses adversaires grâce à un répertoire moteur homogène.

Conclusion

Pour conclure, ces études ont été en accord avec la littérature, ce qui a permis de montrer l'importance du nombre d'informations et de la variabilité des retours d'une action de l'adversaire sur la vitesse et l'exactitude de la prédiction. De plus, comme nous l'attendions, elles montrent un impact de la taille du répertoire moteur, grâce à l'expertise, et de la correspondance entre le profil de l'observateur et l'acteur sur la résonance motrice permettant alors une anticipation plus exacte. La taille et la correspondance du répertoire moteur permettent de supprimer des possibilités de l'adversaire plus facilement, de façon relativement tôt, afin de connaître avec une plus grande précision, l'action future de l'adversaire.

Perspectives

Ces études, grâce à leurs résultats, ont plusieurs utilités. Premièrement, elles pourront aider à davantage comprendre les mécanismes de l'anticipation pour les futurs travaux, qu'ils soient dans un domaine sportif ou non. L'utilisation d'un nouveau mécanisme de réponse et de nouvelles variables comme la Correspondance du Profil du Joueur, peut donner de nouvelles pistes à étudier et approfondir afin de comprendre les différents éléments qui importent dans l'anticipation. Deuxièmement, ces études peuvent être utiles aux joueurs de Badminton, ou

d'autres sports d'opposition, que ce soit de bas ou très haut niveau, en apportant un objectif d'acquérir une vaste qualité tactique et technique pour homogénéiser leur profil et ainsi mieux anticiper une variété d'adversaires.

Dernièrement, un ajout de la réalité virtuelle est prometteur dans l'entraînement cognitif afin de créer des situations pour guider le joueur en le focalisant sur certaines sources d'informations de l'adversaire au détriment des autres.

Références bibliographiques

- Abernethy, B. (1993). Searching for the minimal essential information for skilled perception and action. *Psychological research*, 55, 131-138.
- Aglioti, S.M., Cesari, P., Romani, M., Urgesi, C. (2008). Action anticipation and motor resonance in elite basketball players. *Nature Neuroscience*, 11, 1109-1116.
- Alder, D.B., 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.
- Christensen, W., & Bicknell, K. (2019). Affordances and the anticipatory control of action. In M. L. Cappuccio. *Handbook of embodied cognition and sport psychology*, 22, 601–621.
- Costa, S., Berchicci, M., Bianco, V., Croce, P., Di Russo, F., Quinzi, F., Bertollo, M., Zappasodi, F. (2023). Brain dynamics of visual anticipation during spatial occlusion tasks in expert tennis players. *Psychology of Sport and Exercise*, 65, 1023-35.
- Decety, J. (2010). Mécanismes neurophysiologiques impliqués dans l'empathie et la sympathie. *Revue de Neurophysiologie*, 2, 133-144.
- Duncan, M.J., Martins, R., Noon, M., Eyre, E.L.J. (2022). Perception of Affordances for Dribbling in Soccer: Exploring Children as Architects of Skill Development Opportunity. *Sports*, 10 (7), 99.
- Fourkas, A.D., Bonavolontà, V., Avenanti, A. Aglioti, S.M. (2008). Kinesthetic imagery and tool specific modulation of corticospinal representations in expert players. *Cerebral Cortex*, 18 (10), 2382–2390.
- Gibson J.J. (1979). *The theory of affordances*. Psychology Press Classic Edition.
- Gladwell, M. (2008). *Outliers: The Story of Success*. New York: Little, Brown and Company.
- Gray, R. (2002). Behaviour of college baseball players in a virtual batting task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28(5), 1131-1148.

