

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À

L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAITRISE EN SCIENCES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE

PAR

MARC-ANDRÉ NADEAU

VALIDATION D'UN TEST DE TEMPS DE RÉACTION DES MEMBRES INFÉRIEURS
CHEZ UNE POPULATION ATHLÉTIQUE

DÉCEMBRE 2022

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire, de cette thèse ou de cet essai a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire, de sa thèse ou de son essai.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire, cette thèse ou cet essai. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire, de cette thèse et de son essai requiert son autorisation.

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE

Ce mémoire a été dirigé par :

Jacques Abboud, Ph.D.	Université du Québec à Trois-Rivières
Directeur de recherche, grade	Rattachement institutionnel

Martin Descarreaux, Ph.D.	Université du Québec à Trois-Rivières
Codirecteur de recherche, grade	Rattachement institutionnel

Jury d'évaluation du mémoire :

Jacques Abboud, Ph.D.	Université du Québec à Trois-Rivières
Prénom et nom, grade	Rattachement institutionnel

Jean Lemoyne, Ph.D.	Université du Québec à Trois-Rivières
Prénom et nom, grade	Rattachement institutionnel

Stéphane Sobczak, Ph.D.	Université du Québec à Trois-Rivières
Prénom et nom, grade	Rattachement institutionnel

RÉSUMÉ

Depuis plusieurs années, les chercheurs utilisent le temps de réaction pour mesurer les capacités de réaction de la population générale et des athlètes. Le temps de réaction visuel, par exemple, fournit une représentation des différentes capacités d'un athlète à reconnaître et à réagir à son environnement par une réponse motrice appropriée (Paterson, 2010). Actuellement, la majorité des tests pour athlètes ont la capacité de mesurer efficacement le temps de réaction ou les capacités motrices, mais rarement les deux à la fois. Puisque l'interaction de ces deux composantes est essentielle pour l'évaluation d'un athlète autant blessé que non blessé, la possibilité d'avoir un test qui peut évaluer les deux simultanément serait un atout important à l'équipe qui entoure l'athlète. Certains auteurs ont aussi mis en évidence un lien entre la diminution du temps de réaction et les blessures musculosquelettiques (Wilkerson et al. 2017). Ces blessures entraînent des déficits neurocognitifs influençant le contrôle neuromusculaire du membre inférieur par des changements de l'attention et l'excitation (Griffin et al., 2000). Ce mémoire abordera donc le fonctionnement du temps de réaction ainsi que les principales façons de le mesurer dans un contexte sportif qui ont été décrites dans la littérature scientifique. Un nouveau test conçu dans le cadre de ce projet de recherche sera ensuite introduit afin de proposer une option valide pour la mesure du temps de réaction et des capacités motrices spécifiquement adaptée au contexte sportif. Ce test a été administré à différents athlètes des équipes sportives de l'Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR) en plus de deux autres tests déjà validés afin d'évaluer le temps de réaction (traitement de l'information) et le temps de réponse (exécution mécanique de la tâche). Les trois tests ont été conduits dans le même ordre pour les deux séances de test. En premier, le test de temps de réaction visuomoteur des membres supérieurs (TRVMS), suivi du test en forme de T, qui est un test d'agilité. Le dernier test était le nouveau test de cette étude, le test de temps de réaction visuomoteur des membres inférieurs (TRVMI). Avant la participation aux tests, les participants avaient à remplir un questionnaire afin de mesurer certains

paramètres pouvant affecter la performance aux tests tels que la fatigue, la charge mentale, la consommation de café et d'alcool ainsi que la fréquence d'utilisation de la technologie *Fitlights*. L'objectif principal de ce projet de recherche est de mesurer la validité et la fidélité du nouveau test. Pour ce faire, la corrélation entre le temps de réaction obtenu avec le TRVMI et le TRVMS sera évaluée. Les écarts de mesures du temps de réaction entre les deux tests seront également mesurés. Le temps de réponse du TRVMI sera comparé quant à lui au test en forme de T. Les résultats portant sur la validité montrent une corrélation faible, mais significative entre le temps de réaction obtenue lors du TRVMI et le TRVMS. Les résultats du temps de réponse du TRVMI et du test en forme de T montrent une corrélation modérée et significative. Par contre, la variabilité de la mesure du temps de réaction du TRVMI est trop grande pour l'utilisation souhaitée. Les résultats au niveau de la fidélité montrent de bonne à excellente corrélations intraclasse (ICC) entre les essais d'une même séance alors que les coefficients de corrélations des résultats pour un même test entre les deux séances sont bons pour tous les tests à l'exception du temps de réaction du TRVMI qui est faible. La discussion de ce mémoire aborde les forces et faiblesses de ce nouveau test ainsi que des propositions pour son éventuelle utilisation. À défaut d'avoir une validité suffisante pour la mesure du temps de réaction, le nouveau test est un exercice intéressant au niveau de la stimulation cognitive et physique. En effet, celui-ci demande des déplacements rapides sur une distance pertinente tout en sollicitant la capacité d'attention, de recherche visuelle et de la conscience de l'environnement. Le TRVMI montre une bonne fidélité intraséance, mais faible interséance. D'autres recherches doivent encore être faites pour exploiter le plein potentiel de l'utilité du temps de réaction dans le domaine du sport.

Mots clés : temps de réaction, membres inférieurs, tests, athlète

Table des matières

Liste des tableaux	VIII
Liste des figures	IX
Liste des abréviations	X
Remerciements	XI
I. I. INTRODUCTION	1
II. REVUE DE LA LITTÉRATURE	3
Fonctionnement du temps de réaction.....	3
Types de temps de réaction	6
Spécificité du temps de réaction chez les athlètes	7
Différences des résultats chez les athlètes selon le test employé	10
Tests de temps de réaction existant pour les athlètes	12
Tests de temps de réaction informatisés	13
Tests de temps de réaction visuomoteurs	15
Autres tests de temps de réaction	18
III. PROBLÉMATIQUE	22
IV. OBJECTIF	24
V. MÉTHODOLOGIE	25
Participants.....	25
Procédures.....	26
Outils de mesures.....	27
Analyse des données	30
Analyses statistiques	32
VI. RÉSULTATS.....	34
Validité.....	37
Fidélité	40
VIII. DISCUSSION	42
Validité du TRVMI.....	42
Mesure du temps de réaction	43
Respect des consignes.....	45
Recherche visuelle.....	46
Mesure du temps de réponse	47

Comparaison des résultats obtenus avec le TRVMI	48
Validité écologique du TRVMI	49
Fidélité des tests.....	50
Limites et forces de l'étude	54
Perspectives et retombées.....	55
VIII. CONCLUSION	57
Références.....	58
Annexes	70

Liste des tableaux

Tableau 1. Résumé des données obtenues par les outils de mesure	32
Tableau 2. Données démographiques et résultats du questionnaire préparticipation	36
Tableau 3. ANOVA à un facteur du niveau de fatigue des participants entre les séances.....	36
Tableau 4. ANOVA à un facteur du nombre d'utilisations de la technologie Fitlights entre les séances	37
Tableau 5. Statistique descriptive des résultats des tests en ms	37
Tableau 6. Corrélation de Pearson entre les tests	38
Tableau 7. Différence des moyennes, erreur type de mesure et les intervalles de confiance du temps de réaction du TRVMI et du TRVMS entre les deux séances	39
Tableau 8. Différence des moyennes, écart type et limites d'accord entre la mesure du temps de réaction du TRVMI et du TRVMS selon les séances	40
Tableau 9. ICC des tests entre chaque essai d'une séance	43
Tableau 10. Corrélation entre la séance 1 et 2 de chaque test	44

Liste des figures

Figure 1. Représentation visuelle des trois parties du temps de réaction	5
Figure 2. Étapes de traitement de l'information dans le cerveau	6
Figure 3. Représentation des tests de temps de réaction	21
Figure 4. TRVMI	29
Figure 5. Diagramme de Bland et Altman de la mesure du temps de réaction entre le TRVMI et le TRVMS en ms	43
Figure 6. Représentation de la dispersion des données de temps de réaction entre le TRVMI et du TRVMS en ms	45

Liste des abréviations

Analyse de la variance (ANOVA)

Centimètres (cm)

Coefficients de corrélation intraclasse (ICC)

Différence de moyenne (DM)

Écart type (ET)

Erreur type de mesure (ETM)

Électromyogramme (EMG)

Immediate post-concussion assessment and cognitive testing (ImPACT)

Intervalle de confiance (IC)

Kilogrammes (kg)

Ligue Nationale de Football (LNF)

Ligue Nationale de Hockey (LNH)

Limite d'accord (LD)

Millisecondes (ms)

National Collegiate Athletic Association (NCAA)

Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)

Trouble déficitaire de l'attention (TDA)

Test de temps de réaction visuomoteur des membres inférieurs (TRVMI)

Test de temps de réaction visuomoteur des membres supérieurs (TRVMS)

Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR)

Remerciements

Tout d'abord, je dois un merci spécial à Jean-François Brunelle pour avoir été le premier à m'encourager à poursuivre mes études aux cycles supérieurs, mais surtout pour m'avoir permis de me développer dans un environnement qui sans le savoir, allait devenir mon champ d'études. Par le fait même, l'organisation des Patriotes de l'UQTR et tout le personnel du CAPS.

Ensuite, merci à tous les étudiants avec qui j'ai eu l'occasion de vivre ces deux dernières années. Particulièrement André-Philippe Daigle pour avoir été à mes côtés dans le feu de l'action et Camille Mainville pour son support sans limites et son expérience indispensable qu'elle a partagée sans réserve. Finalement, Marie-Kim Bernard et Nicolas Gagnon avec qui j'ai partagé joies et peines, travaux communs, calculs mathématiques et bien plus encore. C'est lors de ce genre de projet que je réalise l'incalculable valeur de votre amitié.

Un merci unique à ma conjointe, Joanie Bossinotte, pour avoir vécu avec moi les moments forts et moins forts de ma maîtrise avec son écoute et sa sagesse. J'espère pouvoir en faire autant pour toi.

Finalement, un merci très sincère à mon directeur Jacques Abboud et à mon co-directeur Martin Descarreaux pour leur ouverture et leur patience à mon égard. Nous avons fait des pieds et des mains pour terminer ce projet et je vous en suis énormément reconnaissant. Cette aventure, qui n'a eu rien d'un long fleuve tranquille comme disait Stéphanie Girard, m'a fait évoluer et grandir. À travers les épreuves, j'ai beaucoup appris sur moi et je réalise que même les choses négatives apportent du positif à qui sait l'accueillir.

I. INTRODUCTION

Dans la vie de tous les jours, il existe plusieurs situations où une personne doit réagir rapidement par l'exécution d'un mouvement approprié. La marche, par exemple, engendre plusieurs stimulations autant visuelles et proprioceptives que sensorielles (Riskowsk et al., 2005). Le traitement de ces stimulations est directement lié au temps de réaction. Le temps de réaction peut être défini par la mesure de la vitesse de traitement de l'information et reflète l'efficacité de la réponse à une tâche donnée (Colonius, Díaz, Medina et Wong, 2015). Le temps de réaction représente le temps qu'une personne prend à initier une réponse motrice suite à un stimulus (Rigal, 2002). Le temps de réponse motrice, quant à lui, représente l'exécution mécanique de la tâche demandée suite à la réaction initiale (Rigal 2002). Les athlètes passent des heures à développer des patrons moteurs optimaux selon leur sport, leur position et pour chaque situation de jeu afin d'améliorer leur temps de réponse motrice (Čoh, Jovanović-Golubović et Milovan, 2004). Puisque la majorité des sports nécessitent un déplacement avec les membres inférieurs, il serait intéressant que les tests physiques, mais aussi les tests cognitifs utilisent cette région du corps pour leur évaluation (Murphy, Connolly et Beynnon, 2003).

Ensemble, le temps de réaction et le temps de réponse motrice forment le temps de réponse total. Dans un contexte sportif, la capacité à interpréter et réagir à son environnement exige une réponse très rapide étant donné la vitesse des déplacements et la nécessité d'avoir une attention partagée entre un objet et un adversaire par exemple (Voss et al., 2010).

Selon l'Institut de la statistique du Québec, entre 2018-2019, le pourcentage des adultes actifs ou moyennement actifs diminue avec l'âge. Les personnes les plus actives se situent entre 15 et 35 ans. Cette population d'adolescents et de jeunes adultes est la plus à risque de blessures musculosquelettiques reliées au sport (Emery et Pasanen, 2019). Un grand nombre

de récurrences de blessures est causé par un retour au jeu précoce (Allen et al., 2016). Il existe un taux élevé de récurrence et la présence persistante de déficits ou de séquelles après une blessure malgré la présence de certains critères de retour au jeu (Doherty et al., 2014). Afin de bien pouvoir évaluer l'aspect autant physique que cognitif, il n'existe que très peu de tests capables d'évaluer simultanément ces facteurs. Ainsi, malgré la présence de tests informatisés pour mesurer le temps de réaction et des tests d'agilité pour mesurer les capacités physiques des athlètes, l'interaction entre le traitement de l'information et la réponse motrice associée n'est pas suffisamment mesurée (Tang et Bruya, 2017).

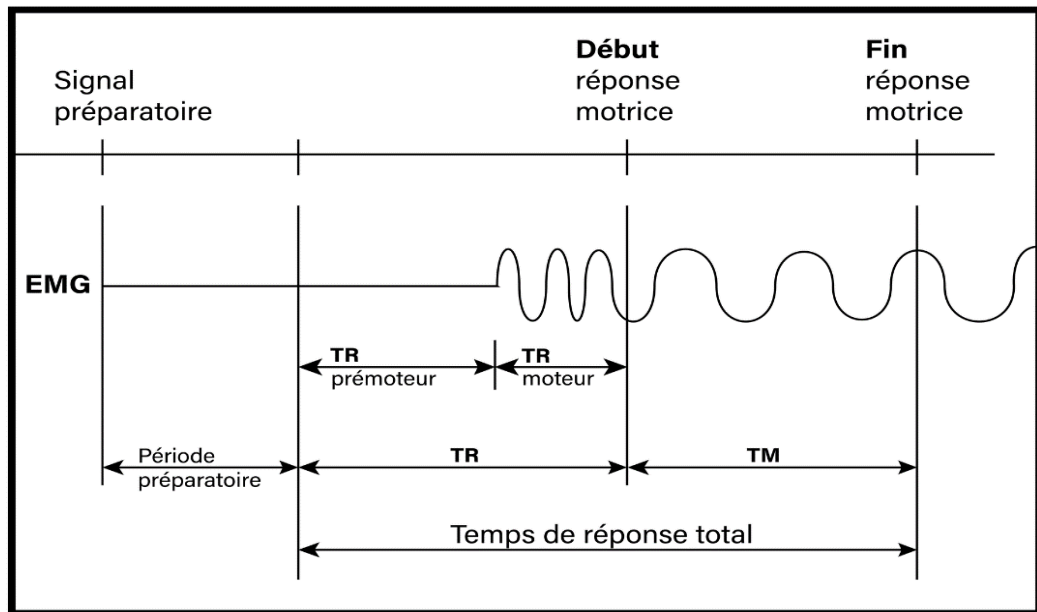
Ce mémoire abordera les différentes composantes du temps de réaction ainsi que les facteurs importants à contrôler lors de son évaluation. Certaines particularités de l'évaluation du temps de réaction et de réponse des athlètes seront également présentées. Ensuite une revue de la littérature scientifique concernant les tests utilisés de temps de réaction avec les athlètes est présentée afin de couvrir l'évaluation autant clinique que sur les lignes de touche. Afin de proposer un nouveau test qui évalue autant le temps de réaction que les capacités motrices des athlètes, le test conçu pour ce projet de recherche sera introduit. Pour pouvoir conclure sur sa validité et sa fidélité, le nouveau test, ainsi que deux autres tests servant de mesure étalon pour le temps de réaction et le temps de réponse motrice seront administrés à des athlètes de l'Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR) lors de deux séances de test distinctes. Les corrélations entre les résultats du temps de réaction ainsi que les écarts de mesures entre les deux tests permettront d'établir la validité du nouveau test. En lien avec la fidélité, des corrélations autant intra séance qu'interséance pour chaque test seront mesurées. Cela permettra de conclure sur la capacité du test à répéter avec précision sa mesure du temps de réaction et du temps de réponse motrice.

II. REVUE DE LA LITTÉRATURE

Fonctionnement du temps de réaction

Le temps de réaction est un processus complexe qui implique plusieurs systèmes du corps humain. Lors de son évaluation, il est primordial de reconnaître à quel moment celui-ci débute et prend fin. Afin de mieux concevoir un test de temps de réaction, il est important d'en comprendre les concepts clés qui déterminent ces moments. Il est possible de séparer le temps nécessaire pour réagir à un stimulus en trois parties soit le temps de réaction pré-moteur, moteur et le temps de réponse motrice (Cuisinier, 2006). L'addition de ces trois parties correspond au temps de réponse total. Une représentation visuelle des trois parties du temps de réaction est présentée à la figure 1. La première partie, le temps de réaction pré-moteur, est attribuée au temps nécessaire à un des organes sensoriels du corps pour détecter le stimulus (ex. une lumière vue par l'œil ou une sensation sentie par la main). Un stimulus auditif prend seulement 8-10 millisecondes (ms) pour atteindre le cerveau alors qu'il en faut 40 ms à un stimulus passant par la rétine pour aller au cortex occipital (Kemp et al., 1973). Lorsqu'un stimulus visuel est présenté, celui-ci peut être capté par la vision centrale ou périphérique. La vision centrale et la vision périphérique, transmettant les informations au cortex occipital par des chemins nerveux qui leur sont propres et ont des fonctions complémentaires (Gupta, Ireland et Bordoni, 2022). En effet, les signaux centraux comprennent la reconnaissance d'objet et la précision de la résolution alors que les signaux périphériques sont essentiels pour l'orientation spatiale et l'anticipation du changement (Houdé, Mazoyer et Tzourio-Mazoyet, 2002). La vision périphérique est intégrée par les afférences proprioceptives et vestibulaires au mésencéphale qui est déterminant pour le contrôle neuromusculaire. La dépendance d'une vision principalement centrale engendre un impact négatif sur l'initiation de réponse motrice anticipatoire, affectant ainsi le temps de réaction moteur et la réponse motrice associée (Padula, Munitz et Magrun, 2012). Il est donc

pertinent de prendre en compte le champ visuel lors de la présentation d'un stimulus lors de test de temps de réaction.



Inspiré de Davranche, Karen & Audiffren, Michel. (2009). A Chronometric and Electromyographic Approach to the Effect of Exercise on Reaction Time. 10.1002/9780470740668.ch7. EMG : Électromyogramme, TR : Temps de réaction et TM : Temps moteur

Figure 1. Représentation visuelle des trois parties du temps de réaction

La deuxième partie, le temps de réaction moteur, est la fonction intégratrice du système nerveux, car elle traite l'information perçue (perceptif) et choisit une réponse appropriée (décisionnels). D'abord, une fois que le cortex inféro-temporal aura fait l'interprétation des informations visuelles perçues (Bear, Connors et Paradiso, 2007), le cortex frontal sera responsable de la planification et la coordination des commandes motrices volontaires (Thiebaut de Schotten et al., 2017). Le thalamus joue aussi un rôle important dans ce processus. Il a comme principale fonction le relais et l'intégration des afférences sensibles et sensorielles et des efférences motrices (Murray Sherman et Guiller, 2005). Le temps de réaction moteur représente près du tiers du temps de réaction total qui est d'environ 150 à

200 ms selon le stimulus présenté (Thorpe et Fabre-Thorpe, 2001). La troisième et dernière partie, la phase de réponse motrice, se définit par le moment où le corps commence à bouger pour effectuer la réponse nécessaire. C'est grâce au cortex moteur que la commande motrice est initiée (Kandel et al., 2000). Ensuite le cervelet reçoit des signaux des afférences sensorielles du système nerveux central et périphérique. Il intègre ces signaux pour ajuster l'activité motrice (Fine, Lonita et Lohr, 2002). En plus de son rôle dans le contrôle moteur, le cervelet est également nécessaire dans l'apprentissage moteur (Apps et Garwicz, 2005). Un résumé des étapes de la perception d'un stimulus est présenté à la figure 2. Seuls les temps de réaction motrice et de réponse motrice peuvent être modifiés puisqu'ils dépendent de la façon de traiter l'information et de bouger et non de la conduction nerveuse. La vitesse de conduction nerveuse dépend du temps nécessaire à un influx nerveux pour traverser une longueur donnée d'un nerf déterminé (Tavee, 2019). Pour les fibres entourées d'une gaine de myéline, la vitesse est directement proportionnelle au diamètre extérieur de la fibre. Chez l'être humain, la vitesse de propagation de l'influx nerveux est comprise entre 0,5 mètre par seconde dans les petites fibres amyéliniques et 120 mètres par seconde dans les grosses fibres myélinisées (Reed, Vernon et Johnson, 2004).