- Hick, W.E. (1952). *One the rate of gain of information. Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 4(1), 11–26.
- Hyun Park, S., Ryu D., Uiga, L., Masters, R., Abernethy, B., Mann, D.L. (2019). Falling for a fake: The role of kinematic and non-kinematic information in deception detection. *Perception*, 48(4), 330-337.
- 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), 139-44.
- Johansson, G. (1973). Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Perception & Psychophysics*, 14, 201-211.
- 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.
- Loula, F., Prasad, S., Harber, K., Shiffrar, M. (2005). Recognizing people from their movement. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, (1), 210-220.
- Müller, S., & Abernethy, B. (2012). Expert anticipatory skill in striking sports: a review and a model. *Research Quarterly for Exercises and Sports*, 83 (2), 175-187.
- Myszka, S., Yearby, T., Davids, K. (2023). (Re)conceptualizing movement behavior in sport as a problem-solving activity. *Frontiers in sport and active living*.
- Nickerson, R. S. (1998). Confirmation bias: A ubiquitous phenomenon in many guises. *Review of General Psychology*, 2(2), 175–220.
- Peker, A.T., Böge, V., Bailey, G.S., Wagman J.B., Stoffregen, T.A. (2023). Perception of higher-order for kicking in soccer. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 49 (5), 623-634.
- Rizzolatti, G., Gentilucci, M., Camarda, R.M., Gallese, V., Luppino, G., Matelli, M., Fogassi, L. (1990). Neurons related to reaching-grasping arm movements in the rostral part of area 6 (area 6a bêta). *Experimental Brain Research*, 82 (2), 337-50.
- Rizzolatti, G., Sinigaglia, C. (2008). *Les neurones miroirs*. Éditions Odile Jacob Sciences.
- Runswick, O.R., Roca, A., Williams, A.M., McRobert, A.P., North, J.S. (2019). Why do bad balls get wickeds ? The role of congruent and incongruent information in anticipation. *Journal of Sports Sciences*, 37 (5), 537-543.

- Ryu, D., Abernethy, B., Hyun Park, S., Mann, D.L. (2018). The Perception of Deceptive Information Can Be Enhanced by Training That Removes Superficial Visual Information. *Frontiers in Psychology*, 9.
- Seifert, L., Dicks, M., Wittmann, F., Wolf, P. (2020). The perception of nested affordances: an examination of expert climbers. *Psychology of Sport and Exercise*, 52, 1018-43.
- Tomeo, E., Cesari, P., Aglioti, S.M., Urgesi, C. (2013). Fooling the kickers but not the goalkeepers: behavioral and neurophysiological correlates of fake action detection in soccer. *Cerebral Cortex*, 23 (11), 2765-78.
- Vernon, G., Farrow, D., Reid, M. (2018). Returning Serve in Tennis: A qualitative Examination of the Interaction of Anticipatory Information Sources Used by Professional Tennis Players. *Frontiers in Psychology*, 9.
- Wagman, J. B., Caputo, S. E., & Stoffregen, T. A. (2016). Hierarchical nesting of affordances in a tool use task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 42 (10), 1627–1642.
- Warren Jr, W.H. (1984). Perceiving affordances: visual guidance of stair climbing. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 5, 683-703.
- Withagen, R., Van Wermeskerken, M. (2009). Individual differences in learning to perceive length by dynamic touch: evidence for variation in perceptual learning capacities. *Attention, Perception & Psychophysics*, 71 (1), 64-75.
- 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.

Résumés

Résumé en français

L'anticipation est une compétence cognitive très importante qui permet de s'éviter des dangers dans la vie courante. Dans un environnement sportif rapide tel que le Badminton, elle est également primordiale. L'anticipation serait possible grâce à l'activation de l'Action Observation Network (phénomène également appelé résonance motrice), ensemble d'aires cérébrales dévolues au contrôle de l'action. Ces activations permettraient de comparer ce qui est perçu à son propre répertoire moteur pour comprendre la situation. Ainsi, dans quelle mesure la résonance motrice est utilisée selon le répertoire moteur de l'individu pour prédire les conséquences de l'action adverse en Badminton ?

L'Étude 1 a pour objectif de vérifier l'impact de la taille du répertoire moteur en comparant un Groupe expert, novice et non-badiste ainsi que d'observer les effets du nombre d'informations et de possibilités données. L'Étude 2 a pour objectif de vérifier l'impact de la correspondance du répertoire moteur entre l'observateur et l'acteur en comparant des participants experts ayant différents Profil du Joueur.

Dans ces deux études, les participants devaient prédire le comportement du joueur adverse à partir de l'observation de vidéos de retours en réalité virtuelle. Le Temps de Réponse ainsi que l'Erreur de Précision ont été mesurés à partir du point d'atterrissage estimé du volant.

L'Étude 1 révèle des performances d'anticipation différentes entre les experts et le groupe contrôle suggérant que les informations à disposition sont mieux utilisées par les experts. Néanmoins, nous n'observons pas d'effet différentiel pour les experts en fonction de l'activation de leur AON. Cela signifie qu'il n'y a pas de différence en fonction des possibilités d'action pour les différents groupes suggérant que ces structures ne seraient pas forcément à l'œuvre durant l'anticipation au badminton. Les résultats de l'Étude 2 tempèrent cette interprétation en révélant que la correspondance entre le profil de l'observateur et de l'acteur peut avoir une influence sur la performance de prédiction. En effet, l'avantage observé par les participants ayant une correspondance similaire signifie une plus grande facilité de l'utilisation de l'AON lorsqu'un adversaire similaire à l'individu est observé.

Résumé en anglais

Anticipation is a very important cognitive skill that allows us to avoid dangers in everyday life. In a fast-paced sporting environment such as Badminton, it is also essential. Anticipation would be possible thanks to the activation of the Action Observation Network (a phenomenon also called motor resonance), a set of brain areas dedicated to the control of action. These activations would make it possible to compare what is perceived to one's own motor repertoire to understand the situation. So, to what extent is motor resonance used according to the individual's motor repertoire to predict the consequences of opposing action in Badminton?

The objective of Study 1 is to verify the impact of the size of the motor repertoire by comparing an expert, novice and non-badist group as well as to observe the effects of the number of information and possibilities given. The objective of Study 2 is to verify the impact of the correspondence of the motor repertoire between the observer and the actor by comparing expert participants with different Player Profiles.

In these two studies, participants had to predict the behavior of the opposing player based on observing feedback videos in virtual reality. The Response Time as well as the Precision Error were measured from the estimated landing point of the shuttle.

Study 1 reveals different anticipation performances between the experts and the control group, suggesting that the information available is better used by the experts. However, we do not observe a differential effect for experts depending on the activation of their AON. This means that there is no difference depending on the possibilities of action for the different groups, suggesting that these structures would not necessarily be at work during anticipation in badminton. The results of Study 2 temper this interpretation by revealing that the correspondence between the profile of the observer and the actor can have an influence on prediction performance. Indeed, the advantage observed by participants with a similar correspondence means greater ease of using the AON when an opponent similar to the individual is observed.

Mots clés: Anticipation, Badminton, Neurones Miroirs, Résonance Motrice, Réalité Virtuelle.

Keywords: Anticipation, Badminton, Mirror Neurons, Motor Resonance, Virtual reality.

Annexes

Type de service	Variabilité
Lob extérieur (court et trop bas)	415079
Flick extérieur	440341
Lob extérieur	553392
Lob centre	606392
Lob centre (court et trop bas)	705589
Cloche centre	737298
Cloche extérieur	919437
Court centre (trop haut)	992026
Flick centre	1111139
Court extérieur (trop haut)	1145011
Court centre	1350763
Court extérieur	1425222

Annexe I: Liste des services effectués dans l'Étude 1 pour sélectionner les stimuli. Ils sont triés dans l'ordre croissant selon leur variabilité. Les services surlignés en vert sont ceux sélectionnés pour la condition Peu de Possibilités d'Action. Les services surlignés en orange sont ceux sélectionnés pour la condition Beaucoup de Possibilités d'Action.