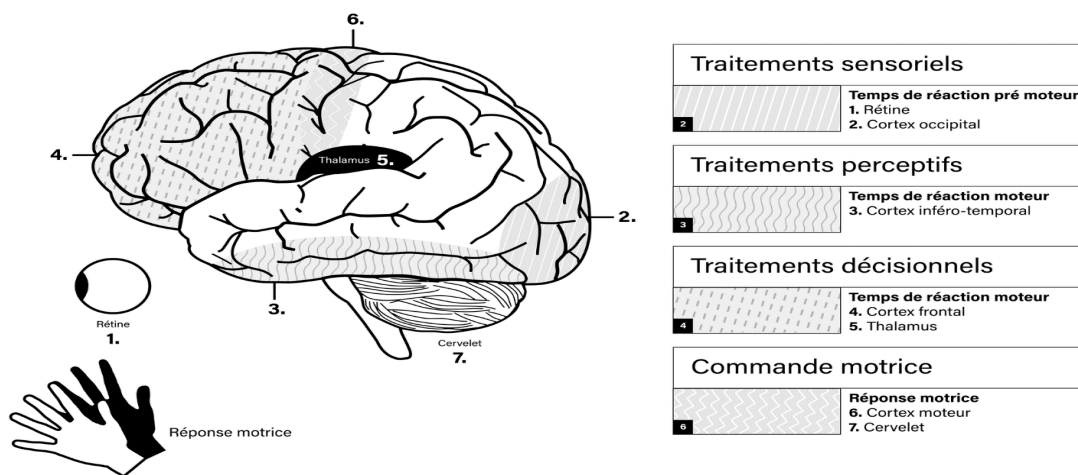


Figure 2. Étapes de traitement de l'information dans le cerveau

Types de temps de réaction

Lors de l'évaluation du temps de réaction, il existe plusieurs types de temps de réaction. Le premier type, le temps de réaction simple, qui signifie qu'il n'y a qu'un stimulus et une seule réponse possible. Par exemple, lors d'un test à l'ordinateur, le participant doit appuyer sur une touche du clavier lorsque le signal apparaît à l'écran. Le deuxième, le temps de réaction de reconnaissance, est un test possédant un faux et un vrai signal auquel il faut réagir dès sa reconnaissance. Pour reprendre l'exemple du test à l'ordinateur, deux stimuli pourraient apparaître de façon aléatoire à l'écran, une croix et un cercle, et le participant ne doit appuyer sur son clavier que lorsqu'il reconnaît le cercle. Le troisième, le temps de réaction de choix ou dit complexe, est le test le plus laborieux à exécuter, car il présente plus d'un stimulus de départ et chacun d'eux commande une réaction différente. Prenons l'exemple d'un test où un témoin lumineux peut émettre une lumière de couleur rouge, bleu ou verte. Le témoin rouge demanderait au participant de rester immobile, le témoin bleu lui demanderait de toucher un interrupteur de la main droite et le témoin vert de toucher un interrupteur de la main gauche (Luce, 1986). Plus il y a de choix qui s'offrent au participant, plus le temps de traitement de l'information est long (Sanders, 1998). Le temps de réaction prémentionné plus haut peut être étiqueté comme le temps de réaction visuomoteur, puisque ce sont les yeux qui détectent la stimulation (Welford, 1980; Laming, 1968; Sanders, 1998). Chez les athlètes pratiquant des sports considérés à compétences ouvertes, c'est le temps de réaction visuelle qui est le plus important. Dans ce type de sport, comme le basketball ou le hockey, les athlètes doivent réagir à ce qu'ils observent de leur environnement. Dans le cas des athlètes pratiquant des sports considérés à compétences fermées, comme la natation ou l'athlétisme, ils doivent seulement réagir au signal sonore de départ qui est standardisé et facilement reproductible en pratique (Nuri et al., 2013). Par ailleurs, l'effet de séquence démontre que le temps de réaction est plus rapide lorsqu'une

série continue de stimuli identiques est présentée que lors d'une série présentant des stimuli différents (Hsieh, 2002). En effet, le changement de l'attention entre deux différents stimuli cause une augmentation du temps de traitement de l'information, donc une augmentation du temps de réaction.

D'autre part, il existe aussi l'utilisation du temps de réaction dit musculaire ou latence qui se distingue du temps de réaction présenté plus haut. L'étude seule du temps de réaction musculaire n'est pas d'intérêt dans cette recherche, car son objectif n'est pas d'évaluer le traitement de l'information et la réponse motrice qui doit l'accompagner. Le temps de réaction musculaire teste par conduction nerveuse seulement le réseau nerveux de la partie du corps évaluée de façon isolée, ce qui a déjà été amplement étudié et présenté lors d'une revue systématique récente (Hoch et McKeon, 2014). Ces études montrent que lors d'une lésion aux tissus de la cheville après une entorse, la vitesse de conduction nerveuse et donc du temps de réaction, est diminuée. Ces lésions causent des changements délétères dans la transmission des afférences ou dans la capacité du système nerveux central à générer une réponse motrice appropriée (Gutierrez, Kaminski et Douex, 2009). La mesure de ce temps de réaction étant effectuée en laboratoire par un électromyogramme (EMG), celle-ci est difficilement mesurable en contexte sportif. Ainsi, ce mémoire s'intéresse davantage aux effets du temps de réaction sur l'entièreté de l'intégration sensori-motrice.

Spécificité du temps de réaction chez les athlètes

Le temps de réaction est considéré comme la mesure classique de l'efficacité d'un individu à performer des aptitudes sportives (Magill et Anderson, 2014). Il est important de prendre en considération qu'il existe des différences sur le plan cognitif entre les gens en bonne condition physique et les athlètes. La pertinence de la fonction cognitive pour la performance sportive est étayée par des preuves convaincantes rapportées dans une méta-

analyse de 20 études montrant que les athlètes surpassent les non-athlètes en termes de vitesse de traitement de l'information et d'attention (Voss et al., 2010). Une méta-analyse plus récente regroupant les résultats de 19 études a confirmé ce résultat (Scharfen et Memmert, 2019). Les auteurs ont rapporté une corrélation positive significative ($r = 0,22$) entre la performance dans les tests cognitifs (par exemple la fonction exécutive ou la perception visuelle) et le fait d'être un athlète de niveau élite.

Par contre, ces deux revues systématiques ont utilisé une approche dite "approche des compétences à composante cognitive" plutôt qu'une approche par "expertise de performance". Afin de bien comprendre la différence de ces deux approches, Elles seront présentées dans un exemple. L'approche par compétences des composantes cognitives étudie la relation entre les mesures de base des capacités cognitives et l'expertise sportive (Nougier et al., 1992; Starkes et Ericsson, 2003). Un exemple de test utilisant cette approche pourrait prendre la forme de cliquer avec une souris d'ordinateur lorsqu'un "X" apparaît à l'écran et comparer les résultats de ce test entre une équipe de soccer de niveau amateur et une équipe professionnelle. Pour ce qui est de l'approche de l'expertise de performance, elle étudie l'athlète dans le cadre d'un sport spécifique, ou un contexte écologiquement valide (Mann et al., 2007; Starkes et Ericsson, 2003). Pour cette approche, le test pourrait prendre la forme d'un exercice de passe entre un joueur et trois options de passe. Désigné par un témoin lumineux aléatoire, le passeur doit envoyer le ballon le plus rapidement possible au joueur ciblé par la lumière.

Une étude de Farrow et ses collaborateurs (2005) illustre bien l'approche par expertise de performance. Les résultats de cette recherche démontrent que le temps de réaction des joueurs de netball de haut niveau était plus court que celui des joueurs de niveau intermédiaire lors d'une tâche de temps de réaction visuomoteur d'une vidéo d'un joueur de netball qui lançait un ballon à gauche ou à droite. De plus, le temps de réaction des joueurs

de niveau intermédiaire était plus court que celui des joueurs d'un niveau plus faible. Ces résultats démontrent bien le lien entre le niveau de jeu et la nécessité d'un temps de réaction qui s'accorde à ce niveau de jeu. La conclusion de cette étude était que le temps de traitement de l'information était différent du temps de réponse pour ce test. Toutefois, ce n'est pas toutes les études qui montrent la différence de temps de réaction visuo-moteur entre les experts et les novices. Starkes (1987) a documenté que des joueurs de hockey sur gazon de niveau international avaient des résultats similaires aux joueurs de niveau intermédiaire et même que des individus qui ne pratiquent pas ce sport. Ces résultats qui semblent contredire l'étude précédente sont basés sur le fait que le type de test influence grandement les résultats. Dans l'étude de Starkes (1987) le test était de lever l'index comme réponse au stimulus présenté. Ce test se catégorise par une approche des compétences à composante cognitive. Puisque cette action est très simple, donc une demande minimale en coordination et en traitement de l'information, cela ne permettait pas aux joueurs de haut niveau de mettre en pratique leurs qualités sportives. Vickers (2002) a donc proposé que les tests de temps de réaction visuo-moteur doivent représenter un défi au niveau de la coordination pour être représentatifs des populations étudiées. C'est ce que les tests avec une approche par expertise de performance apportent. Cela explique que la corrélation, quoi que significative de ($r=0,22$) mentionnée dans le paragraphe précédent, soit faible entre les athlètes et non-athlètes si la tâche n'est pas spécifique au sport pratiqué, et donc, de leur expertise. Afin d'être le plus spécifique à chaque sport, les tests devraient être élaborés selon un sport en particulier. Le nouveau test que propose ce mémoire pourrait être suffisamment spécifique pour les sports nécessitant des déplacements multidirectionnels rapides comme le soccer ou le badminton (Falch, Rædergård et van den Tillaar, 2019).

Différences des résultats chez les athlètes selon le test employé

Les athlètes, en plus d'être généralement en bonne condition physique, possèdent des qualités et des compétences propres à leur sport, ce qui peut influencer le résultat qu'ils peuvent obtenir à un test donné. En ce qui concerne le temps de réaction prémoteur, Ferreira (2003) a recommandé d'identifier la différence entre les habiletés visuelles, comme la qualité de la vue, et la programmation du système visuel qui reflète l'aptitude à reconnaître et traiter les informations en contexte sportif. Williams (2002) affirme que l'avantage visuel des athlètes experts en comparaison des athlètes de niveau plus faible, est en lien avec les modèles de reconnaissance, les stratégies de recherche visuelles et la capacité à anticiper des indices visuels spécifiques à une situation précise comme les mouvements d'un adversaire ou l'effet d'une balle dans les airs. Il faut toutefois comprendre que lors de l'évaluation du temps de réaction d'un athlète, en contexte sportif, cette capacité anticipatoire pourrait fausser les données. Si l'athlète anticipe la réaction attendue, il n'a pas nécessairement un temps de réaction plus rapide, il a simplement débuté le traitement de l'information plus tôt qu'un joueur de niveau plus faible l'aurait fait. Lors d'une tâche qui ne peut pas être anticipée, mais demandant une réponse motrice complexe, le temps de réaction et son interaction avec le temps de réponse motrice sont réellement évalués (Nuri et al., 2013).

Dans l'étude de Davranche et ses collaborateurs (2006), plus les joueurs de baseball étaient expérimentés, plus court était leur temps de réaction à une tâche spécifique au baseball. Il est important de spécifier que les trois parties du temps de réaction sont évaluées dans une tâche comme celle de frapper une balle lancée par un lanceur au baseball. Vickers (2007) a réussi à montrer que des frappeurs élités pouvaient montrer des résultats variant dans différentes parties du temps de réponse total, mais tout de même accomplir la tâche avec succès. Les résultats des études présentées plus haut sont appuyés par une récente revue de la littérature sur les capacités visuelles et les modèles de perception visuomoteur entre des

athlètes professionnels et non professionnels. Elle présente les mêmes directions que les études mentionnées (Presta, Vitale, Ambrosini et Gobbi, 2021). Cette différence individuelle pouvait prendre par exemple la forme d'un temps de réaction visuel/traitement plus lent, mais une réponse motrice plus rapide. Cette information a été prise en compte dans la réalisation et la conception du test issu de ce mémoire. Par la capacité du test à mesurer de façon distincte le temps de réaction et la réponse motrice, il est possible d'évaluer toutes les composantes séparément d'une réponse réactive et motrice qui se veut être plus valide écologiquement à une situation sportive.

Williams et ses collaborateurs (2002) ont mis l'accent sur le fait que l'expertise ne serait pas autant dépendante de l'opérationnalisation du système visuel autant qu'elle est dépendante des années de pratique délibérées et orientées qui permettent aux experts de développer des connaissances hautement spécifiques à leur sport. Cette connaissance complexe est la clé des capacités supérieures des athlètes de haut niveau à reconnaître, orienter et traiter l'information pertinente et ainsi produire une réponse motrice la plus appropriée pour une performance optimale (Paterson, 2010). Selon Ripoll et ses collaborateurs (1995), le modèle de recherche visuelle des experts montre une efficacité supérieure que les non-experts. En effet, les différences les plus importantes sont au niveau du nombre de fixation visuelle moindre ainsi que leur durée. Le modèle de recherche visuelle des experts n'est pas mené de façon aléatoire, mais plutôt orienté par des stratégies de recherches perceptuelles basées sur leurs connaissances cognitives en tant qu'expert dans un sport (Williams et Elliot, 1999). D'autres études, comme celle de Ripoll (1989), identifient un élément critique dans la différence expert/novice. Cet élément est la capacité d'anticiper et d'utiliser les habiletés des experts à percevoir les indices visuels de façon à pouvoir accélérer leur réaction et le temps de prise de décision.

Sheppard et Young (2006) ont trouvé qu'un groupe de joueurs de football australien de haut niveau montraient des résultats légèrement inférieurs lors d'un test de sprint de 10 mètres comparativement à un groupe de niveau plus faible. Par contre, le groupe de haut niveau montrait une exécution plus rapide lors d'un test d'agilité réactif, donc ne pouvant pas être anticipé. Les auteurs ont conclu que les deux groupes présentaient des capacités motrices semblables, mais qu'il existait une différence au niveau de la vitesse de la performance lorsqu'un traitement de l'information, donc d'un temps de réaction en lien avec le sport qu'ils pratiquent, était nécessaire. Il existe un lien important entre le temps de réaction et l'agilité étant donné que, malgré une définition qui est encore débattue à ce jour, l'agilité renvoie au concept de bouger son corps rapidement en réaction à un stimulus et non pas seulement exécuter un changement de direction à un endroit désigné à l'avance par un cône par exemple (Sheppard et Young, 2006).

Tests de temps de réaction existant pour les athlètes

Il est possible de classer les tests utilisés dans le cadre des travaux de recherche de ce mémoire en trois catégories. Tous ces tests mesurent les trois composantes du temps de réaction, mais c'est principalement le temps de réponse motrice qui varie entre les résultats de chaque test. La première catégorie comprend les tests informatisés qui sont les plus utilisés dans le milieu sportif. Ces tests mesurent uniquement les capacités cognitives et le temps de réaction avec un minimum de composante motrice. La deuxième catégorie comprend les tests visuomoteurs. Ces tests sont très variables dans leur exécution, mais possèdent sensiblement le même fonctionnement, soit de présenter un stimulus visuel au participant et celui-ci doit réagir par une réponse motrice simple. La troisième et dernière catégorie inclut des tests qui sont faits sans appareil complexe ou fixe. Ce sont des tests qui peuvent facilement être réalisés sur les lignes de touche pour évaluer rapidement un athlète lors d'un match par exemple.

Tests de temps de réaction informatisés

Depuis 1990, le test le plus répandu pour l'évaluation neurocognitive, et donc, du temps de réaction chez les athlètes est le *Immediate post-concussion assessment and cognitive testing* (ImPACT) (Maroon et al., 2000). Un sondage réalisé auprès des entraîneurs sportifs de la *National Collegiate Athletic Association* (NCAA) aux États-Unis a montré que 90% d'entre eux utilisent les tests neurocognitifs pour l'évaluation des commotions cérébrales (Covassin, Elbin et Stiller-Ostrowski, 2009). D'autre part, les tests neurocognitifs présaison sont obligatoires dans la Ligue Nationale de Football (LNF) et la Ligue Nationale de Hockey (LNH). Il existe d'autres tests informatisés que l'ImPACT qui ont sensiblement le même fonctionnement tel que le *Cogsport*, *Headminder* et *Neurotracker*.

L'ImPACT est un test neurocognitif informatisé qui mesure l'attention, la vitesse de traitement de l'information, le temps de réaction et de réponse, et la mémoire (Maroon et al., 2002). L'ImPACT utilise six modules de test (mot mémoire, mémoire de conception, X et O, correspondance de symboles, correspondance des couleurs et mémoire de trois lettres) pour générer quatre résultats composites. Ces résultats sont la mémoire verbale, la mémoire visuelle, la vitesse de traitement de l'information visuomoteur (temps de réaction prémoteur et moteur) et le temps de réponse moteur.

Il faut spécifier que le test ImPACT a été conçu pour évaluer de grands déficits cognitifs associés aux commotions cérébrales et non pour l'augmentation plus subtile du temps de réaction due à des impacts répétés à la tête et de plus petites importances comme dans la majorité des sports de contacts. Étant fait à l'ordinateur, le temps de réaction obtenu avec cet outil comporte très peu de temps de réponse motrice, ce qui offre une évaluation précise du temps de traitement de l'information sans être influencé par le temps de réponse motrice.

Dans une revue de la littérature, six études ont rapporté des résultats de temps de réaction pré-moteur et de traitement de l'information obtenue avec l'ImPACT (Alsalaheen, Stockdale, Pechumer et Broglio, 2016). La corrélation entre le temps de réaction et la vitesse de traitement de l'information obtenue lors de la passation du test est statistiquement significative dans les six études de façon faible à modérée ($r = 0,24-0,56, p < 0,05$). La probabilité d'obtenir un résultat valide avec l'ImPACT se situe entre 62,5 et 87,5 % (Szabo et al., 2013). D'autre part, une étude a montré que la classification du résultat du test est bonne lorsque comparée intrasujet, mais inadéquate lorsque comparée entre sujets. Puisque trop de facteurs peuvent influencer le temps de réaction chez l'humain, il a été conclu que jusqu'à 54% des résultats au test peuvent être mal classés lors de l'utilisation de valeurs standards selon l'âge, le sexe et le niveau sport pratiqué. Les mêmes participants étaient tous bien classés lorsque comparés à eux-mêmes (Schatz et Robertshaw, 2014).