ITEMS	Gauche	Droite
1-Écrire		
2-Dessiner		
3-Lancer (objet ou balle)		
4-Tenir des ciseaux et découper		
5-Se brosser les dents		
6-Se servir d'un couteau (sans fourchette)		
7-Se servir d'une cuillère		
8-Balayer (main au dessus)		
9-Frotter une allumette		
10-Ouvrir le couvercle d'une boîte		

Annexe II: Test de latéralité manuelle d'Edinburgh. Le but des participants est d'écrire un “+” dans la colonne correspondante. S'ils font naturellement une tâche des deux mains, ils peuvent répondre dans les deux colonnes.

Comparaisons post hoc - Temps d'occlusion

Comparaison		Temps d'occlusion	Temps d'occlusion	Différence moyenne	Erreur standard	ddl	t	P _{Tukey}
Temps d'occlusion	Temps d'occlusion							
-67ms	-	0ms		0.114	0.0208	43.0	5.46	<.001
	-	+67ms		0.235	0.0327	43.0	7.18	<.001
0ms	-	+67ms		0.121	0.0233	43.0	5.21	<.001

Annexe III: Test post-hoc sur JAMOVI comparant le Temps de Réponse moyen des participants 2 à 2 selon la condition du Temps d'Occlusion.

Comparaisons post hoc - Temps d'occlusion

Comparaison		Temps d'occlusion	Temps d'occlusion	Différence moyenne	Erreur standard	ddl	t	P _{Tukey}
Temps d'occlusion	Temps d'occlusion							
-67ms	-	0ms		18.6	2.88	43.0	6.47	<.001
	-	+67ms		57.1	4.61	43.0	12.39	<.001
0ms	-	+67ms		38.5	3.55	43.0	10.86	<.001

Annexe IV: Test post-hoc sur JAMOVI comparant l'Erreur de Précision moyenne des participants 2 à 2 selon la condition du Temps d'Occlusion.

Comparaisons post hoc - Groupe

Comparaison		Groupe	Groupe	Différence moyenne	Erreur standard	ddl	t	P _{Tukey}
Groupe	Groupe							
Expert	-	Novice		-13.7	7.15	43.0	-1.92	0.146
	-	Contrôle		-36.9	7.76	43.0	-4.76	<.001
Novice	-	Contrôle		-23.2	7.95	43.0	-2.92	0.015

Annexe V: Test post-hoc sur JAMOVI comparant l'Erreur de Précision moyenne des participants 2 à 2 selon la condition du Groupe.

Comparaisons post hoc - Temps d'occlusion * Compétition

Comparaison				Différence moyenne	Erreur standard	ddl	t	P _{Tukey}	
Temps d'occlusion	Compétition	Temps d'occlusion	Compétition						
-67ms	Faible	-	-67ms	-86.58	7.56	43.0	-11.451	<.001	
		-	0ms	8.78	4.29	43.0	2.045	0.335	
		-	0ms	-58.12	7.19	43.0	-8.080	<.001	
	Forte	-	+67ms	Faible	25.61	6.79	43.0	3.773	0.006
		-	+67ms	Forte	2.04	7.33	43.0	0.278	1.000
		-	0ms	Faible	95.36	5.80	43.0	16.437	<.001
0ms	Faible	-	0ms	28.47	4.29	43.0	6.634	<.001	
		-	+67ms	Faible	112.20	5.50	43.0	20.388	<.001
	Forte	-	+67ms	Forte	88.62	5.47	43.0	16.215	<.001
		-	0ms	Faible	-66.90	5.65	43.0	-11.846	<.001
+67ms	Faible	-	+67ms	16.83	5.05	43.0	3.333	0.021	
		-	+67ms	Forte	-6.74	5.67	43.0	-1.189	0.840
	Forte	-	+67ms	Faible	83.73	5.09	43.0	16.455	<.001
		-	+67ms	Forte	60.16	4.06	43.0	14.820	<.001
		-	+67ms	Faible	-23.57	4.22	43.0	-5.582	<.001

Annexe VI: Test post-hoc sur JAMOVI comparant l'Erreur de Précision moyenne des participants 2 à 2 selon les conditions de l'interaction Temps d'Occlusion x Possibilités d'Action. La variable de Possibilités d'Action est ici nommée Compétition. Peu de possibilités représente une faible compétition et beaucoup de possibilités représente une forte compétition.

Comparaisons post hoc - Temps d'occlusion * Groupe

		Comparaison		Différence moyenne	Erreur standard	ddl	t	Ptukey					
Temps d'occlusion	Groupe	Temps d'occlusion	Groupe										
-67ms	Expert	-67ms	Novice	-13.35	8.76	43.0	-1.523	0.838					
		-67ms	Contrôle	-22.45	9.51	43.0	-2.362	0.330					
		0ms	Expert	25.64	4.54	43.0	5.649	<.001					
		0ms	Novice	6.57	8.36	43.0	0.786	0.997					
		0ms	Contrôle	-12.14	9.01	43.0	-1.348	0.911					
		+67ms	Expert	64.94	7.26	43.0	8.942	<.001					
	Novice	Novice	+67ms	Novice	56.22	9.07	43.0	6.198	<.001				
			+67ms	Contrôle	14.40	9.88	43.0	1.457	0.869				
			-67ms	Contrôle	-9.10	9.74	43.0	-0.935	0.990				
			0ms	Expert	38.99	8.40	43.0	4.639	0.001				
			0ms	Novice	19.92	4.81	43.0	4.138	0.005				
			0ms	Contrôle	1.21	9.25	43.0	0.131	1.000				
		Contrôle	Contrôle	+67ms	Expert	78.29	9.04	43.0	8.664	<.001			
				+67ms	Novice	69.56	7.70	43.0	9.031	<.001			
				+67ms	Contrôle	27.75	10.11	43.0	2.745	0.163			
				0ms	Expert	48.09	9.18	43.0	5.241	<.001			
				0ms	Novice	29.02	9.38	43.0	3.095	0.075			
				0ms	Contrôle	10.32	5.56	43.0	1.856	0.646			
0ms	Expert	Expert	+67ms	Expert	87.39	9.76	43.0	8.956	<.001				
			+67ms	Novice	78.67	10.02	43.0	7.853	<.001				
			+67ms	Contrôle	36.85	8.89	43.0	4.143	0.005				
			0ms	Novice	-19.07	7.98	43.0	-2.389	0.316				
			0ms	Contrôle	-37.77	8.66	43.0	-4.364	0.002				
			+67ms	Expert	39.30	5.59	43.0	7.036	<.001				
	Novice	Novice	Novice	+67ms	Novice	30.58	8.72	43.0	3.505	0.027			
				+67ms	Contrôle	-11.24	9.56	43.0	-1.175	0.958			
				0ms	Contrôle	-18.71	8.87	43.0	-2.109	0.481			
				+67ms	Expert	58.37	8.64	43.0	6.753	<.001			
				+67ms	Novice	49.65	5.92	43.0	8.379	<.001			
				+67ms	Contrôle	7.83	9.76	43.0	0.802	0.996			
	Contrôle	Contrôle	Contrôle	+67ms	Expert	77.08	9.27	43.0	8.313	<.001			
				+67ms	Novice	68.35	9.54	43.0	7.162	<.001			
				+67ms	Contrôle	26.53	6.84	43.0	3.878	0.010			
				+67ms	Expert	Novice	+67ms	Novice	-8.73	9.33	43.0	-0.935	0.990
							+67ms	Contrôle	-50.54	10.12	43.0	-4.992	<.001
							+67ms	Contrôle	-41.82	10.37	43.0	-4.031	0.006

Annexe VII: Test post-hoc sur JAMOVI comparant l'Erreur de Précision moyenne des participants 2 à 2 selon les conditions de l'interaction Temps d'Occlusion x Groupe.