Certains facteurs pouvant affecter la validité du résultat obtenu avec les tests informatisés ont été identifiés. Par exemple, une étude de Lichtenstein et ses collaborateurs (2014) a montré que les jeunes athlètes de 10-12 ans ont de façon significative une plus grande proportion de résultats de bases invalides, soit de 7% comparativement à 2% chez les athlètes plus âgés (Lichtenstein et al., 2014). Les résultats de bases permettent la comparaison du résultat de l'athlète en début de saison aux résultats obtenus après une blessure par exemple. Ainsi, un trop grand écart peut mettre en lumière certains déficits de l'athlète. Les raisons potentielles de la différence de validité avec les athlètes plus jeunes sont qu'ils peuvent nécessiter plus d'attention et de supervision lors de l'exécution des tâches et peuvent ne pas saisir intellectuellement l'importance et l'utilité des tests de base en raison de leur moins grande maturité. De plus, leurs compétences en lecture peuvent être moins développées (Lichtenstein et al., 2014). Les athlètes avec un trouble déficitaire de l'attention (TDA) ont eux aussi une plus grande proportion de résultats de base invalides, soit de 13,2%

comparativement à 4,1 % pour les athlètes de même équipe sans cette condition (Schatz et al., 2014).

Tests de temps de réaction visuomoteurs

En dehors des tests neurocognitifs informatisés, il existe aussi des tests visuomoteurs qui permettent d'évaluer de façon valide le temps de réaction. Leur fonctionnement diffère principalement par la façon dont les stimulations sont présentées et les réponses motrices attendues. Cependant, les informations concernant la fidélité de bon nombre de ces tests de réaction font défaut. La fidélité test-retest interne des dispositifs de réaction est rarement rapportée dans la littérature, tandis que les études de fiabilité émergentes sur les dispositifs de test de temps de réaction montrent des coefficients de corrélation intraclasse (ICC) inacceptables ($\leq 0,53$) (Eckner et al., 2011; Mercer et al. 2009). Récemment, le dispositif d'entraînement visuomoteur *Dynavision*TM D2 a été validé (Hoffman et al., 2012; Wells et al., 2013).

Le *Dynavision* est un tableau lumineux qui mesure le temps de réaction et qui permet d'entraîner l'intégration sensori-motrice par le système visuel. (Wells et al., 2013). En plus de l'entraînement et de l'évaluation de haute performance, le *Dynavision* est aussi commercialisé comme un standard dans la réadaptation neurologique, cardiaque et neurocognitive. Il évalue également les réactions autant motrices que visuelles, centrales et périphériques, avec la capacité d'intégrer des défis cognitifs grandissants. Le temps de réaction visuel est mesuré par le temps qu'il faut pour identifier le stimulus et initier une réaction. Le temps de réponse moteur est mesuré par le temps qu'il faut pour atteindre un bouton lumineux suivant la réaction visuelle initiale (Wells et al., 2014).

Ce qui différencie *Dynavision* des autres tests neurocognitifs informatisés est la différence de présentation des stimuli et des tâches pouvant être double. Il sollicite l'intégration

sensori-motrice complète et les capacités motrices de mouvements simples des membres supérieurs. Il mesure le temps de réaction visuomoteur qui reflète l'efficacité d'un athlète à traiter l'information rapidement, ce qui est nécessaire dans le sport (Voss et al., 2010). Un bon exemple de double tâche réalisable dans un contexte sportif avec cet appareil est la réalisation du test avec les mains en ayant les pieds sur une planche d'équilibre (Bigsby et al., 2014).

Il existe aussi une autre technologie permettant la mesure du temps de réaction visuomoteur. La technologie *Fitlight* est similaire au *Dynavision* et permet une mesure objective du temps de réaction visuomoteur par le biais de photocellules pouvant détecter le toucher et le mouvement. Elle est pensée de façon à avoir jusqu'à 16 disques de DEL pouvant être fixées individuellement à presque toutes les surfaces. Cette flexibilité dans la disposition des *Fitlights* lumineux permet un grand éventail de tâche physique à accomplir, ce qui n'est pas le cas avec le tableau fixe du *Dynavision*. Elle peut autant être utilisée pour une tâche de temps de réaction simple, par exemple disposé à plat sur une table, que pour une tâche d'agilité et de vitesse comme le 5-10-5 (Verschueren, 2019). Grâce aux *Fitlights*, le test 5-10-5, qui consiste à courir 5 verges d'un côté, faire 10 verges du côté opposé puis revenir au centre, peut être chronométré par secteur et en entier de façon plus précise qu'avec un chronomètre manuel traditionnel (Stewart, Turner et Miller, 2014). Cette possibilité de manipulation permet donc d'introduire des tâches cognitives dans des actions motrices complexes. La relation inhérente de la capacité d'adaptation, d'équilibre et de temps de réaction visuomoteur permet à l'athlète d'exécuter la réponse motrice désirée dans un environnement changeant. Il mesure le temps de réaction, le temps de réponse motrice le tout dans une tâche d'agilité.

Des études ont montré des ICC élevés (ICC; 0,79 – 0,97) dans différentes tâches à complexité variable témoignant ainsi de la fidélité test-retest du *Dynavision* (Klavora,

Gaskovski et Forsyth, 1995; Wells et al., 2013). Le temps de réaction visuelle obtenu avec le *Dynavision* montre une fidélité forte (ICC = 0,84) tandis que la fidélité du temps de réaction motrice est plus modérée (ICC = 0,63) (Wells et al., 2014).

La technologie *Fitlight* s'est avérée être un outil valide lors de l'évaluation d'une tâche cognitive de temps de réaction visuomoteur simultanément à une réponse motrice. Une étude rapporte une bonne validité de construit et une fidélité acceptable ICC = 0,626, $p < 0,05$ avec *Fitlight* (Myers, Toonstra et Cripps, 2022). Une autre étude montre la capacité d'un test de changement de direction réactif avec des *Fitlights* à différencier des joueurs de soccer de niveau universitaire à des étudiants en éducation physique (Rauter et al., 2018). Son utilisation permet aussi de discriminer les performances selon si le participant est un athlète d'élite ou non (van de Water et al., 2017). D'autre part Zurek et ses collaborateurs (2015) ont utilisé la technologie *Fitlight* pour investiguer le temps de réaction simple et complexe chez des joueurs de football ayant subi une chirurgie au genou pour évaluer leur rétablissement. Ils ont pu mettre en évidence des différences significatives entre les groupes. Dans l'étude de Reigal et ses collaborateurs (2019), avec un *Fitlight trainer*, un ICC de 0,92 a été obtenu entre les deux essais du temps de réaction simple et de 0,85 pour le temps de réaction complexe avec un échantillon de 119 participants.

Une étude intéressante de Millikan et ses collaborateurs (2019) a montré que l'ajout d'une composante neurocognitive avec les *Fitlights* à des tests très utilisés et valides comme les *hops tests* pouvait grandement augmenter la valeur écologique du test. Les *hops tests* consistent à sauter sur une jambe de différentes façons, en mesurant la distance et le temps d'exécution (Scinicarelli, Trofenik, Froböse et Wilke, 2021). Leurs résultats de l'étude de Millikan et ses collaborateurs (2019) indiquent que les quatre tests neurocognitifs de saut à une jambe avaient une fidélité de bonne à excellente pour les performances physiques et

cognitives et étaient consistant à travers le temps. Les valeurs des ICC allaient de 0,88 à 0,98 et les alphas de Cronbach allaient de 0,88 à 0,98 indiquant une excellente fiabilité.

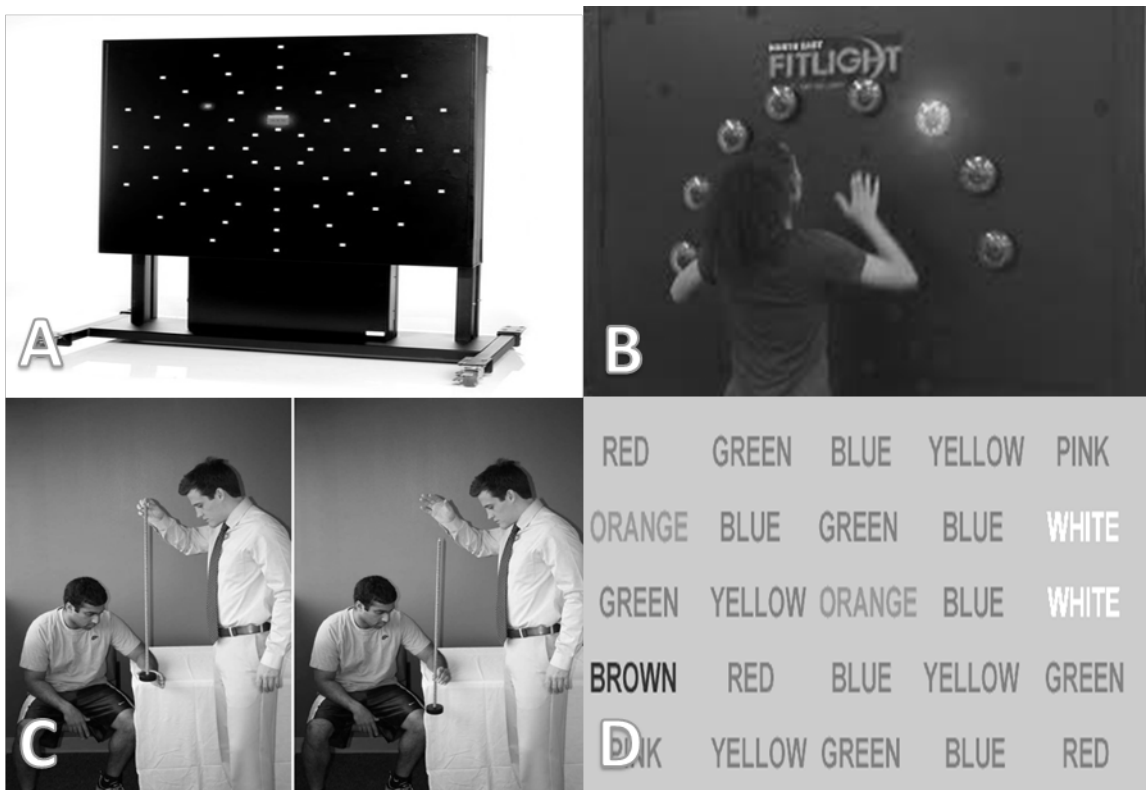
Autres tests de temps de réaction

Il existe d'autres tests qui sont parfois utilisés afin de mesurer le temps de réaction et le traitement de l'information chez les sportifs. Il s'agit du *Stroop test* et du *Ruler drop test*.

Le *Stroop test* est un instrument rapide et utile pour l'évaluation des fonctions cérébrales tels le temps de réaction, la concentration et la flexibilité cognitive (Lezak et al., 2004; Spreen et Strauss, 1998). Il évalue la vitesse de lecture de nom de couleurs qui peuvent être écrites avec une encre qui ne correspond pas au mot. Il évalue aussi les fonctions exécutives du cerveau, demandant au participant d'inhiber une réponse associative apprise pour une réponse contre-intuitive (Mitrushina et al., 1999; Spreen et Strauss, 1998). Depuis sa première apparition, plusieurs versions ont été développées par exemple le *Comalli and Kaplan Stroop* (1962), le *Dodrill Stroop* (1978) et le *Golden Stroop* (1978) (Trenerry, Crosson, DeBoe, et Leber, 1989; Regard, 1981). Mitrushina et ses collaborateurs (1999) ont même détaillés une revue de la littérature à cet effet. Bien que les différentes versions diffèrent de plusieurs façons, le principe de base reste le même (Mitrushina et al., 1999). Le *Stroop test* est particulièrement utile chez une population avec des atteintes neurologiques telles que les traumatismes craniocérébraux (Seignourel et al., 2005), les maladies démyélinisatrice (Jonsson et al., 2006), et les syndromes dégénératifs (Collette et al., 2007).

Un autre test qui peut être utilisé pour mesurer le temps de réaction est le *Ruler drop test*. Malgré le potentiel clair du temps de réaction comme un outil d'évaluation physique et cognitive, il n'est pas encore utilisé par la majorité des cliniciens, car il exige d'avoir à disposition un ordinateur ainsi que le logiciel approprié par exemple CANTAB (Cambridge Cognition Ltd, Cambridge, U.K.) ou *CogState* (CogState Ltd, Melbourne, Australia). Dans

l'optique de créer un test de temps de réaction disponible à tous les cliniciens, le test du temps de réaction clinique ou appelé le *Ruler Drop Test* a été introduit il y a plusieurs années, mais standardisé en 2010 (Eckner et al., 2010). Il suffit d'avoir une règle d'un mètre et un appui fixe pour le participant. Le temps de réaction est défini par la distance entre la chute de la règle et la main du participant qui perçoit le début de la chute de la règle. Avec la distance de la chute établie, une formule mathématique basée sur l'accélération gravitationnelle d'un corps libre ($9,810 \text{ m/s}^2$), le temps de réaction peut être déterminé. La figure 3 met en image les tests mentionnés précédemment.



A= Dynavision D2, modifiée de : <https://www.dynavisioninternational.com/>
 B= Fitlight, modifiée de : <https://www.neurorehabdirectory.com/rehab-products/fitlight-trainer/>
 C= Ruler drop test, modifiée de : <https://www.sidelinesportsdoc.com/a-simple-tool-to-diagnose-concussions/>
 D= Stroop test, modifiée de : <https://faculty.washington.edu/chudler/java/timestc.html>

Figure 3. Représentation des tests de temps de réaction

Concernant la validité des autres tests, plusieurs études sont disponibles sur le sujet. Pour les *Stroop* test avec les mots et celui avec les couleurs, les scores ont démontré une excellente précision de classification des groupes, tandis que pour le couleur-mots, le score a démontré une précision de classification acceptable; aire sous la courbe (ASC) =0.83, 95% intervalle de confiance (IC)=0.77–0.88, ASC = 0.82, CI = 0.76–0.87, ASC = 0.71, CI = 0.64–0.79 respectivement (Lee, Landre et Sweet, 2019). Les corrélations indiquent que chaque type de *Stroop* Test (papier et informatisé) sont bien corrélés entre eux (ICC= >0,800). Elles montrent aussi que le temps de réaction de reconnaissance est corrélé de façon modérée au temps de réaction (ICC=0,569). Ces résultats indiquent que ces deux types de tests utilisent différentes habiletés (Barbarotto et al., 1998). La validité du temps de réaction de ce test dépend de la façon dont il est chronométré. Certaines études utilisent un micro afin d'enregistrer la réponse du participant et ainsi connaître le délai exact entre le début de la tâche et le début de la prononciation (Akhbari, 2015). Les résultats des corrélations de Pearson suggèrent une corrélation moyenne à forte, entre le *Stroop test* papier et sa version informatisée (Basu, 2022).

Des études ont trouvé que le *Ruler Drop Test* était valide à travers le temps et chez des populations distinctes. Dans une population adulte en bonne santé, les fidélités test-retest à court terme et interjuges étaient respectivement de (ICC= 0,860) et (ICC= 0,915) (Eckner et al., 2009). De plus, des corrélations significatives étaient présentes entre les scores de *Ruler Drop Test* et ceux d'une mesure informatisée ($r= 0,570$), ainsi qu'avec l'âge des participants ($r= 0,430$). Une étude de suivi portant sur des athlètes collégiaux a trouvé des fidélités test-retest pour les scores du Ruler Drop Test de (ICC= 0,645) sur un intervalle de retest d'un an (Eckner et al., 2010). La validité de l'interprétation du score du *Ruler Drop Test* a été en outre étayée par une deuxième étude sur les athlètes collégiaux, qui a démontré une corrélation significative entre les scores du *Ruler Drop Test* et les scores de temps de

réaction simples obtenus lors de sessions de test *CogState-Sport* valides ($r = 0,445$) (Eckner, Kutcher et Richardson, 2010). De plus, les résultats du *Ruler Drop Test* sont fortement corrélés avec le temps nécessaire pour effectuer une tâche fonctionnelle de protection de la tête ($r = 0,725$) (Eckner et al., 2011). D'autres études en sont arrivées aux mêmes conclusions. Le *Ruler Drop Test* avait une excellente fidélité test-retest (ICC= 0,860; $p= 0,004$) et interévaluateur (ICC= 0,915; $p= 0,001$) chez 10 participants qui ont subi le test. Les résultats de ce test sont positivement corrélés à ceux obtenus avec un test informatisé ($N= 31$; $r =0,570$, $p= 0,001$). La moyenne du Ruler Drop Test est significativement augmentée lors de condition à double tâche par rapport à une condition simple (Eckner et al., 2009).

III. PROBLÉMATIQUE

Puisque les blessures musculosquelettiques au membre inférieur correspondent à une grande proportion des blessures liées à la pratique d'un sport et à son entraînement (Hootman, Dick et Agel, 2007), il serait dans l'intérêt commun de réduire leur incidence. La littérature met en évidence le haut risque de récurrence et la présence persistante de déficits ou de séquelles après une blessure malgré la présence de certains critères de retour au jeu (Doherty et al., 2014). En effet, il a été observé qu'un grand nombre de récurrences de blessures est causé par un retour au jeu précoce (Allen et al., 2016). Considérant que le temps de réaction est affecté par les blessures musculosquelettiques et qu'un temps de réaction ralenti est un prédicteur de blessures (Wilkerson et al., 2012), il serait pertinent d'employer ce paramètre lors de l'évaluation d'un athlète autant avant une blessure qu'après. Cela pourrait prévenir l'apparition de certaines blessures en réduisant le nombre de retour au jeu précoce.

Cependant, très peu de tests standardisés à ce jour évaluent le temps de réaction à l'exception de test assis à un ordinateur. Les tests neurocognitifs typiques évaluent seulement le déficit du temps de réaction, la vitesse de traitement de l'information et la mémoire visuelle et verbale indépendamment. Ces mêmes déficits neurocognitifs influencent le contrôle neuromusculaire du membre inférieur par des changements de l'attention et l'excitation (Griffin et al., 2000). Les réponses motrices affectées par un déficit du contrôle neuromusculaire sont elles aussi évaluées séparément du temps de réaction, et donc du traitement de l'information nécessaire à leur réalisation. C'est pourquoi il serait utile de pouvoir concevoir un test qui évalue autant les capacités neurocognitives que les capacités physiques spécifiques au sport pratiqué. De plus l'utilisation des membres inférieurs pour l'évaluation de ces paramètres serait plus valide écologiquement puisque que la grande majorité des sports sollicitent beaucoup les jambes (Murphy, Connolly et Beynnon, 2003). L'objectif des critères de retour au jeu lors de la réadaptation est de se

rapprocher le plus du niveau pré lésionnel en minimisant les risques de re blessure. Les tests se doivent d'être représentatif des situations rencontrées lors des compétitions et donc, évaluer le plus concrètement possible les capacités de l'athlète (Wikstrom, Mueller et Cain, 2019) et par le fait même réduire les risques de récives.

IV. OBJECTIF

La question de recherche de ce projet consiste à déterminer si l'élaboration d'un nouveau test évaluant la capacité physique axé sur le temps de réaction et le temps de réponse motrice sollicitant principalement les membres inférieurs pourrait être une option valide chez une population d'athlètes universitaires. L'objectif de ce projet de recherche est de mesurer la validité et la fidélité d'un nouveau test. La validation de ce test est basée sur les mêmes principes d'une étude similaire (Duking et al., 2015). L'hypothèse de recherche est que ce nouveau test est valide et fidèle pour mesurer le temps de réaction et de réponse chez une population d'athlètes universitaires.

V. MÉTHODOLOGIE

Cette étude consiste en une étude à devis transversal. Le projet d'intervention a été vérifié et approuvé par le comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'UQTR (CER-19-260-07.08) (Annexe A). Les participants ont été informés des procédures de recherche préalablement à leur participation.