Questionnaire tactique

Pour chacune des affirmations suivantes, cochez la case selon votre accord ou désaccord avec cette affirmation. Prenez le cas d'un match de simple contre un adversaire que vous n'avez jamais rencontré auparavant.

Pas du tout	Non	Plutôt non	Neutre	Plutôt oui	Oui	Totalement
Je préfère prendre l'initiative plutôt que la laisser à mon adversaire.						
Pour mettre en retard mon adversaire, je préfère utiliser la vitesse quitte à être un peu moins précis plutôt qu'utiliser un rythme lent mais être précis dans les zones que je veux viser.						
Pour que ma tactique fonctionne, j'ai d'abord besoin de beaucoup faire déplacer mon adversaire.						
Je préfère finir les points rapidement plutôt que faire durer l'échange.						
Pour construire mon point, je casse le rythme de l'échange en ralentissant certains volants.						
Lorsque je prends l'attaque, je dois énormément me déplacer pour finir le point.						
Je préfère prendre l'attaque immédiatement, en faisant descendre mes volants, plutôt qu'attendre une opportunité.						
Quand je suis en désavantage, je préfère envoyer des volants courts ou rapides pour reprendre l'attaque plutôt que des volants longs et hauts pour me donner le temps de me replacer.						
Ma tactique peut bien fonctionner si je ne croise aucun volant dans un point.						

Questionnaire technique

Pour chacune des frappes suivantes, écrivez son numéro dans le bloc correspondant selon le pourcentage de réussite que vous pensez avoir en compétition (préférentiellement en simple). Prenez en compte le pourcentage de frappes réussies: c'est-à-dire une frappe dans le terrain et avec une bonne trajectoire afin de ne pas perdre l'avantage dans le point ou le point lui-même sur le prochain coup de l'adversaire. S'il y a une frappe que vous ne faites jamais ou presque en compétition, imaginez le pourcentage de réussite si vous la tentiez.

Ex: Si je maîtrise totalement la défense courte, j'écris le chiffre 8 dans la case 80-100%.

	80-100% de réussite
1) Contre-amorti droit	60-79% de réussite
2) Amorti croisé	
3) Reverse slice droit	
4) Amorti en prise revers	
5) Dégagé tendu	
6) Drive en prise revers	
7) Reverse slice croisé	
8) Défense courte	
9) Contre-amorti croisé	40-59% de réussite
10) Slice en prise revers	
11) Lob	
12) Amorti overhead	
13) Défense longue	
14) Dégagé	
15) Smash droit	
16) Service court	20-39% de réussite
17) Slice croisé	
18) Kill	
19) Reverse slice en prise revers	
20) Contre-amorti spin	
	0-19% de réussite

Annexe VIII: Questionnaire Tactique et Technique avec leurs consignes. Le questionnaire Tactique contient 3 axes (rapport de force, vitesse et déplacement) ayant chacun 3 questions sur 7 points. Chaque axe obtient un score entre 3 et 21 selon la tactique du participant. Le questionnaire Technique contient 20 frappes à placer dans les catégories qui valent 1 à 5 points. Sept frappes étaient jugés faciles et valaient peu de points ($\frac{1}{3}$), six frappes étaient jugées moyennes et valaient un peu moins de points ($\frac{2}{3}$) et sept frappes étaient jugées difficiles et valaient plus de points (x2). Le total était sur 100 et le score pouvait se situer entre 20 et 100. Les participants étant experts, la moyenne obtenue est de 76/100.