Participants

Dans ce projet d'étude, l'échantillon final de (N=59) participants est composé de 13 joueuses de volleyball, 17 joueurs de soccer, 11 joueuses de soccer, 10 joueurs de badminton et 8 joueuses de badminton. Un total de 59 participants, 27 hommes et 32 femmes (âge= 22,1 années ($\pm 1,7$); taille= 172,5 centimètres (cm) ($\pm 8,3$); poids= 68,9 kilogrammes (kg) ($\pm 10,4$); tour de taille=78,5 cm ($\pm 6,6$) a participé à toute la collecte de données. Huit participants n'ont pas pu participer à la deuxième séance de test dû à une blessure (6), ne faisait plus partie d'une équipe (1) et pour des raisons personnelles (1). La présentation des données démographiques et des informations des participants est présentée dans le tableau 2 dans la section résultats. Les athlètes ont été recrutés sur une base volontaire. Les critères d'inclusion étaient d'être un membre actif d'une équipe des Patriotes de l'UQTR et être disponible pour les séances d'évaluation. Le seul critère d'exclusion était qu'un participant soit incommodé par une blessure pouvant affecter la réalisation des évaluations (traumatisme craniocérébral, blessure musculosquelettique au membre inférieur, etc.). Les données démographiques et anthropométriques ont été récupérées des données prises lors des évaluations de la condition physique et camps d'entraînements de chaque équipe qui ont lieu annuellement en août. Chaque participant était contraint de respecter les entraînements hebdomadaires de son équipe durant la période de l'étude. Les évaluations ont débuté en novembre 2019 et se sont terminées en janvier 2020.

Procédures

Trois tests ont été conduits dans l'ordre suivant; test de temps de réaction visuomoteur des membres supérieurs (TRVMS), test d'agilité (test en forme de T) et test de temps de réaction visuomoteur des membres inférieurs (TRVMI). Les tests ont été ordonnés de façon à réaliser le test le moins complexe au début et le plus complexe à la fin. Ainsi la fatigue autant physique que mentale est mieux contrôlée (Pavelka et al., 2020). D'autre part, dans l'étude de Duking et ses collaborateurs (2015), les tests d'agilité étaient faits avant le nouveau test à valider. Avant la participation aux tests, les participants devaient remplir un questionnaire maison (annexe B) afin de mesurer certains paramètres pouvant affecter la performance aux tests tels que la fatigue, la charge mentale, la consommation de café et d'alcool ainsi que le nombre d'utilisations avec la technologie *Fitlight*. Le niveau de fatigue était rapporté par les participants sur une échelle numérique d'un à dix, un étant pas fatigué et dix étant très fatigué. La charge mentale des participants était rapportée en quatre catégories, soit non préoccupé, peu, moyennement et beaucoup préoccupé. La nature des préoccupations n'était pas prise en compte. Finalement, la consommation d'alcool six heures avant la participation à l'étude devait être déclarée ainsi que la consommation de café une heure avant leur participation. Un échauffement composé de *jumping jacks* d'une durée de deux minutes était aussi réalisé avant le début du premier test. Une période de repos d'une durée minimale d'une minute entre chaque essai de chaque test était prescrite. Les participants exécutaient trois fois chaque test en plus d'un essai de pratique à priori à chaque séance. Deux séances ont été réalisées avec 45 jours d'écart. Selon l'étude de Nguyen et ses collaborateurs (2019), qui avait comme objectif d'évaluer l'effet de pratique et d'apprentissage sur les résultats de temps de réaction visuomoteur d'athlètes universitaires, les résultats revenaient aux valeurs standards après une période de sept jours. Les résultats étaient encore au niveau de base après 60 jours.

Outils de mesures

Le temps de réaction a été mesuré avec la technologie *Fitlight Trainer*© (Fitlights corp., Aurora, Ontario, Canada). Pour le temps de réaction du TRVMI, un microprocesseur Arduino © (Arduino, Massachusetts, Boston, USA) ainsi que des plaques de forces Force Sensing Résistor © (FSR406, Interlink Electronics, Westlake Village, CA, États-Unis) ont été utilisés. Le microprocesseur permettait d'enregistrer les données des plaques de forces sur un ordinateur afin d'identifier quels capteurs avaient été touchés et pendant combien de temps.

Le TRVMS consiste à huit *Fitlights* placées d'une façon standardisée (annexe C). Les *Fitlights* s'illuminent aléatoirement et doivent être désactivées par le toucher de la main le plus rapidement possible durant 30 secondes. Un délai minimal de 0,05 seconde avant l'illumination de la prochaine *Fitlight* était programmé. Le participant est debout devant les *Fitlights* et est libre de son positionnement. Le temps de réaction est calculé selon le temps écoulé entre l'illumination de la *Fitlight* et sa désactivation par le toucher du participant.

Le test en forme de T avait pour but d'évaluer l'agilité et le temps de réponse du participant, en mesurant le temps d'exécution du test (Stewart, Turner et Miller, 2014). Le résultat de ce test a aussi été utilisé pour comparer le temps de réponse du test à la validation de cette étude. Le test en forme de T a été validé par une étude (Stewart, Turner et Miller, 2014). Il consiste à une accélération de cinq mètres vers l'avant, un déplacement latéral de 2,5 mètres vers la gauche, un déplacement latéral de cinq mètres vers la droite, un déplacement latéral de 2,5 mètres vers la gauche pour finalement revenir à reculons à la ligne de départ. Pour cette étude, des *Fitlights* ont été utilisées en guise de cône afin d'obtenir le temps de passage entre chaque portion du test et le temps d'exécution total. Le départ des participants était

établi par le participant lui-même avec le retrait de la main sur une *Fitlight* à la ligne de départ.

Le nouveau test, soit le test de temps de réaction visuomoteur des membres inférieurs (TRVMI) nécessitait deux planches de contreplaqués de 122 x 244 centimètres assemblés ensemble pour former une plateforme de 8 x 8 pieds. Ces planches étaient recouvertes d'un tapis de caoutchouc de ½ pouce d'épaisseur pour former une surface antidérapante et assurer la stabilité des planches de tests. Cinq trous ont été faits dans cet assemblage pour y placer les *Fitlights*. Le test consistait à cinq *Fitlights* insérées dans l'assemblage de bois et positionnées en triangle avec une distance de 6 pieds entre les extrémités gauche et droite et 5 pieds entre les extrémités de la base et du sommet. Le but de ce placement était de forcer les participants à devoir faire des déplacements suffisamment grands, et multidirectionnels pour pouvoir représenter un mouvement lors d'une situation sportive (Bloomfield, Polman et O'Donoghue, 2007). Les deux autres *Fitlights* étaient à mi-distance des extrémités. Le participant devait se déplacer sur les *Fitlights* afin de les désactiver le plus rapidement possible avec les pieds. Les consignes pour le test étaient écrites et lues aux participants de la même façon pour limiter les interprétations possibles (Harvey et Burnett, 2019). Les consignes étaient les suivantes; (1) Placez-vous sur le (X) sur la surface de test. (2) Vous devez taper les *Fitlights* avec un pied à la fois. Vous ne pouvez pas toucher deux *Fitlights* simultanément ni sauter d'une *Fitlight* à l'autre. (3) Vous devez impérativement maintenir votre pied en contact avec la dernière *Fitlight* désactivée jusqu'à tant que la prochaine *Fitlight* soit activée. Une fois celle-ci illuminée, vous pouvez commencer un autre déplacement vers une position neutre ou ladite lumière. (4) Vous devez toujours faire face au mur lors du test (5) Vous devez désactiver 30 *Fitlights* le plus rapidement possible. (6) Le test débutera après que la *Fitlight* de gauche ait passé du rouge, au jaune puis au vert, pour finalement illuminer une des cinq *Fitlights* en bleu, présente sur les planches. (7) La fin du

test sera établie lorsque la dernière *Fitlight* sera désactivée et qu'aucune ne s'illumine à nouveau. Vous ne devez pas toucher aux *Fitlights* éteintes. Sous ces *Fitlights*, des plaques de force ont été utilisées pour déterminer les contacts et calculer les temps de réaction. Le calcul du temps de réaction débutait lorsque le participant plaçait son pied sur une *Fitlight*. De cette façon, il activait le capteur de force et amorçait le début de la mesure du temps de réaction. La prochaine *Fitlight* qui s'illuminait annonçait le prochain déplacement à faire. Une fois que le traitement de l'information et la planification de mouvement pour s'y rendre étaient faits, le participant débutait son déplacement en retirant son pied de la première *Fitlight*, et donc, retirait la pression sur le capteur de force et terminait ainsi la mesure du temps de réaction. Pour le temps de réponse motrice, il était calculé par le temps nécessaire entre la désactivation de deux *Fitlight*. Cette information était obtenue directement avec la tablette *Fitlights*. Les données enregistrées par les capteurs étaient affichées dans l'application ARDUINO. Pour le temps de réponse, le temps entre la désactivation de deux *Fitlights* était utilisé. Ces données étaient automatiquement inscrites dans la tablette *Fitlight*. Le même délai minimal de 0,05 seconde entre l'illumination d'une prochaine lumière était présent. La figure 4 montre un participant exécutant le TRVMI.



X : point de départ du test, O : *Fitlights* au sol

Figure 4. TRVMI

Analyse des données

Pour les résultats d'un essai du TRVMI, soit le temps de réaction des 30 touches et leur temps de réponse associé, les médianes respectives ont été calculées. La médiane a été calculée afin de réduire l'impact des données aberrantes liées à d'autres facteurs que le temps de réaction, comme le niveau d'attention par exemple (Lachaud et Renaud 2011, Yamashita et al., 2021). À la suite des trois essais d'une même séance, la moyenne des trois médianes respectives a été calculée pour former un résultat moyen de temps de réaction ainsi qu'un résultat de temps de réponse pour une séance. La même opération a été répétée pour la deuxième séance. Le même principe a été appliqué aux résultats des 50 touches de temps de réaction du TRVMS enregistrés par la tablette *Fitlight*. Dans le cas du test en forme de T, le résultat du test correspondait au temps d'exécution. Une moyenne des trois essais était ensuite faite pour une même séance puis pour la deuxième séance également. 12 participants sur 59 avaient au moins une donnée manquante pour une des deux séances pour un total de 19 données manquantes qui représentent 0,01 % de l'ensemble des données (1062 résultats). Le retrait des données aberrantes a été fait à partir de ± 3 déviations médianes absolues sur les données brutes pour chaque participant et chaque séance de test (Whelan, 2008). Cela représente 1066 données sur 10620 (10%) pour le temps de réaction du TRVMI, 924 données sur 10620 (8,6%) pour le temps de réponse du TRVMI et 1520 données sur 17700 (8,6%) pour le TRVMS. Aucune donnée n'a été retirée pour le test en forme de T. Un résumé des données obtenues par les outils de mesure du présent projet est présenté au tableau 1.

Tableau 1. Résumé des données obtenues par les outils de mesure

Outils	Variables
Questionnaire préparticipation	<ul style="list-style-type: none">- Niveau de fatigue (1 à 10)- Consommation de café et d'alcool (oui ou non)- Charge mentale (0 à 3, soit aucunement, un peu, moyennement et beaucoup)- Nombre d'utilisation <i>Fitlights</i>
Test de temps de réaction visuomoteur des membres supérieurs (TRVMS)	<ul style="list-style-type: none">- Temps de réaction en millisecondes
Test de temps de réaction visuomoteur des membres inférieurs (TRVMI)	<ul style="list-style-type: none">- Temps de réaction en millisecondes- Temps de réponse en millisecondes
Test en forme de T	<ul style="list-style-type: none">- Temps de réponse en millisecondes

Analyses statistiques

Toutes les données ont été, dans un premier temps, comptabilisées sur un tableur Excel © (version 2019, Microsoft USA) puis transférées dans le logiciel SPSS (version 27; SPSS Inc., Chicago, IL., USA). Les statistiques descriptives (médiane, moyennes maximum et minimum et écart type) des données démographiques des participants (âge, taille, poids, circonférence de taille) et des résultats du questionnaire (fatigue, charge mentale, consommation de café et d'alcool et le nombre d'utilisations *Fitlights*) ont été calculées afin de caractériser l'échantillon de participants à l'étude. Ensuite, un test de Shapiro Wilk a été effectué sur chaque variable dépendante pour connaître si la distribution des données suivait une loi normale. Des tests d'analyse de la variance (ANOVA) à un facteur ont été réalisés entre les résultats de la séance 1 et 2 du questionnaire de préparticipation afin de déterminer une différence significative de certains paramètres pouvant affecter le temps de réaction. L'homogénéité des variances entre les séances 1 et 2 des tests de cette étude a été déterminée par un test de Fisher. La validité du test a été mesurée par une corrélation de Pearson entre les résultats de temps de réaction du TRVMI et du TRVMS. Étant donné la présence de temps de réponse dans le résultat de temps de réaction du TRVMS, une corrélation de Pearson a également été faite entre le temps de réponse du TRVMI et le TRVMS. La validité a également été mesurée par une corrélation de Pearson entre les résultats de temps de réponse du TRVMI et les résultats du test en forme de T (Schober, Boer et Schwarte, 2018). Une corrélation inférieure à $(r=0,3)$ est très faible, entre $(r=0,3)$ et $(r=0,5)$ faible, entre $(r=0,5)$ et $(r=0,7)$ modérée et plus grande que $(r=0,7)$ forte (Moore, Notz et Flinger, 2013). La variabilité des résultats a été mesurée pour tous les tests à l'aide du coefficient de variation entre les résultats des deux séances d'un même test. Ce coefficient de variation correspond à la somme des rapports entre l'écart-type et la moyenne (Reed, Lynn et Meade, 2003). L'erreur type de mesure (ETM) a également été mesurée afin

d'obtenir une mesure de fiabilité de la stabilité de la réponse, estimant l'erreur standard dans un ensemble de scores répétés (Portney et Watkins, 2015). Elle a été calculée selon l'écart type des essais d'un même test entre la séance 1 et 2 puis divisée par la racine carrée du nombre d'observations moins un. Plus grande est l'erreur type de mesure, moins bonne est la validité du test. Les intervalles de confiance (IC) ont aussi été établis autour des résultats obtenus aux tests à l'intérieur duquel le "vrai score" a une probabilité de 95% de se trouver (Everitt, 2003). Ils sont obtenus par la différence de moyenne (DM) $\pm 1,96$ multiplié par l'erreur type de mesure (ETM). D'autre part, les données de temps de réaction du TRVMI et du TRVMS ont été placées dans un graphique de Bland et Altman afin d'en apprécier la distribution à l'intérieur des limites d'accords (LD) de 95% établies par la différence des moyennes (DM) ± 2 écarts types (ET) (Portney et Watkins, 2015). La fidélité absolue entre les différents essais d'un même test lors d'une même séance a été adressée par la corrélation intraclasse (ICC) de type mixte bidirectionnel pour connaître l'homogénéité des résultats d'une même séance (Koo et Li, 2016). Un ICC inférieur à 0,40 reflète une mauvaise fiabilité, entre 0,40 et 0,75 passable à bonne et au-dessus de 0,75 une excellente fiabilité (Fleiss, 1999). L'évaluation de la fidélité relative a été mesurée par une corrélation de Pearson entre les deux séances de chaque test.

VI. RÉSULTATS

Les résultats de cette étude sont présentés selon l'objectif de recherche. La présentation des données démographiques et des informations des participants est présentée dans le tableau 2. Les tableaux 3 et 4 montrent la valeur de la probabilité du test d'ANOVA, à un seuil de signification de 0,05, de l'existence possible d'une différence significative du niveau de fatigue et du nombre d'utilisation de la technologie *Fitlights* par les participants entre les 2 séances de tests. Une seule différence significative existe entre la séance 1 et 2. C'est celle du nombre d'utilisations *Fitlights* car 32 participants sur 59 n'avaient jamais utilisé cette technologie avec ce projet d'étude. Le tableau 5 présente les statistiques descriptives des résultats des trois tests de l'étude. L'homogénéité des variances a été établie par le test de Fisher (F-test). Toutes les p-value sont supérieures à la limite de 0,05, donc l'homogénéité des variances pour tous les tests entre les séances est confirmée. Selon le test de Shapiro Wilk, toutes les variables suivent une loi normale, car la valeur de la p value est supérieure à l'alpha de 0,05.

Tableau 2 : Données démographiques et résultats du questionnaire préparticipation

Variables	Séance	Moyenne ± Écart type
Taille (cm)	1	1725 ± 8,3
	2	-
Poids (kg)	1	68,9 ± 10,4
	2	-
Tour de taille (cm)	1	78,5 ± 6,6
	2	-
Âge (année)	1	22,1 ± 1,7
	2	-
Niveau de fatigue (1-10)	1	5,1 ± 4,9
	2	4,6 ± 3,4
Nombre d'utilisation Fitights* *32 participants à 0	1	2,9 ± 18,5
	2	5 ± 21,0
Niveau de charge mentale (0,1,2,3 soit aucunement, un peu, Modérément et beaucoup)	1	1,3 ± 0,5
	2	1,3 ± 0,6
n total = 59		

n : Nombre de participants

Tableau 3. ANOVA à un facteur du niveau de fatigue entre la séance 1 et 2.

<i>Groupes</i>	<i>Nombre d'échantillons</i>	<i>Moyenne (Écart type)</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Fatigue			1	1,444	0,232
Séance 1	58	5,172 (4,917)			
Séance 2	48	4,687 (3,496)			

Tableau 4. ANOVA à un facteur du nombre d'utilisations de la technologie *Fitlights* entre la séance 1 et 2.

	<i>Groupes</i>	<i>Nombre d'échantillons</i>	<i>Moyenne (Écart type)</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Fitlights				1	6,324	0,013
	Séance 1	57	2,912 (18,545)			
	Séance 2	58	5,016 (21,052)			

Tableau 5 : Statistique descriptive des résultats des trois tests en millisecondes lors des deux séances.

Test	Séance	Moyenne ± Écart-type	Minimum	Maximum
TRVMS	1	375 ± 32	310	477
	2	361 ± 28	306	440
TRVMI réaction	1	369 ± 74	194	537
	2	367 ± 82	187	607
TRVMI réponse	1	820 ± 93	619	1029
	2	788 ± 100	596	1130
Test en forme de T	1	7382 ± 719	6019	9902
	2	7203 ± 737	6115	10228
		n total = 59		

n : Nombre de participants

Les coefficients de variabilité entre les 2 séances d'un même test ont été calculés. Ils représentaient 1,88% pour le TRVMS, 8,05% pour le temps de réaction du TRVMI, 3,19% pour la réponse du TRVMI et 2,16% pour le test en forme de T.

Validité

La corrélation de Pearson (voir tableau 6) entre le temps de réaction obtenue lors du TRVMI et celui du TRVMS est de $r=0,285$ significative ($p<0,05$). Une corrélation de $r=0,501$ significative ($p<0,01$) est aussi observable entre les résultats du temps de réponse du TRVMI et du test en forme de T.

Tableau 6 : Corrélation de Pearson entre les tests

Tests	TRVMI réaction vs TRVMS	TRVMI réponse vs Test en forme de T	TRVMI réponse vs TRVMS
Coefficient de corrélation	0,285	0,501	0,514
Sig.	0,05	0,01	0,01

Concernant les différences de mesures du temps de réaction entre le TRVMI et le TRVMS, des erreurs types de mesure de l'ordre de 1,8 à 101,8 ms pour le TRVMI et 0,9 à 15,5 ms pour le TRVMS peuvent être observées. Ces résultats sont présentés dans le tableau 7. Le résultat de chaque participant est présenté en annexe dans la version complète du tableau (annexe D).

Tableau 7. Différence des moyennes, erreur type de mesure et les intervalles de confiance du temps de réaction du TRVMI et du TRVMS entre les deux séances

TRVMI	DM	ETM	IC95% limite inférieure	IC95% limite supérieure	TRVMS	DM	ETM	IC95% limite inférieure	IC95% limite supérieure
Moyenne	2	27	-52	54	Moyen	13	6	0,4	25
Écart type	93				Écart	18			
Minimum	5,5	1,8	-409	-372	type Minimu m	-1	0,9	-57	-21
Maximum	-390	101	122	284	Maximu m	76	15	46	106

DM : Différence des moyennes, ETM : Erreur type de mesure, IC : Intervalle de confiance.

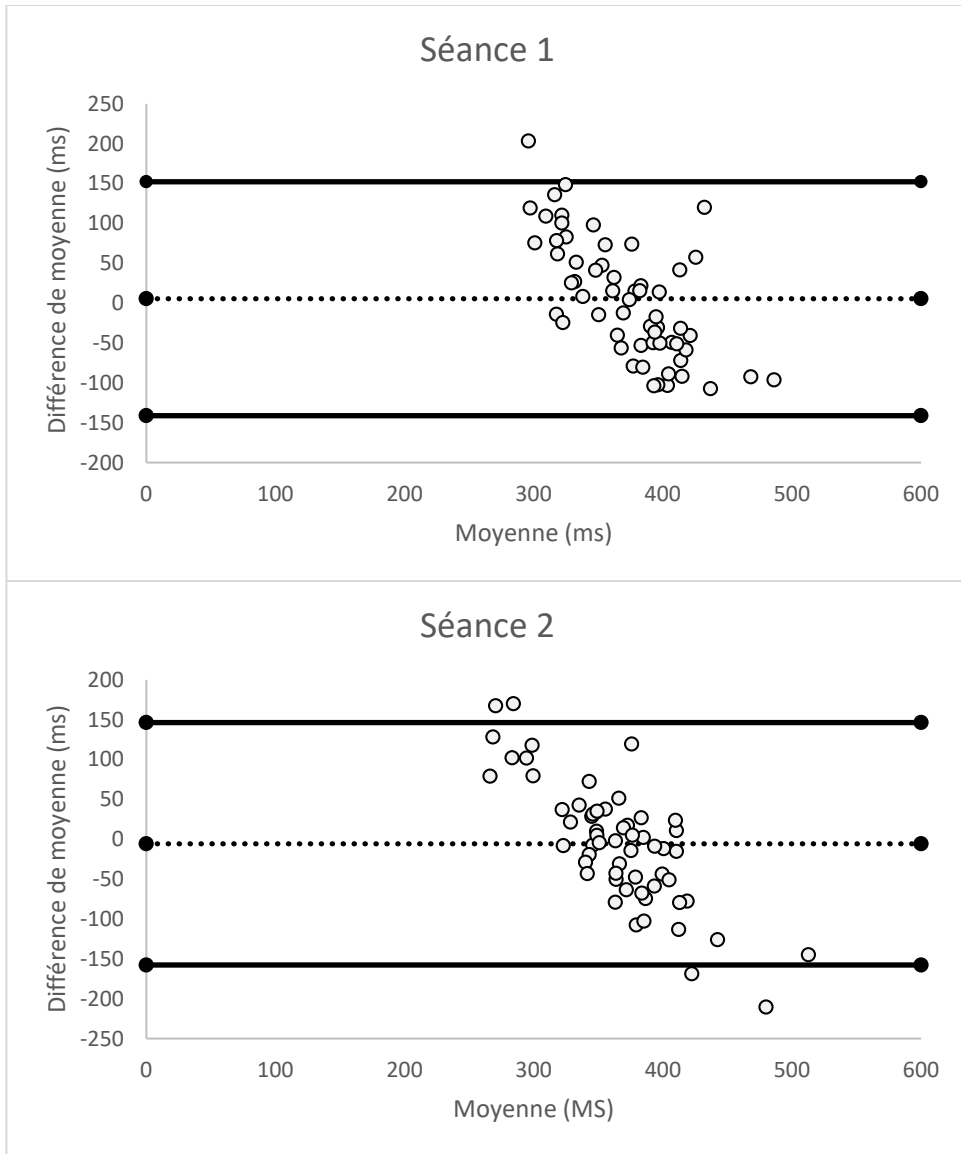
Les limites d'accords entre les résultats de temps de réaction du TRVMI et du TRVMS entre les deux séances de tests sont présentées dans le tableau 8. Le résultat de chaque participant est présenté en annexe dans la version complète du tableau (annexe E).

Tableau 8. Différence des moyennes, écart type et limites d'accord à 95% entre la mesure du temps de réaction du TRVMI et du TRVMS selon les séances.

Séance 1	DM	Écart type	Limite d'accord inférieure	Limite d'accord supérieure	Séance 2	DM	Écart type	Limite d'accord inférieure	Limite d'accord supérieure
Moyenne	5,07	50,9	-94,8	104,9	Moyenne	-6	39,2	-82,4	71,2
Écart type					Écart type				
Minimum	4	11,1	-1	1	Minimum	2	3,8	11,9	0,1
Maximum	203	130,4	-319,5	371,3	Maximum	-	106	-325,1	281,6
						211			

DM : Différence des moyennes

Les diagrammes de Bland et Altman (figure 5) donnent une représentation visuelle de la répartition des données. Les points représentent la différence de moyenne entre la mesure du temps de réaction entre le TRVMI et le TRVMS selon les séances. Les limites d'accord ont été établies selon le score total du groupe (biais \pm (1,96 multiplié par l'écart type). Ils correspondent à une limite inférieure de -141,17 ms et une limite supérieure de 152,3 ms avec un biais de 5,56 ms pour la séance 1. Les limites inférieures et supérieures pour la séance 2 sont de -157,67 et 146,45 ms respectivement avec un biais de -5,61 pour la séance 2.



Les lignes continues représentent les limites d'accord, la ligne pointillée représente la différence moyenne

Figure 5. Diagramme de Bland et Altman de la mesure du temps de réaction entre le TRVMI et le TRVMS en ms selon les deux séances de test.

Fidélité

La mesure des corrélations intraclasse entre chaque essai d'une même séance d'un test est rapportée dans le tableau 9 afin d'établir la fidélité intraséance.

Tableau 9. ICC des tests entre chaque essai d'une séance

Tests	Séance	ICC
TRVMS	1	0,957
	2	0,957
TRVMI réaction	1	0,794
	2	0,908
TRVMI réponse	1	0,905
	2	0,937
Test en forme de T	1	0,858
	2	0,962

ICC : Corrélation intraclasse

La mesure des corrélations de Pearson entre chaque séance d'un même test est rapportée dans le tableau 10 afin d'évaluer la fidélité interséance. Le TRVMS obtient une corrélation significative de ($r=0,827$) au niveau ($p<0,01$). Le temps de réaction du TRVMI obtient ($r=0,285$) au niveau ($p=0,029$), le temps de réponse du TRVMI obtient ($r=0,696$) ($p<0,01$) et finalement le test en forme de T obtient ($r=0,801$) ($p<0,01$). Tous les résultats sont significatifs bilatéralement.

Tableau 10 : Corrélation entre la séance 1 et 2 de chaque test

Tests	ICC	Valeur de p.
TRMVS	0,827	0,001
TRVMI réaction	0,285	0,029
TRVMI réponse	0,696	0,001
Test en forme de T	0,801	0,001

La figure 6 représente la dispersion des résultats de temps de réaction entre le TRVMI et le TRVMS par participant. Les quatre résultats de temps de réaction pour les deux séances de test sont inscrits pour chacun des 59 participants.

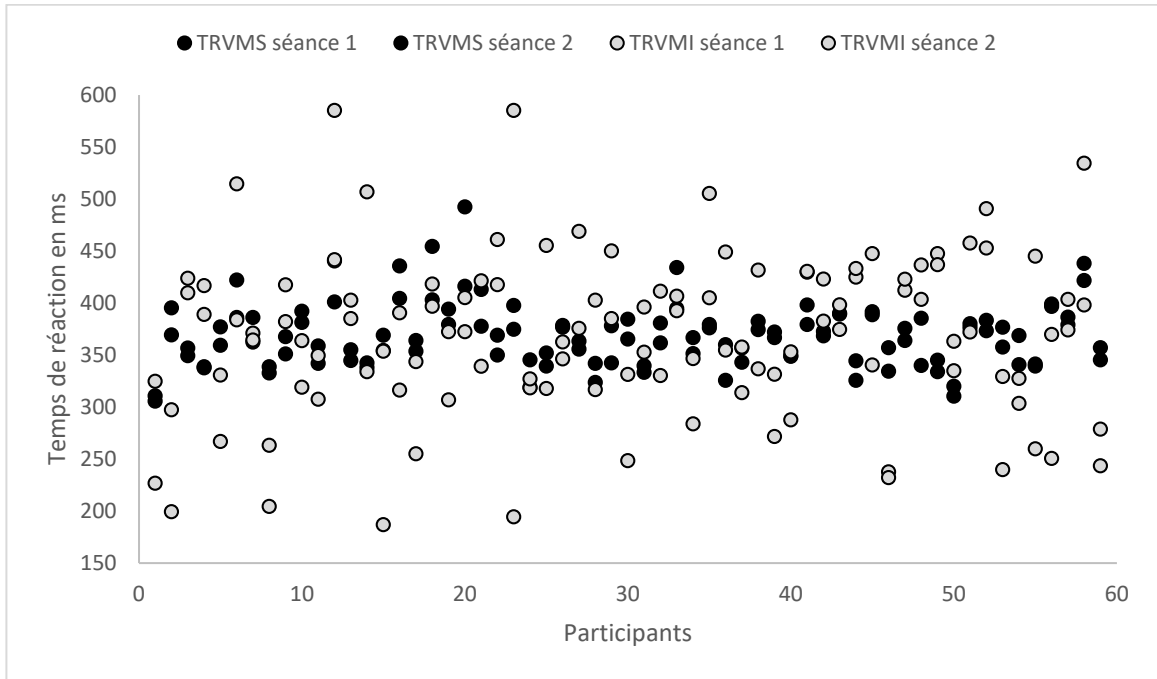


Figure 6. Représentation de la dispersion des résultats de temps de réaction entre le TRVMI et le TRVMS par participant en millisecondes (ms)

VIII. DISCUSSION

L'objectif principal de ce projet de recherche est d'évaluer la validité et la fidélité d'un nouveau test de temps de réaction visuo-moteur des membres inférieurs (TRVMI) chez une population d'athlètes universitaires. La discussion sera séparée en section concernant la validité de la mesure du temps de réaction et de réponse motrice, ainsi que sa fidélité. Les facteurs atténuant les corrélations seront aussi adressés. Finalement, les résultats obtenus dans ce projet de recherche seront comparés à d'autres études connexes sur le temps de réaction ainsi que l'appréciation de la validité écologique du TRVMI.

Validité du TRVMI

D'une part, la validité du TRVMI est établie par la corrélation entre sa mesure du temps de réaction et celle effectuée par le TRVMS. D'une autre part, une corrélation est faite entre les résultats de temps de réponse du TRVMI et ceux du test en forme de T. En résumé, les résultats du projet de recherche montrent une corrélation faible ($r=0,285$) entre le TRVMI et le TRVMS qui est toutefois significative ($p<0,05$). Le résultat de temps de réponse du TRVMI est aussi modérément corrélé ($r=0,501$) de façon significative ($p<0,01$) avec le résultat du test en forme de T. La moyenne du temps de réaction du TRVMI et celle du TRVMS semblent être similaires, soit à 368 ms pour les deux tests. Par contre, les deux tests ne présentent pas les mêmes écarts-types. L'écart type du temps de réaction du TRVMI est au moins le double de celui du TRVMS. Il en est ainsi pour les erreurs types de mesure. Cinq valeurs dépassent les limites d'accord fixées par la méthode de Bland et Altman. Les coefficients de variabilité sont quant à eux de 8,05% pour le temps de réaction du TRVMI, 2,16% pour le temps de réponse du TRVMI, 1,88% pour le TRVMS et 2,16% pour le test en forme de T.

Mesure du temps de réaction

De manière plus spécifique, le temps de réaction obtenu au TRVMI et celui obtenu avec le TRVMS diffèrent sur plusieurs facteurs pouvant contribuer à réduire la force de la corrélation. Le principal facteur est la façon de mesurer le temps de réaction selon le test. Le TRVMS nécessite d'atteindre une cible lorsque celle-ci s'illumine, ce qui ajoute le temps de réponse pour atteindre la cible au temps de réaction. Cela a pour effet d'augmenter la variabilité du résultat de temps de réaction alors que la réponse mesurée n'est plus uniquement le temps de réaction. Toutefois, la majorité des tests de temps de réaction comportent une portion variable de temps de réponse (De Boeck et Jeon, 2019). Dans le temps de réaction du TRVMI, le participant doit retirer son pied de la cible pour mettre fin au calcul de temps de réaction qui avait débuté lors du contact initial. Ceci réduit presque en totalité le temps de réponse dans la mesure du temps de réaction. Par contre, l'étude de Bjorklund (1991) a montré que le temps de réaction augmente lors du mouvement de relâchement d'une touche, alors qu'il y a davantage de temps moteur dans une condition d'appui sur une touche à l'ordinateur. Cela corrobore la présence d'une variabilité inconstante entre les deux tests. Il est ainsi important de bien déterminer le début et la fin du temps de réaction afin d'avoir des résultats comparables entre les tests et que ceux-ci soient d'une complexité égale (Thorpe et Fabre-Thorpe, 2001). Toujours dans le cas du TRVMI, puisque chaque déplacement pouvait être différent, certains déplacements engendraient une arrivée plus complexe sur une cible. À leur tour, chaque arrivée engendrait un traitement de l'information variable selon la réponse motrice suivante attendue, affectant la rapidité et la variabilité du temps de réaction. À ce propos, le résultat de temps de réponse du TRVMI est quant à lui mieux corrélé ($r=0,434$) au TRVMS. Il est possible que si le TRVMI avait été proposé aux participants de la même façon que le TRVMS, soit en ayant comme seule indication de toucher les *Fitlights* le plus rapidement possible, les résultats aient été plus

fortement corrélés. La plus forte corrélation serait due au fait que le résultat de temps de réaction du TRVMI représenterait le temps de désactivation de la lumière, donc du temps de réaction en combinaison au temps de réponse, comme au TRVMS. Les seules différences entre les tests seraient au niveau des grandeurs de surface de test et l'utilisation des pieds plutôt que les mains qui sont des paramètres constants. Somme toute, il en découle que le calcul du temps de réaction au TRVMI par la mesure entre l'arrivée du participant sur la lumière et l'initiation d'un déplacement vers une seconde lumière est sujet à trop de variation, diminuant ainsi sa corrélation au TRVMS. Finalement, l'interprétation des écarts types et de l'erreur type de mesure de ces deux tests reflète bien cette différence de variabilité. Le TRVMI a obtenu un écart type moyen de 78 et une erreur type de mesure moyenne de 27,6 ms en comparaison à un écart type moyen de 30 ms et une erreur type moyenne de mesure de 6,3 ms pour le TRVMS. Les cinq valeurs en dehors des limites d'accord ainsi que la dispersion des données vont dans le même sens. Cela témoigne de la moins bonne capacité du TRVMI, en comparaison au TRVMS d'obtenir un résultat stable et précis. En comparaison, une étude mesurant le temps de réaction chez des athlètes avant et après une commotion cérébrale a montré une diminution du résultat du *Ruler drop test* moyen de 26 ms dans les 48 à 72 heures suivantes ($p < .001$) (Del Rossi, 2017). Le ralentissement du temps de réaction après sept jours était de 18 ms et 9 ms après 10 jours. Par conséquent, le TRVMI ne serait pas en mesure de distinguer ce degré de changement avec suffisamment de précision, ce qui diminue grandement sa validité. D'autre part, les limites d'accord établies avec la méthode de Bland et Altman montrent la quasi-totalité des données à l'intérieur des limites. Par contre, la grandeur des limites, soit de +/- 150 ms, représente près de la moitié de la résultat moyenne du TRVMI. Elles sont donc trop importante pour déterminer avec suffisamment de précision le temps de réaction avec le TRVMI.

Il est possible d'attribuer une part de la plus grande variabilité du TRVMI à l'ordre de réalisation des tests par les participants. En effet, puisque le TRVMI était réalisé en dernier, les participants étaient plus fatigués qu'au TRVMS par exemple. Il a été montré que la fatigue autant mentale que physique occasionne un ralentissement du temps de réaction. L'étude de Pavelka et ses collaborateurs (2020), fait auprès d'athlètes, a montré une augmentation du temps de réaction de 1,5% en plus d'une augmentation de 14,7% de la variabilité de celui-ci lors d'une tâche de temps de réaction visuelle simple après avoir effectué un test d'effort physique. La variation principale du résultat de temps de réaction du TRVMI est probablement due au non-respect des consignes de test par les participants, qui seront abordés dans le paragraphe suivant.

Respect des consignes

Le plus grand facteur de variabilité du TRVMI est le respect de ses consignes. Puisque le TRVMS ne permet pas d'anticiper le mouvement suivant, il est presque impossible de tricher. Pour ce qui est du TRVMI, le respect de la consigne #3 (vous devez impérativement maintenir votre pied en contact avec la dernière *Fitlight* désactivée jusqu'à tant que la prochaine *Fitlight* soit activée) dépend uniquement du participant. Lors de la passation des tests, certains participants enfreignaient cette consigne en appuyant sur la cible et en ramenant immédiatement le pied à une position centrale. Cela pouvait donc grandement réduire le calcul du temps de réaction et améliorer leur temps de réponse à la cible suivante. Par souci méthodologique et d'uniformité, les consignes étaient répétées aux participants fautifs, mais aucune autre forme de pratique ou d'explication ne pouvait être permise. Afin de rapporter de façon objective cette pratique, le résultat de la dernière cible a été utilisé. Lors de la désactivation de la cible finale, aucune autre lumière ne s'illumine, ce qui force le participant à attendre en vain une prochaine lumière et par le fait même, augmente la mesure de son dernier temps de réaction grandement au-dessus de sa moyenne. Dans le cas des

athlètes n'ayant pas respecté la consigne, le résultat de leur dernière cible était inférieur à leur moyenne. Onze participants lors de la séance un, et 9 lors de la séance deux ont été identifiés. Le retrait de ces participants dans l'analyse de la corrélation du temps de réaction entre le TRVMI et le TRVMS a été effectué. Malgré leur retrait, aucune différence significative a été observée à la valeur de la corrélation ($r=0,285$ vs $r=0,264$). Ces participants ont donc été maintenus dans toutes les analyses statistiques. Le respect des consignes demeure une limite à cette étude.

Recherche visuelle

Il existe une autre explication possible pour la faible corrélation entre les deux tests de temps de réaction de ce présent projet de recherche. La recherche visuelle lors du TRVMI est plus grande qu'au TRVMS dû aux déplacements multidirectionnels du corps et donc de la nécessité de déplacer la tête pour garder le regard sur les *Fitlights*. De plus, la superficie de la surface de test est plus grande au TRVMI (5 pieds de haut par 6 pieds de large) comparativement au TRVMS (20 pouces de haut par 40 pouces de large). La vision périphérique et la proprioception nécessaire à l'équilibre postural deviennent donc un enjeu lors du TRVMI. Ces facteurs contribuent à augmenter la variabilité du traitement de l'information, car chaque cible est de complexité différente étant donné les arrivées et les départs qui changent vis-à-vis des *Fitlights*. Cela vient augmenter le temps de réaction de façon inconstante (Grobbel et al., 2016; Nakashima et Shioiri, 2014). Ensuite, le TRVMS utilise davantage de mouvement oculaire de type saccadé, alors que le TRVMI demande une adaptation vestibulo-oculaire avant d'effectuer la saccade visuelle nécessaire pour le repérage de la cible (Purves, Augustine, Fitzpatrick et al., 2001). Cela a pour effet d'augmenter la difficulté de réalisation du TRVMI comparativement au TRVMS de par un traitement de l'information plus complexe, plus long et plus variable. Une étude montre que l'utilisation principale de la vision centrale engendre un impact négatif sur l'initiation de

réponse motrice anticipatoire dans un test de temps de réaction (Padula, Munitz et Magrun, 2012). Tous ces facteurs peuvent contribuer à réduire la corrélation entre les deux tests de temps de réaction de cette étude.