contrast	estimate	SE	df	t.ratio	p.value
X.67 Faible.compétition Loin - X67 Faible.compétition Loin	61.13	6.39	38	9.571	<.0001
X.67 Faible.compétition Loin - X.67 Forte.compétition Loin	-54.89	10.88	38	-5.047	0.0003
X.67 Faible.compétition Loin - X67 Forte.compétition Loin	37.83	9.79	38	3.866	0.0090
X.67 Faible.compétition Loin - X.67 Faible.compétition Proche	25.35	7.13	38	3.556	0.0207
X.67 Faible.compétition Loin - X67 Faible.compétition Proche	75.53	7.93	38	9.523	<.0001
X.67 Faible.compétition Loin - X.67 Forte.compétition Proche	19.28	8.49	38	2.271	0.3354
X.67 Faible.compétition Loin - X67 Forte.compétition Proche	71.10	7.99	38	8.896	<.0001
X67 Faible.compétition Loin - X.67 Forte.compétition Loin	-116.01	10.69	38	-10.857	<.0001
X67 Faible.compétition Loin - X67 Forte.compétition Loin	-23.30	8.59	38	-2.713	0.1498
X67 Faible.compétition Loin - X.67 Faible.compétition Proche	-35.78	6.13	38	-5.837	<.0001
X67 Faible.compétition Loin - X67 Faible.compétition Proche	14.40	7.18	38	2.006	0.4917
X67 Faible.compétition Loin - X.67 Forte.compétition Proche	-41.85	7.88	38	-5.309	0.0001
X67 Faible.compétition Loin - X67 Forte.compétition Proche	9.98	7.92	38	1.260	0.9077
X.67 Forte.compétition Loin - X67 Forte.compétition Loin	92.72	8.94	38	10.376	<.0001
X.67 Forte.compétition Loin - X.67 Faible.compétition Proche	80.24	12.45	38	6.444	<.0001
X.67 Forte.compétition Loin - X67 Faible.compétition Proche	130.42	11.67	38	11.172	<.0001
X.67 Forte.compétition Loin - X.67 Forte.compétition Proche	74.16	10.38	38	7.144	<.0001
X.67 Forte.compétition Loin - X67 Forte.compétition Proche	125.99	10.29	38	12.243	<.0001
X67 Forte.compétition Loin - X.67 Faible.compétition Proche	-12.48	10.21	38	-1.222	0.9204
X67 Forte.compétition Loin - X67 Faible.compétition Proche	37.70	9.49	38	3.973	0.0067
X67 Forte.compétition Loin - X.67 Forte.compétition Proche	-18.55	7.62	38	-2.435	0.2544
X67 Forte.compétition Loin - X67 Forte.compétition Proche	33.27	7.60	38	4.379	0.0021
X.67 Faible.compétition Proche - X67 Faible.compétition Proche	50.18	5.30	38	9.473	<.0001
X.67 Faible.compétition Proche - X.67 Forte.compétition Proche	-6.08	7.70	38	-0.789	0.9927
X.67 Faible.compétition Proche - X67 Forte.compétition Proche	45.75	8.99	38	5.087	0.0003
X67 Faible.compétition Proche - X.67 Forte.compétition Proche	-56.25	6.15	38	-9.154	<.0001
X67 Faible.compétition Proche - X67 Forte.compétition Proche	-4.43	6.63	38	-0.668	0.9974
X.67 Forte.compétition Proche - X67 Forte.compétition Proche	51.83	5.29	38	9.792	<.0001

Annexe IX: Test post-hoc sur Rstudio comparant l'Erreur de Précision moyenne des participants 2 à 2 lorsque les participants sont séparés par la Correspondance de Latéralité et selon les conditions de l'interaction Temps d'Occlusion x Possibilités d'Action x Correspondance de Latéralité. "X.67" signifie "-67ms" et "X67" signifie "+67ms". La variable de Possibilités d'Action est ici nommée Compétition. Peu de possibilités représente une faible compétition et beaucoup de possibilités représente une forte compétition.