Mesure du temps de réponse

Le temps de réponse obtenue par le TRVMI est modérément corrélé avec le test en forme de T ($r=0,501$). L'effet de triche mentionné plus haut est toutefois encore présent, mais son impact sur le temps de réponse est moins important que dans le cas du temps de réaction. En effet, puisqu'il permet un placement légèrement avantageux tout en respectant quand même la façon de mesurer le temps de réponse, le temps nécessaire au participant pour atteindre la prochaine cible est encore mesuré de la même façon. Le choix d'utiliser le test en forme de T pour mesurer la capacité de réponse motrice était basé sur son aspect multidirectionnel qui est similaire au TRVMI (Pauole et al., 2000). Par contre, l'effet imprévisible du TRVMI est absent dans le test en forme de T. En effet, le test en forme de T est une tâche à rythme autodéterminée, puisque le participant peut choisir à quel moment il souhaite amorcer le test en plus de connaître avant le début du test l'ordre des mouvements exigés. En comparaison, le temps de réponse au TRVMI est à rythme imposé, car le participant doit réagir à l'illumination des lumières. Sheppard et Young (2006) ont démontré qu'un groupe de joueur de football australien de haut niveau obtenait un résultat légèrement inférieur lors d'un test de sprint de 10m comparativement à un groupe de niveau plus faible. Par contre, le groupe de haut niveau montrait une augmentation significative de la performance lors d'un test d'agilité réactif, donc ne pouvant pas être anticipé. Les auteurs ont conclu que les deux groupes présentaient des capacités motrices semblables, mais qu'il existait une différence au niveau de la vitesse de la performance lorsqu'un temps de réaction et donc un traitement de l'information étaient nécessaires. Cela permettrait d'expliquer partiellement la perte de force de corrélation entre les temps de réponse au TRVMI et du test en forme de T, car aucun

traitement de l'information concernant la direction suivante à prendre n'est nécessaire à la réalisation du test en forme de T. Si un temps de traitement de l'information concernant la direction suivante à prendre est nécessaire, le temps de réponse devient ainsi variable, car celui-ci dépend notamment de la complexité de la réponse attendue. Cela a aussi pour effet d'augmenter le temps d'exécution et la variabilité du résultat pour les tâches réactives comme le TRVMI (Millikan et al., 2019). Puisque la façon de mesurer le temps de réponse du TRVMI incluait le temps de réaction contrairement au test en forme de T, il est possible que cette réalité diminue la corrélation entre les deux. Puisque c'était une des intentions du TRVMI, de pouvoir observer les interactions entre le temps de réaction et de réponse dans un même test, la corrélation de 0,501 avec le Test en forme de T exprime bien une bonne validité de la mesure des capacités motrices des athlètes malgré les différences entre les tests.

Comparaison des résultats obtenus avec le TRVMI

Les résultats obtenus dans ce projet de recherche avec le TRVMI seront comparés avec d'autres données d'études sur le temps de réaction pour en apprécier la valeur. Au TRVMI, les participants obtiennent une moyenne totale de 368 ms pour le temps de réaction et 802 ms pour le temps de réponse. Dans une autre étude portant sur le temps de réaction chez des athlètes, des moyennes de temps de réaction de 529 ms et de 572 ms pour le temps de réponse ont été observées lors d'une tâche de temps de réaction visuomoteur complexe avec les pieds similaire à celle de ce projet (Spiteri et al., 2013). Toutefois, il n'y avait que deux possibilités de direction de mouvement dans cette étude, et le déplacement devait se faire sur une jambe. Cela occasionne donc un temps de réaction moteur plus long. Dans une autre étude de type méta-analyse sur le temps de réaction avec les mains comptabilisant les résultats de 1 222 participants, la moyenne du temps de réaction était de 260 ms pour la tranche d'âge de 20 à 55 ans lors d'une tâche de temps de réaction simple informatisée

(Fondarai et al., 2009). Des résultats similaires, mais plus proches de ceux obtenus dans ce projet de recherche ont été observés dans une étude effectuée auprès de chirurgiens. Ces derniers ont obtenu des temps de réaction moyens de $328,7 \pm 48,7$ ms avec les pieds vs $318,2 \pm 51,1$ ms avec les mains (Pfister et al., 2014). Cette étude comportait toutefois une tâche de temps de réaction simple. Ces études montrent bien la difficulté à comparer les résultats de différentes études sur le temps de réaction et de réponse entre elles, car chaque différence méthodologique peut modifier le résultat. La meilleure étude à des fins de comparaison est celle du *Speedcourt* (Bartels et al., 2016). Le *Speedcourt* est une surface de 10 mètres par 10 mètres composée de 12 capteurs de pression sous des cibles identifiées par marquage au sol et le choix de la cible est présenté à l'avant sur une télévision de 65 pouces. Les auteurs de cette étude ont obtenu des résultats de 306 ms pour le temps de réaction complexe de retrait des pieds chez une population sportive (Bartels et al., 2016). Il est donc raisonnable de croire que due à la complexité du TRVMI, les résultats de temps de réaction et de réponse obtenus avec celui-ci semblent être dans un écart similaire aux autres études précédemment mentionnées.

Validité écologie du TRVMI

La validité écologique est une considération vitale pour les praticiens qui font la prescription d'entraînement pour reproduire les exigences physiologiques, neurocognitives, techniques, tactiques et psychologiques faisant partie intégrante de leur sport (Schmuckler, 2001). Le type de déplacements effectués pendant le TRVMI est omniprésent dans le sport, ce qui le rend un test plus écologique que les tests d'agilité de type rectiligne comme le 5-10-5 par exemple (Zemkova et Hamar, 2018). Par contre, malgré la tentative de le rendre le plus représentatif possible d'une performance sportive, un aspect reste limité. En effet, la gestion des forces inertielles dues au déplacement à grande vitesse qui est possible de retrouver dans le test en forme de T n'est pas présente dans le TRVMI. Malgré les déplacements rapides

qu'exige le TRVMI, ceux-ci se font sur une petite surface comparativement à un terrain sportif. Des surfaces plus représentatives existent, comme le *Speedcourt system*, mais celles-ci sont fixes à un endroit et très coûteuses, ce qui n'est pas accessible à tous les professionnels de la santé et du sport (Achenbach et al., 2019). Or, l'intention de cette étude était notamment de proposer une option accessible et qui répondait au manque de test écologiquement représentatif des sportifs. Puisqu'il faudrait développer un test pour chaque sport afin d'obtenir la meilleure validité écologique possible, le test de cette étude ne peut pas être spécifique pour chacun d'eux. À titre d'exemple, l'étude de Frederick et ses collaborateurs (2014) a permis de déterminer les exigences physiques du badminton. On y retrouve principalement des mouvements rapides et multidirectionnels, mais qui demandent de revenir au centre du terrain à chaque fois. Cela est très similaire aux exigences physiques du TRVMI. Dans le cas du soccer, Shanmugiah, Vigneshwaran, Velu et Suriya (2021) rapportent des exigences physiques partiellement similaires à ceux du TRVMI lors de batailles pour le ballon nécessitant un déplacement des pieds rapides en plus de déplacements multidirectionnels. Finalement, le TRVMI apporte un aspect réactif comparativement aux tests évaluant uniquement les capacités de déplacements des athlètes, comme le Test en forme de T par exemple. Cela le rapproche d'avantage d'une situation sportive réelle. (Millikan et al., 2019).

Fidélité des tests

La fidélité des tests de cette étude a été obtenue par la mesure d'ICC entre les essais d'une même séance ainsi que par la corrélation entre les résultats de deux séances différentes d'un même test. Au niveau de la fidélité intraséance des résultats, tous les tests présentent des ICC entre les trois essais d'un même test de bon ou d'excellent niveau. Le résultat le plus faible est pour le TRVMI (ICC= 0,794) alors que le résultat le plus fort est pour le test en forme de T (ICC= 0,962). Concernant la corrélation entre les résultats d'un même test lors

des deux séances, celle-ci est de ($r=0,285$) pour le temps de réaction du TRVMI alors qu'elles sont toutes modérées ou fortes pour les autres tests, soit de ($r=0,696$) pour le temps de réponse du TRVMI, ($r=0,827$) pour le TRVMS et ($r=0,801$) pour le test en forme de T.

Malgré une bonne capacité à répéter une mesure de temps de réaction du TRVMI lors d'une même séance, la corrélation entre les résultats du même test lors de séance différente est faible. Une explication plausible à ce phénomène serait un changement venant des participants entre les deux séances puisque l'opérationnalisation du test n'est pas variable. Comme mentionné précédemment, si certains participants n'ont pas respecté certaines consignes d'exécutions du TRVMI, il est possible qu'une variation de la façon de réaliser le test ait été présente. Cela expliquerait pourquoi c'est le seul test qui montre une fidélité plus faible compte tenu des circonstances similaires pour tous les tests. Un facteur méthodologique qui ressort en comparaison avec d'autres études sur le temps de réaction est le nombre d'essais de pratique. La méthodologie de ce projet d'étude comportait seulement un essai de pratique par test. Dans l'étude de Picha et ses collaborateurs (2018), ceux-ci évaluaient la fidélité de cinq nouveaux protocoles de temps de réaction utilisant le *Dynavision*. Les résultats se sont tous avérés fidèles, et la méthodologie était composée de trois essais de familiarisation. Cela a possiblement comme effet de permettre un meilleur ajustement du participant à la demande du test surtout interséance si son état personnel, comme la fatigue ou la concentration était différente d'une séance à l'autre. En gardant en tête que le TRVMI était le plus complexe, cela peut expliquer que ce test montrait la moins bonne fidélité interséance comparativement aux autres tests dus à une demande d'adaptation plus grande et plus variable.

Dans un autre ordre d'idée, il n'existe pas de différence statistique significative entre les résultats de chaque test entre la séance une et deux. Chaque résultat de test montre un temps moyen plus court lors de la deuxième séance due à des variations aléatoires. Il n'est pas

surprenant de voir cet effet puisque les deux séances étaient éloignées de 45 jours en plus d'avoir des séquences d'illuminations différentes pour chaque essai à l'intérieur d'une même séance. Il n'existe pas non plus de différences significatives entre les résultats du questionnaire préparticipation des séances une et deux sauf pour l'utilisation *Fitlight*, car la majorité des athlètes n'avait jamais utilisé cette technologie avant de participer à l'étude. Cela permet d'établir que la différence de résultat entre les séances ne provient pas d'un des paramètres mesurés dans le questionnaire de préparticipation. La variation du niveau de motivation à réaliser la tâche n'a pas été mesurée dans cette étude et aurait pu jouer un rôle sur les performances des participants (Eckner et al., 2011).

D'autre part, une étude de Rabbitt et ses collaborateurs (2001) a montré que les différences individuelles dans la variabilité intraséance n'expliquent pas complètement toutes les différences dans la variabilité interséance. Cette étude avait pour objectif d'étudier la variabilité du temps de réaction associée à l'âge ainsi que celles associées avec la capacité intellectuelle générale mesurée par vitesse de décision. Cette étude a montré que les variations interséances de l'état des participants lors d'une tâche d'association mesurant le temps de réaction étaient significativement plus élevées que ce qui pourrait être représenté par leur variabilité intraséance seule (Rabbitt et al., 2001). Les auteurs mettent en cause d'autres facteurs que le cycle circadien et l'effet de pratique comme responsable de ces variations, car ces facteurs avaient été contrôlés dans cette étude. Ainsi, la différence constatée dans ce projet de recherche entre la fidélité intraséance et interséance ne peut être explicable que par les variations normales entre celles-ci de par leur trop grand écart. Par contre, dans une étude de Simonen, Videman, Battié et Gibbons (1995) qui évaluait le temps de réaction simple avec les pieds et les mains, ils ont également obtenu un écart important entre la fidélité intraséance (ICC= 0,97) et interséance (ICC=0,59) Par contre, aucune précision n'est apportée afin d'expliquer ces résultats.

Il est toutefois important de préciser qu'une étude a été faite à propos des valeurs standards de temps de réaction chez les athlètes et celle-ci a montré qu'il est préférable de toujours comparer un athlète à lui-même plutôt qu'aux valeurs standards de son sport, âge et niveau (Schatz et Robertshaw, 2014). En effet, plus de la moitié des participants étaient mal classés si comparés aux valeurs standards. De surcroît, les données du questionnaire de préparticipation étaient rapportées par les participants eux-mêmes. Il est donc possible que certaines variations personnelles dans le questionnaire de préparticipation comme la fatigue n'aient pas été rapportées de façon égale entre les participants. Cela pourrait réduire la différence des résultats à l'intérieur du groupe, mais tout de même affecter le temps de réaction des participants de façon individuelle. Welford (1968; 1980) a trouvé que le temps de réaction augmentait avec la fatigue. La fatigue a plus d'effet lorsque la tâche est complexe (Singleton, 1953). De plus, la fatigue physique résultante de la participation à un sport, par exemple, augmente le temps de réaction. La fatigue mentale associée au stress d'un examen peut aussi augmenter le temps de réaction (Apoorvagiri et Nagananda, 2013). Finalement, un facteur influençant le temps de réaction qui n'a pas été contrôlé est l'heure de réalisation du test puisque le cycle circadien influence le temps de réaction. Le temps de réaction est plus long lors de la nuit ou très tôt le matin alors qu'il est le plus rapide en début de soirée (Valdez et al, 2012). Une revue de la littérature de Valdez et ses collaborateurs (2012) a montré que plusieurs études indiquent une diminution des résultats aux tests de temps de réaction complexe selon le moment de la journée et le niveau de fatigue. Ces résultats pouvaient varier jusqu'à un écart de 150 ms selon les conditions (Horowitz et al., 2003). Cela permet possiblement d'expliquer une partie de la faible corrélation entre la séance une et deux du TRVMI, puisque les moments de passation des tests n'étaient pas contrôlés dans cette étude.

Limites et forces de l'étude

Premièrement, le manque de contrôle sur la façon d'exécuter le TRVMI entre les participants est la plus grande limite. Cela affecte la qualité de la méthodologie et donc limite grandement la force des analyses statistiques et surtout la possibilité d'interpréter avec justesse les résultats. Il serait pertinent de travailler sur une modification des paramètres *Fitlights* afin de réduire l'effet de ce facteur. Par exemple, plutôt que l'illumination des cibles soit programmée au plus court délai possible (0,05 ms), une illumination à délais aléatoires pourrait être utilisée afin de mettre plus d'emphase sur l'attention et la réaction. Toutefois, cette façon de procéder implique de devoir soustraire les délais d'illumination au calcul du temps de réaction, celui-ci étant établi par la durée de contact avec la *Fitlight* et le capteur de pression sous celle-ci. Cette opération supplémentaire rend la prise de mesure par un thérapeute plus complexe et donc moins souhaitable que si le test était seulement utilisé dans un contexte de recherche. Autrement, le nombre de participants ainsi que le fait de n'avoir administré que trois essais par séance par test sont des facteurs limitant la fidélité interséance du TRVMI. Il est possible d'établir un biais d'expérimentation lié à l'ordre des tests. En effet, puisque le test à validé était le dernier à être exécuté, il en résulte une plus grande fatigue et donc un temps de réaction plus lent et plus variable (Pavelka et al., 2020).

Malgré tout, la principale force de l'étude est d'avoir réussi à combiner un test de temps de réaction à un test d'agilité afin de pouvoir mesurer séparément ces deux paramètres lors d'une même tâche. Ceci marque donc un pas vers une meilleure évaluation de la performance sportive qui, par le fait même, permettrait une meilleure compréhension de certains phénomènes cognitifs et moteurs.

Perspectives et retombées

Ce projet de recherche contribue à développer de nouvelles façons de mesurer le temps de réaction et le temps de réponse dans une tâche plus écologiquement valide pour des athlètes. À défaut d'avoir une validité suffisante pour la mesure du temps de réaction, le TRVMI est tout de même un exercice intéressant au niveau de la stimulation cognitive et physique en raison de la nécessité de se déplacer rapidement sur une distance pertinente en sollicitant sa capacité d'attention, de recherche visuelle et de la conscience de son environnement. En termes de perspective de recherche, la recherche intensive sur le temps de réaction chez les athlètes est grande dans certains domaines tels que les commotions cérébrales. Dans ce domaine, les tests de temps de réaction sont presque toujours informatisés et donc, effectués assis derrière un ordinateur (Lempke et al., 2020). Il a par contre été mis en évidence que les blessures musculosquelettiques influençaient les capacités cognitives et les capacités physiques mutuellement. Il est donc nécessaire d'être en mesure d'évaluer ces deux aspects d'un athlète (Hutchison et al., 2011). Il manque toutefois des façons valides de mesurer le temps de réaction et le traitement de l'information dans une tâche motrice liée aux situations sportives et au contexte dans lequel les athlètes évoluent. Le TRVMI permet de mesurer ces deux paramètres lors d'un même test et pourrait être utilisé comme entraînement par les athlètes. Il permettrait de développer leurs patrons moteurs transférables à de vraies situations sportives en plus de l'aspect cognitif du sport comme l'attention et la prise de décision. Il serait également possible pour les résultats du TRVMI d'être utilisés comme valeur de base de début de saison pour servir de point de référence sur l'état physique ou mental de ses joueurs (Nederhof, Lemmink, Zwerver et Mulder, 2007). Il permet aussi de voir les interactions entre les paramètres cognitifs et physiques de la performance sportive. D'autre part, ce projet de recherche met la table pour débiter la mesure des différences objectivables des capacités réactionnelles et motrices chez différents athlètes et différents

sports. Vickers (2007) a réussi à montrer que des frappeurs élités présentaient des résultats variant dans différentes parties du temps de réponse, mais parvenaient tout de même à accomplir la tâche avec succès. Ces différences pourraient apporter des informations pertinentes sur les méthodes d'entraînement et de réadaptation en cas de blessure chez les athlètes d'un sport en particulier pour ainsi maximiser la personnalisation des programmes d'entraînements. Cela pourrait se traduire, notamment, par des entraînements plus réactifs ou plus moteurs pour améliorer la partie la moins bien réussie du test par l'athlète.

VIII. CONCLUSION

Ce projet de recherche propose un nouveau test de temps de réaction visuomoteur des membres inférieurs pour fournir un test plus adapté à la réalité des athlètes. Ainsi, l'évaluation du temps de réaction et la réponse motrice associée permettent d'observer les interactions entre les deux paramètres plutôt que chaque paramètre séparément. Le TRVMI présente une validité faible étant donné une trop grande variabilité de mesure. Ainsi, il ne serait pas en mesure de détecter un changement significatif du temps de réaction comme dans le cas d'une commotion cérébrale par exemple. Le TRVMI montre par contre une bonne fidélité intraséance, mais limitée interséance. Au niveau de la mesure de la réponse motrice, le TRVMI est modérément corrélé au test en forme de T. De plus, il sollicite les capacités motrices et attentionnelles des participants. Ce test est aussi une solution plus accessible aux multiples professionnels qui encadrent des athlètes. D'autres tests et d'autres recherches doivent encore être faits pour exploiter le plein potentiel de l'utilité du temps de réaction dans le domaine du sport autant en performance qu'en réadaptation.

Références

- Achenbach, L., Krutsch, W., Koch, M., Zeman, F., Nerlich, M., & Angele, P. (2019). Contact times of change-of-direction manoeuvres are influenced by age and the type of sports: a novel protocol using the SpeedCourt system. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 27(3), 991-999. doi:10.1007/s00167-018-5192-z
- Akhbari, B., Salavati, M., Ahadi, J., Ferdowsi, F., Sarmadi, A., Keyhani, S., & Mohammadi, F. (2015). Reliability of dynamic balance simultaneously with cognitive performance in patients with ACL deficiency and after ACL reconstructions and in healthy controls. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 23(11), 3178-3185. doi:10.1007/s00167-014-3116-0
- Allen, M. M., Pareek, A., Krych, A. J., Hewett, T. E., Levy, B. A., Stuart, M. J., & Dahm, D. L. (2016). Are Female Soccer Players at an Increased Risk of Second Anterior Cruciate Ligament Injury Compared With Their Athletic Peers? *Am J Sports Med*, 44(10), 2492-2498. doi:10.1177/0363546516648439
- Alsalaheen, B., Stockdale, K., Pechumer, D., & Broglio, S. P. (2016). Validity of the Immediate Post Concussion Assessment and Cognitive Testing (ImPACT). *Sports Med*, 46(10), 1487-1501. doi:10.1007/s40279-016-0532-y
- Apoorvagiri, D. & Nagananda, MS. (2013). Mental Stress and its Implications on Reaction time. *Int J Comp Trend Tech*. 4. 1426-1430
- Apps, R., & Garwicz, M. (2005). Anatomical and physiological foundations of cerebellar information processing. *Nat Rev Neurosci*, 6(4), 297-311. doi:10.1038/nrn1646
- Barbarotto, R., Laiacona, M., Frosio, R., Vecchio, M., Farinato, A., & Capitani, E. (1998). A normative study on visual reaction times and two Stroop colour-word tests. *Ital J Neurol Sci*, 19(3), 161-170. doi:10.1007/BF00831566
- Basu, S. (2022). Examining the reliability and validity of computerized stroop test in children aged 5-13 years: a preliminary study. *Qual & Quant*, 1 avril. doi:10.1007/s11135-022-01376-y
- Bartels, T., Proeger, S., Brehme, K., Pyschik, M., Delank, K. S., Schulze, S., . . . Fieseler, G. (2016). The SpeedCourt system in rehabilitation after reconstruction surgery of the anterior cruciate ligament (ACL). *Arch Orthop Trauma Surg*, 136(7), 957-966. doi:10.1007/s00402-016-2462-4
- Bear, M., Connors, B. et Paradiso, M., (2007) Neurosciences, à la découverte du cerveau, 3^e édition, Pradel (édit), ISBN 2913996663
- Bigsby, K., Mangine, R. E., Clark, J. F., Rauch, J. T., Bixenmann, B., Susaret, A. W., . . . Colosimo, A. J. (2014). Effects of postural control manipulation on visuomotor training performance: comparative data in healthy athletes. *Int J Sports Phys Ther*, 9(4), 436-446. Retrouvé en ligne : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25133072>

- Bjorklund, R. A. (1991). Reaction time and movement time measured in a key-press and a key-release condition. *Percept Mot Skills*, 72(2), 663-673. doi:10.2466/pms.1991.72.2.663
- Bloomfield, J., Polman, R., & O'Donoghue, P. (2007). Physical Demands of Different Positions in FA Premier League Soccer. *J Sports Sci Med*, 6(1), 63-70. Retrouvé en ligne : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24149226>
- Čoh, M., Jovanović-Golubović, D. & Milovan, B. (2004). Motor learning in sport. *Facta Univ. Series, Physic Educ Sport*, Vol. 2, No 1, Str. 45-59. Retrouvé en ligne: <http://facta.junis.ni.ac.yu/facta/pe/pe2004/pe2004-05.html>.
- Collette, F., Amieva, H., Adam, S., Hogge, M., Van der Linden, M., Fabrigoule, C., & Salmon, E. (2007). Comparison of inhibitory functioning in mild Alzheimer's disease and frontotemporal dementia. *Cortex*, 43(7), 866-874. doi:10.1016/s0010-9452(08)70686-5
- Colonus, H., Díaz, J. A., Medina, J. M., & Wong, W. (2015). Advances in modern mental chronometry *Frontiers Research Topics* (pp. 1 online resource (168 pages)). Retrouvé en ligne: <http://journal.frontiersin.org/researchtopic/2046/advances-in-modern-mental-chronometry>
- Covassin, T., Elbin, R., 3rd, & Stiller-Ostrowski, J. L. (2009). Current sport-related concussion teaching and clinical practices of sports medicine professionals. *J Athl Train*, 44(4), 400-404. doi:10.4085/1062-6050-44.4.400
- Cuisinier, R., (2006) Étude des processus préparatoires impliqués dans la coordination posture/mouvement, effets de la période préparatoire sur les ajustements posturaux anticipés. *Neurosciences [q-bio.NC]*. Université Joseph-Fourier - Grenoble.
- Davranche, K., Audiffren, M., & McMorris, Terry. (2009). Exercise and cognitive function. In *A chronometric and electromyographic approach to the effect of exercise on reaction time* . 153–159. John Wiley & Sons, Ltd : Chichester, UK. Doi:10.1002/9780470740668.ch7
- Davranche, K., Burle, B., Audiffren, M., & Hasbroucq, T. (2006). Physical exercise facilitates motor processes in simple reaction time performance: an electromyographic analysis. *Neurosci Lett*, 396(1), 54-56. doi:10.1016/j.neulet.2005.11.008
- De Boeck, P., & Jeon, M. (2019). An Overview of Models for Response Times and Processes in Cognitive Tests. *Front Psychol*, 10, 102. doi:10.3389/fpsyg.2019.00102
- Del Rossi, G. (2017). Evaluating the Recovery Curve for Clinically Assessed Reaction Time After Concussion. *J Athl Train*, 52(8), 766-770. doi:10.4085/1062-6050-52.6.02
- Doherty, C., Delahunt, E., Caulfield, B., Hertel, J., Ryan, J., & Bleakley, C. (2014). The incidence and prevalence of ankle sprain injury: a systematic review and meta-

- analysis of prospective epidemiological studies. *Sports Med*, 44(1), 123-140. doi:10.1007/s40279-013-0102-5
- Duking, P., Born, D. P., & Sperlich, B. (2016). The SpeedCourt: Reliability, Usefulness, and Validity of a New Method to Determine Change-of-Direction Speed. *Int J Sports Physiol Perform*, 11(1), 130-134. doi:10.1123/ijsp.2015-0174
- Eckner, J. T., Chandran, S., & Richardson, J. K. (2011). Investigating the role of feedback and motivation in clinical reaction time assessment. *PM R*, 3(12), 1092-1097. doi:10.1016/j.pmrj.2011.04.022
- Eckner, J. T., Kutcher, J. S., & Richardson, J. K. (2010). Pilot evaluation of a novel clinical test of reaction time in national collegiate athletic association division I football players. *J Athl Train*, 45(4), 327-332. doi:10.4085/1062-6050-45.4.327
- Eckner, J. T., Kutcher, J. S., & Richardson, J. K. (2011). Between-seasons test-retest reliability of clinically measured reaction time in National Collegiate Athletic Association Division I athletes. *J Athl Train*, 46(4), 409-414. doi:10.4085/1062-6050-46.4.409
- Eckner, J. T., Lipps, D. B., Kim, H., Richardson, J. K., & Ashton-Miller, J. A. (2011). Can a clinical test of reaction time predict a functional head-protective response? *Med Sci Sports Exerc*, 43(3), 382-387. doi:10.1249/MSS.0b013e3181f1cc51
- Eckner, J. T., Whitacre, R. D., Kirsch, N. L., & Richardson, J. K. (2009). Evaluating a clinical measure of reaction time: an observational study. *Percept Mot Skills*, 108(3), 717-720. doi:10.2466/PMS.108.3.717-720
- Emery, C. A., & Pasanen, K. (2019). Current trends in sport injury prevention. *Best Pract Res Clin Rheumatol*, 33(1), 3-15. doi:10.1016/j.berh.2019.02.009
- Everitt, B. (2002). *The Cambridge dictionary of statistics* (2nd ed.). Cambridge, UK ; New York: Cambridge University Press.
- Farrow, D., Young, W., & Bruce, L. (2005). The development of a test of reactive agility for netball: a new methodology. *J Sci Med Sport*, 8(1), 52-60. doi:10.1016/s1440-2440(05)80024-6
- Ferreira, J.T. (2003). An overview of research in sports vision: its history and an optometric perspective. *S Afr Optom*, 62(4):142-149.
- Fine, E. J., Ionita, C. C., & Lohr, L. (2002). The history of the development of the cerebellar examination. *Semin Neurol*, 22(4), 375-384. doi:10.1055/s-2002-36759
- Fleiss, J. L., (1999). *The design and analysis of clinical experiments* (Wiley classics library ed.). New York: Wiley.
- Fondarai, J. A., Avril, P. B., Michel, B. F., & Bartolin, R. (2009). Évolution du temps de réaction visuel en fonction de l'âge: méta-analyse sur un total de 1 222 individus. *Cahiers Ann Gerontol*, 1(1), 3-9. doi :10.1007/s12612-009-0001-4

- Frederick, M.F.A, Izwyn, Z., Kamaruzaman, S., Iqbal, T., Tiawa, H., Abdul, O., Khairuddin, H. & Nadzalan, A. (2014). BADMINTON: SPECIFIC MOVEMENT AGILITY TESTING SYSTEM. doi:10.15282/mohe.2014.hps.028
- Paterson, G. (2010). VISUAL-MOTOR RESPONSE TIMES IN ATHLETES AND NON-ATHLETES Sport Sc University of Stellenbosch Retrouvé en ligne: <https://core.ac.uk/download/pdf/37324167.pdf>
- Griffin, L. Y., Agel, J., Albohm, M. J., Arendt, E. A., Dick, R. W., Garrett, W. E., . . . Wojtys, E. M. (2000). Noncontact anterior cruciate ligament injuries: risk factors and prevention strategies. *J Am Acad Orthop Surg*, 8(3), 141-150. doi:10.5435/00124635-200005000-00001
- Grobbel, J., Dietzsch, J., Johnson, C. A., Vonthein, R., Stingl, K., Weleber, R. G., & Schiefer, U. (2016). Normal Values for the Full Visual Field, Corrected for Age- and Reaction Time, Using Semiautomated Kinetic Testing on the Octopus 900 Perimeter. *Transl Vis Sci Technol*, 5(2), 5. doi:10.1167/tvst.5.2.5
- Gupta, M., Ireland, A. C., & Bordoni, B. (2022). Neuroanatomy, Visual Pathway. In StatPearls. Treasure Island (FL).
- Gutierrez, G. M., Kaminski, T. W., & Douex, A. T. (2009). Neuromuscular control and ankle instability. *PM R*, 1(4), 359-365. doi:10.1016/j.pmrj.2009.01.013
- Harvey, C., & Burnett, G. (2019). The influence of incentives and instructions on behaviour in driving simulator studies. *Psy Beha*, 67, 164–174. Doi:10.1016/j.trf.2019.10.007
- Hoch, M. C., & McKeon, P. O. (2014). Peroneal reaction time after ankle sprain: a systematic review and meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc*, 46(3), 546-556. doi:10.1249/MSS.0b013e3182a6a93b
- Hoffman, J. R., Williams, D. R., Emerson, N. S., Hoffman, M. W., Wells, A. J., McVeigh, D. M., . . . Fragala, M. S. (2012). L-alanyl-L-glutamine ingestion maintains performance during a competitive basketball game. *J Int Soc Sports Nutr*, 9(1), 4. doi:10.1186/1550-2783-9-4
- Hootman, J. M., Dick, R., & Agel, J. (2007). Epidemiology of collegiate injuries for 15 sports: summary and recommendations for injury prevention initiatives. *J Athl Train*, 42(2), 311-319. Retrouvé en ligne : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17710181>
- Houdé, O., Mazoyer, B., Mazoyer, B., Tzourio-Mazoyer, N., & Tzourio-Mazoyer, N. (2002). Cerveau et psychologie : introduction à l'imagerie cérébrale anatomique et fonctionnelle Paris, PUF, 2002, 609, ISBN 2130509126
- Horowitz, T. S., Cade, B. E., Wolfe, J. M., & Czeisler, C. A. (2003). Searching night and day: a dissociation of effects of circadian phase and time awake on visual selective attention and vigilance. *Psychol Sci*, 14(6), 549-557. doi:10.1046/j.0956-7976.2003.psci_1464.x

- Hsieh, S. (2002). Task shifting in dual-task settings. *Percept Mot Skills*, 94(2), 407-414. doi:10.2466/pms.2002.94.2.407
- Hutchison, M., Comper, P., Mainwaring, L., & Richards, D. (2011). The influence of musculoskeletal injury on cognition: implications for concussion research. *Am J Sports Med*, 39(11), 2331-2337. doi:10.1177/0363546511413375
- Jonsson, A., Andresen, J., Storr, L., Tscherning, T., Soelberg Sorensen, P., & Ravnborg, M. (2006). Cognitive impairment in newly diagnosed multiple sclerosis patients: a 4-year follow-up study. *J Neurol Sci*, 245(1-2), 77-85. doi:10.1016/j.jns.2005.09.016
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Jessell, T. M. (2000). *Principles of neural science* (4th ed.). New York: McGraw-Hill, Health Professions Division.
- Kemp, B. J. (1973). Reaction time of young and elderly subjects in relation to perceptual deprivation and signal-on versus signal-off conditions. *Dev Psy*, 8(2), 268-272. doi:10.1037/h0034147
- Klavora, P., Gaskovski, P., & Forsyth, R. D. (1995). Test-retest reliability of three Dynavision tasks. *Percept Mot Skills*, 80(2), 607-610. doi:10.2466/pms.1995.80.2.607
- Koo, T. K., & Li, M. Y. (2016). A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med*, 15(2), 155-163. doi:10.1016/j.jcm.2016.02.012
- Lachaud, C. M., & Renaud, O. (2011). A tutorial for analyzing human reaction times: How to filter data, manage missing values, and choose a statistical model. *Appl Psycholinguist*, 32(2), 389-416. doi:10.1017/S0142716410000457
- Laming, D. R. J. (1968). *Information theory of choice-reaction times*, by D. R. J. Laming. London: Academic Press.
- Lee, C., Landre, N., & Sweet, J. J. (2019). Performance validity on the Stroop Color and Word Test in a mixed forensic and patient sample. *Clin Neuropsychol*, 33(8), 1403-1419. doi:10.1080/13854046.2019.1594385
- Lempke, L. B., Howell, D. R., Eckner, J. T., & Lynall, R. C. (2020). Examination of Reaction Time Deficits Following Concussion: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Med*, 50(7), 1341-1359. doi:10.1007/s40279-020-01281-0
- Lezak, M. D., Howieson, D. B., & Loring, D. W. (2004). *Neuropsychological Assessment* (4th ed.). New York: Oxford University Press.
- Lichtenstein, J. D., Moser, R. S., & Schatz, P. (2014). Age and test setting affect the prevalence of invalid baseline scores on neurocognitive tests. *Am J Sports Med*, 42(2), 479-484. doi:10.1177/0363546513509225
- Luce, R.D. (1986) *Response Times: Their Role in Inferring Elementary Mental Organization*, Oxford Psychology Series, New York: Oxford University Press. doi:10.1093/acprof:oso/9780195070019.001.0001,

- Magill, R., & Anderson, D. (2014). *Motor Learning and Control: Concepts and Applications*: 10th ed. McGraw-Hill Australia, ISBN :1259823997
- Mann, D. T., Williams, A. M., Ward, P., & Janelle, C. M. (2007). Perceptual-cognitive expertise in sport: a meta-analysis. *J Sport Exerc Psychol*, 29(4), 457-478. doi:10.1123/jsep.29.4.457
- Maroon, J. C., Field, M., Lovell, M., Collins, M., & Bost, J. (2002). The evaluation of athletes with cerebral concussion. *Clin Neurosurg*, 49, 319-332. Retrouvé en ligne : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12506561>
- Maroon, J. C., Lovell, M. R., Norwig, J., Podell, K., Powell, J. W., & Hartl, R. (2000). Cerebral concussion in athletes: evaluation and neuropsychological testing. *Neurosurgery*, 47(3), 659-669; discussion 669-672. doi:10.1097/00006123-200009000-00027
- Mercer, V. S., Hankins, C. C., Spinks, A. J., & Tedder, D. D. (2009). Reliability and validity of a clinical test of reaction time in older adults. *J Geriatr Phys Ther*, 32(3), 103-110. doi:10.1519/00139143-200932030-00004
- Millikan, N., Grooms, D. R., Hoffman, B., & Simon, J. E. (2019). The Development and Reliability of 4 Clinical Neurocognitive Single-Leg Hop Tests: Implications for Return to Activity Decision-Making. *J Sport Rehabil*, 28(5), 536-544. doi:10.1123/jsr.2018-0037
- Mitrushina, M. N., Boone, K. B., & D'Elia, L. (1999). *Handbook of normative data for neuropsychological assessment*. New York: Oxford University Press.
- Moore, D. S., Notz, W., & Fligner, M. A. (2013). *The basic practice of statistics* (6th ed.). New York: W.H. Freeman.
- Murphy, D. F., Connolly, D. A. J., & Beynon, B. D. (2003). Risk factors for lower extremity injury: a review of the literature. *Brit Jour Spor Med*, 37(1), 13-29.
- Murray Sherman, S., & Guillery, R. W., (2005) *Exploring the Thalamus and Its Role in Cortical Function*, Second Edition , MIT Press, ISBN: 9780262513449
- Myers, L. R., Toonstra, J. L., & Cripps, A. E. (2022). The test-retest reliability and minimal detectable change of the fitlight trainer. *Inter J Atht Thera Traini*, 1-5, 1-5. doi:10.1123/ijatt.2022-0012
- Nakashima, R., & Shioiri, S. (2014). Why do we move our head to look at an object in our peripheral region? Lateral viewing interferes with attentive search. *PLoS One*, 9(3), e92284. doi:10.1371/journal.pone.0092284
- Nederhof, E., Lemmink, K., Zwerver, J., & Mulder, T. (2007). The effect of high load training on psychomotor speed. *Int J Sports Med*, 28(7), 595-601. doi:10.1055/s-2007-964852

- Nguyen, C. N., Clements, R. N., Porter, L. A., Clements, N. E., Gray, M. D., Killian, D. J., & Baker, R. T. (2019). Examining Practice and Learning Effects With Serial Administration of the Clinical Reaction Time Test in Healthy Young Athletes. *J Sport Rehabil*, 28(6), 558-563. doi:10.1123/jsr.2017-0340
- Nougier, V., Azemar, G., Stein, J. F., & Ripoll, H. (1992). Covert orienting to central visual cues and sport practice relations in the development of visual attention. *J Exp Child Psychol*, 54(3), 315-333. doi:10.1016/0022-0965(92)90023-y
- Nuri, L., Shadmehr, A., Ghotbi, N., & Attarbashi Moghadam, B. (2013). Reaction time and anticipatory skill of athletes in open and closed skill-dominated sport. *Eur J Sport Sci*, 13(5), 431-436. doi:10.1080/17461391.2012.738712
- Falch, N., Raedergard, G.H., & van den Tillaar, R. (2019). Effect of Different Physical Training Forms on Change of Direction Ability: a Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Med Open*, 5(1), 53. doi:10.1186/s40798-019-0223-y
- Padula, W. V., Munitz, R., Magrun, W. M., & Optometric Extension Program Foundation. (2012). *Neuro-visual processing rehabilitation : an interdisciplinary approach*. Santa Ana, CA: Optometric Extension Program Foundation.
- Pauole, K., Madole, K., Garhammer, J., Lacourse, M. & Rozenek, R. (2000). Reliability and validity of the t-test as a measure of agility, leg power, and leg speed in college-aged men and women. *J Stre Con Res*, 14(4), 443–443. doi:10.1519/1533-4287(2000)014<0443:RAVOTT>2.0.CO;2
- Pavelka, R., Trebicky, V., Trebicka Fialova, J., Zdobinsky, A., Coufalova, K., Havlicek, J., & Tufano, J. J. (2020). Acute fatigue affects reaction times and reaction consistency in Mixed Martial Arts fighters. *PLoS One*, 15(1), e0227675. doi:10.1371/journal.pone.0227675
- Pfister, M., Lue, J. C., Stefanini, F. R., Falabella, P., Dustin, L., Koss, M. J., & Humayun, M. S. (2014). Comparison of reaction response time between hand and foot controlled devices in simulated microsurgical testing. *Biomed Res Int*, 2014, 769296. doi:10.1155/2014/769296
- Picha, K., Quintana, C., Glueck, A., Hoch, M., Heebner, N. R., & Abt, J. P. (2018). Reliability of 5 Novel Reaction Time and Cognitive Load Protocols. *J Sport Rehabil*, 27(5), 1-4. doi:10.1123/jsr.2018-0042
- Portney, L. G., & Watkins, M. P. (2015). *Foundations of clinical research : applications to practice* (3rd edition, revised . ed.). Upper Saddle River, N.J.: Pearson/Prentice Hall.
- Presta, V., Vitale, C., Ambrosini, L., & Gobbi, G. (2021). Stereopsis in Sports: Visual Skills and Visuomotor Integration Models in Professional and Non-Professional Athletes. *Int J Environ Res Public Health*, 18(21). doi:10.3390/ijerph182111281
- Purves D, Augustine GJ, Fitzpatrick D, et al. (2001). Neuroscience. 2nd edition. Sunderland (MA): Sinauer Associates;. Types of Eye Movements and Their Functions. Chapitre 14 et 19 Retrouvé en ligne: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK10991/>

- Rabbitt, P., Osman, P., Moore, B., & Stollery, B. (2001). There are stable individual differences in performance variability, both from moment to moment and from day to day. *Q J Exp Psychol A*, *54*(4), 981-1003. doi:10.1080/713756013
- Rauter, S., Coh, M., Vodigar, J., Zvan, M., Krizaj, J., Simenko, J., Szmajda, L., & Mackala, K. (2018). Analysis of reactive agility and change-of-direction speed between soccer players and physical education students. *Hum Mov*, *19*(2), 68–74. doi:10.5114/hm.2018.74061
- Reed, G. F., Lynn, F., & Meade, B. D. (2003). Use of coefficient of variation in assessing variability of quantitative assays. *Clin Vaccin Immun*, *10*(6), 1162–1162. doi:10.1128/CDLI.10.6.1162.2003
- Reed, T. E., Vernon, P. A., & Johnson, A. M. (2004). Sex difference in brain nerve conduction velocity in normal humans. *Neuropsychologia*, *42*(12), 1709-1714. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2004.02.016
- Reigal, R. E., Barrero, S., Martin, I., Morales-Sanchez, V., Juarez-Ruiz de Mier, R., & Hernandez-Mendo, A. (2019). Relationships Between Reaction Time, Selective Attention, Physical Activity, and Physical Fitness in Children. *Front Psychol*, *10*, 2278. doi:10.3389/fpsyg.2019.02278
- Rigal, R. (2002). Motricité humaine-Tome 1: Fondements et applications pédagogiques (Vol. 1). PUQ. (Presse de l'Université du Québec) Québec.
- Ripoll, H. (1989). Uncertainty and visual strategies in table tennis. *Percept Mot Skills*, *68*(2), 507-512. doi:10.2466/pms.1989.68.2.507
- Ripoll, H.; Kerlirzin, Y.; Stein, J.-F., & Reine, B. (1995). Analysis of information processing, decision making, and visual strategies in complex problem solving sport situations. *Hum Mov Sc*, *14*(3), 325–349. doi:10.1016/0167-9457(95)00019-O
- Riskowski, J. L., Mikesky, A. E., Bahamonde, R. E., Alvey, T. V., 3rd, & Burr, D. B. (2005). Proprioception, gait kinematics, and rate of loading during walking: are they related? *J Musculoskelet Neuronal Interact*, *5*(4), 379-387. Retrouvé en ligne : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16340143>
- Sanders, A. F. (1998). *Elements of Human Performance: Reaction Processes and Attention in Human Skill*. Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, Mahwah, New Jersey. 575 pages ISBN 9781138002524
- Scharfen, H.-E., & Memmert, D. (2019). Measurement of cognitive functions in experts and elite athletes: a meta-analytic review. *Appli Cog Psy*, *33*(5), 843–860. Doi:10.1002/acp.3526
- Schatz, P., Kelley, T., Ott, S. D., Solomon, G. S., Elbin, R. J., Higgins, K., & Moser, R. S. (2014). Utility of repeated assessment after invalid baseline neurocognitive test performance. *J Athl Train*, *49*(5), 659-664. doi:10.4085/1062-6050-49.3.37

- Schatz, P., & Robertshaw, S. (2014). Comparing post-concussive neurocognitive test data to normative data presents risks for under-classifying "above average" athletes. *Arch Clin Neuropsychol*, 29(7), 625-632. doi:10.1093/arclin/acu041
- Schatz, P., & Sandel, N. (2013). Sensitivity and specificity of the online version of ImPACT in high school and collegiate athletes. *Am J Sports Med*, 41(2), 321-326. doi:10.1177/0363546512466038
- Schmuckler, M. A. (2001). What Is Ecological Validity? A Dimensional Analysis. *Infancy*, 2(4), 419-436. doi:10.1207/S15327078IN0204_02
- Schober, P., Boer, C., & Schwarte, L. A. (2018). Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation. *Anesth Analg*, 126(5), 1763-1768. doi:10.1213/ANE.0000000000002864
- Scinicarelli, G., Trofenik, M., Frobose, I., & Wilke, C. (2021). The Reliability of Common Functional Performance Tests within an Experimental Test Battery for the Lower Extremities. *Sports (Basel)*, 9(7). doi:10.3390/sports9070100
- Seignourel, P. J., Robins, D. L., Larson, M. J., Demery, J. A., Cole, M., & Perlstein, W. M. (2005). Cognitive control in closed head injury: context maintenance dysfunction or prepotent response inhibition deficit? *Neuropsychology*, 19(5), 578-590. doi:10.1037/0894-4105.19.5.578
- Shanmugiah, A., Vigneshwaran G., Velu, K. & Suriya, P. (2021). Effect of Quick Footwork Drills on Footwork and Quickness among Soccer Players. *Gorteria Jour*. 33. 422-428.
- Sheppard, J. M., & Young, W. B. (2006). Agility literature review: classifications, training and testing. *J Sports Sci*, 24(9), 919-932. doi:10.1080/02640410500457109
- Simonen, R. L., Videman, T., Battie, M. C., & Gibbons, L. E. (1995). Comparison of foot and hand reaction times among men: a methodologic study using simple and multiple-choice repeated measurements. *Percept Mot Skills*, 80(3 Pt 2), 1243-1249. doi:10.2466/pms.1995.80.3c.1243
- Singleton, W. T. (1953). Deterioration of performance on a short-term perceptual-motor task. In W. F. Floyd and A. T. Welford (Eds.), *Symposium on Fatigue*. H. K. Lewis and Co., London, 163-172.
- Spiteri, T., Cochrane, J. L., & Nimphius, S. (2013). The evaluation of a new lower-body reaction time test. *J Strength Cond Res*, 27(1), 174-180. doi:10.1519/JSC.0b013e318250381f
- Spreen, O., & Strauss, E. (1998). *A compendium of neuropsychological tests : administration, norms, and commentary* (2nd ed.). New York: Oxford University Press.

- Starkes, J.L., (1987). Skill in field hockey: The nature of the cognitive advantage. *J Sport Psy*, 9, 146-160
- Starkes, J., & Ericsson, K. A. (Eds.). (2003). Expert performance in sport: Recent advances in research on sport expertise. Champaign, IL: Hum Kin.
- Stewart, P. F., Turner, A. N., & Miller, S. C. (2014). Reliability, factorial validity, and interrelationships of five commonly used change of direction speed tests. *Scand J Med Sci Sports*, 24(3), 500-506. doi:10.1111/sms.12019
- Szabo, A. J., Alosco, M. L., Fedor, A., & Gunstad, J. (2013). Invalid performance and the ImPACT in national collegiate athletic association division I football players. *J Athl Train*, 48(6), 851-855. doi:10.4085/1062-6050-48.6.20
- Tang, Y. Y., & Bruya, B. (2017). Mechanisms of Mind-Body Interaction and Optimal Performance. *Front Psychol*, 8, 647. doi:10.3389/fpsyg.2017.00647
- Tavee, J. (2019). Nerve conduction studies: Basic concepts. *Handb Clin Neurol*, 160, 217-224. doi:10.1016/B978-0-444-64032-1.00014-X
- Thiebaut de Schotten, M., Urbanski, M., Batrancourt, B., Levy, R., Dubois, B., Cerliani, L., & Volle, E. (2017). Rostro-caudal Architecture of the Frontal Lobes in Humans. *Cereb Cortex*, 27(8), 4033-4047. doi:10.1093/cercor/bhw215
- Thorpe, S. J., & Fabre-Thorpe, M. (2001). Neuroscience. Seeking categories in the brain. *Science*, 291(5502), 260-263. doi:10.1126/science.1058249
- Trenerry, M. R. (1989). *Stroop Neuropsychological Screening Test manual*. Odessa, Fla. (P.O. Box 998, Odessa 33556): Psychological Assessment Resources.
- Valdez, P., Ramírez, C. & García, A. (2012). Circadian rhythms in cognitive performance: implications for neuropsychological assessment. *Chron The*, 81-92, 81-92. <https://doi.org/10.2147/CPT.S32586>
- van de Water, T., Huijgen, B., Faber, I., & Elferink-Gemser, M. (2017). Assessing Cognitive Performance in Badminton Players: A Reproducibility and Validity Study. *J Hum Kinet*, 55, 149-159. doi:10.1515/hukin-2017-0014
- Verschueren, J., Tassignon, B., Pluym, B., Van Cutsem, J., Verhagen, E., & Meeusen, R. (2019). Bringing context to balance: development of a reactive balance test within the injury prevention and return to sport domain. *Arch Physiother*, 9, 6. doi:10.1186/s40945-019-0057-4
- Vickers, J. N. (2007). *Perception, cognition, and decision training : the quiet eye in action*. Champaign, IL: Hum Kinet.
- Vickers, J. N. (2002). Decision training: An innovative approach to coaching. *Can J Wom Coach*. 3.

- Voss, M. W., Kramer, A. F., Basak, C., Prakash, R. S., & Roberts, B. (2010). Are expert athletes 'expert' in the cognitive laboratory? A meta-analytic review of cognition and sport expertise. *App Cogn Psy*, 24, 812–826. doi:10. 1002/acp.1588.
- Welford, A. T. (1968). *Fundamentals of skill*. London,: Methuen.
- Welford, A. T., & Brebner, J. M. T. (1980). *Reaction times*. London ; New York: Academic Press.
- Wells, A. J., Hoffman, J. R., Beyer, K. S., Jajtner, A. R., Gonzalez, A. M., Townsend, J. R., . . . Stout, J. R. (2014). Reliability of the dynavision d2 for assessing reaction time performance. *J Sports Sci Med*, 13(1), 145-150. Retrouvé en ligne : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24570618>
- Wells, A. J., Hoffman, J. R., Gonzalez, A. M., Stout, J. R., Fragala, M. S., Mangine, G. T., . . . Robinson, E. H. t. (2013). Phosphatidylserine and caffeine attenuate postexercise mood disturbance and perception of fatigue in humans. *Nutr Res*, 33(6), 464-472. doi:10.1016/j.nutres.2013.03.009
- Whelan, R. (2008). Effective Analysis of Reaction Time Data. *Psychol Rec* 58, 475–482 doi :10.1007/BF03395630
- Wikstrom, E. A., Mueller, C., & Cain, M. S. (2020). Lack of Consensus on Return-to-Sport Criteria Following Lateral Ankle Sprain: A Systematic Review of Expert Opinions. *J Sport Rehabil*, 29(2), 231-237. doi:10.1123/jsr.2019-0038
- Wilkerson, G. B. (2012). Neurocognitive reaction time predicts lower extremity sprains and strains. *Inter J Athlet Therap Traini*, 17(6), 4–9. doi:10.1123/ijatt.17.6.4
- Wilkerson, G. B., Simpson, K. A., & Clark, R. A. (2017). Assessment and Training of Visuomotor Reaction Time for Football Injury Prevention. *J Sport Rehabil*, 26(1), 26-34. doi:10.1123/jsr.2015-0068
- Williams, A. M., (2002). Perceptual and cognitive expertise in sport. *The Psycho*, 15(1), 416-417
- Williams, A. M., & Elliott, D. (1999). Anxiety, expertise, and visual search strategy in karate. *J Sport Exer Psy*, 21(4), 362–375.
- Williams, A. M., Ward, P., Knowles, J. M., & Smeeton, N. J. (2002). Anticipation skill in a real-world task: measurement, training, and transfer in tennis. *J Exp Psychol Appl*, 8(4), 259-270. doi:10.1037//1076-898x.8.4.259
- Yamashita, A., Rothlein, D., Kucyi, A., Valera, E. M., Germine, L., Wilmer, J., . . . Esterman, M. (2021). Variable rather than extreme slow reaction times distinguish brain states during sustained attention. *Sci Rep*, 11(1), 14883. doi:10.1038/s41598-021-94161-0
- Zemkova, E., & Hamar, D. (2018). Sport-Specific Assessment of the Effectiveness of Neuromuscular Training in Young Athletes. *Front Physiol*, 9, 264. doi:10.3389/fphys.2018.00264

Zurek, M., Cosmi, S., Cicchela, A., and Roi, G. S. (2015). "Simple and complex reaction time at visual stimulation, before and after a rehabilitation after knee surgery in football players," in Poster Presented in XXIV International Conference on Sports Rehabilitation and Traumatology, London

Annexes

Annexe A

Certificat éthique



CERTIFICAT D'ETHIQUE DE LA RECHERCHE AVEC DES ETRES HUMAINS

En vertu du mandat qui lui a été confié par l'Université, le Comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains a analysé et approuvé pour certification éthique le protocole de recherche suivant :

Titre : Validité et reproductibilité d'un test d'agilité du membre inférieur chez l'athlète

Chercheur(s) : Marc-André Nadeau
Département des sciences de l'activité physique

Organisme(s) : Aucun financement

N° DU CERTIFICAT : CER-19-260-07.08

PERIODE DE VALIDITE : Du 28 octobre 2019 au 28 octobre 2020

En acceptant le certificat éthique, le chercheur s'engage à :

- Aviser le CER par écrit des changements apportés à son protocole de recherche avant leur entrée en vigueur;
- Procéder au renouvellement annuel du certificat tant et aussi longtemps que la recherche ne sera pas terminée;
- Aviser par écrit le CER de l'abandon ou de l'interruption prématurée de la recherche;
- Faire parvenir par écrit au CER un rapport final dans le mois suivant la fin de la recherche.

Bruce Maxwell
Président du comité

Fanny Longpré
Secrétaire du comité

Annexe B

Questionnaire de préparticipation

Projet de recherche sur le temps de réaction

Ce questionnaire a pour but de contrôler certaines variables qui pourraient affecter votre temps de réaction et ainsi, modifier vos performances lors des tests. Les informations inscrites dans ce questionnaire resteront confidentielles.

Répondez aux questions avec attention en inscrivant la réponse appropriée à la ligne sous la question ou en faisant un < X > près de la réponse appropriée.

1- sur une échelle de 1 à 10, 1 étant pas du tout fatigué et 10 très fatigué, comment décrieriez-vous votre niveau de fatigue présentement ?

2- avez-vous consommé du café dans la dernière heure ?

Oui _____ non _____

3- avez-vous consommé de l'alcool dans les 6 dernières heures ?

Oui _____ non _____

4- Avez-vous vécu un évènement récemment vous préoccupant encore en ce moment (exemple examen, travail, situation amoureuse etc.) ? Si oui, choisissez la réponse qui décrit le mieux votre affectation.

Oui _____ un peu _____ plutôt _____ beaucoup _____ non _____

5- avez-vous déjà utilisé la technologie Fitlight © dans de tests semblables ? Si oui, combien de fois ?

Oui _____, nombre d'utilisation _____ non _____

6- quel est votre latéralité pour les mains et les pieds ?

Main et pied droit _____

Main et pied gauche _____

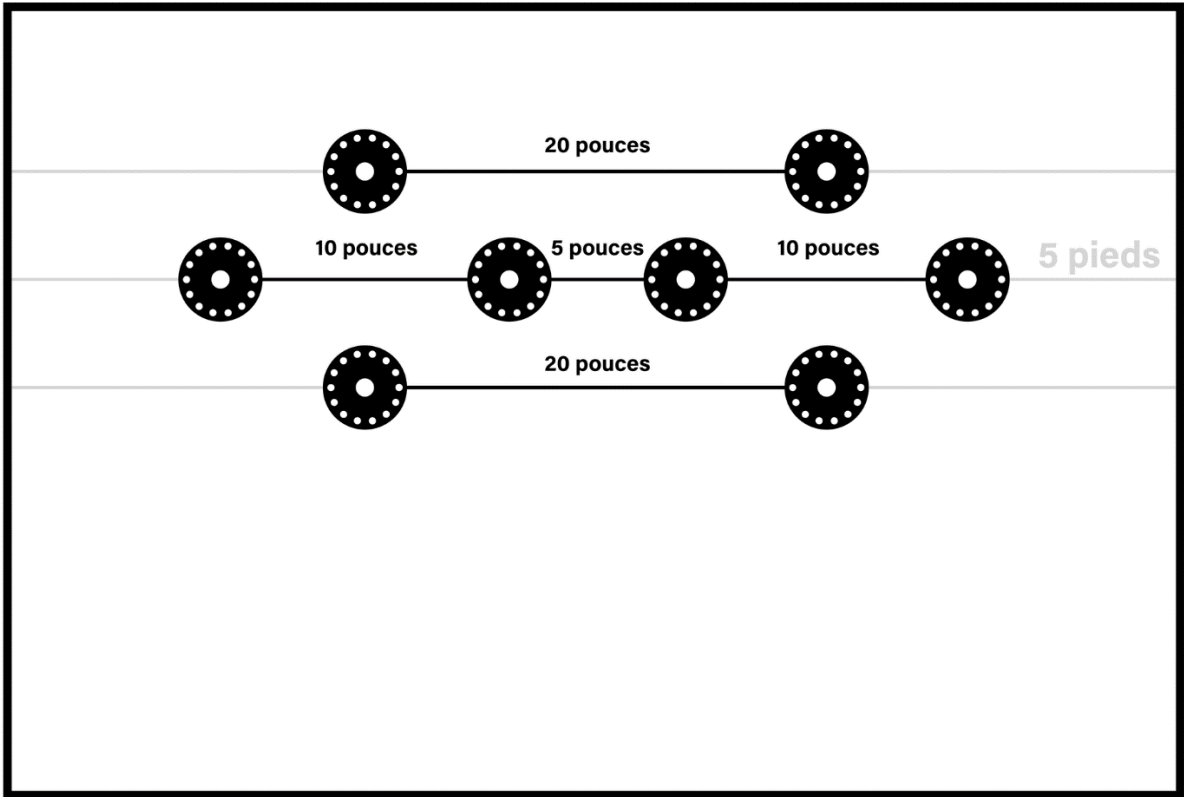
Main droite, pied gauche _____

Main gauche, pied droit _____

Signature _____

Annexe C

Standardisation du placement des *Fitlights* pour le TRVMS.



Annexe D

Tableau 7 Complet

Tableau 7. Différence des moyennes, erreur type de mesure et les intervalles de confiance du temps de réaction du TRVMI et du TRVMS entre les deux séances

TRVMI	DM	ETM	IC95% limite inférieure	IC95% limite supérieure	TRVMS	DM	ETM	IC95% limite inférieure	IC95% limite supérieure
	98	33,5	[32,3	163,7]		5	7,4	[-9,5	19,5]
	98	22,3	[54,4	141,6]		26	3,2	[19,7	32,3]
	-14	1,8	[-17,5	-10,5]		7,3	8,1	[-8,6	23,2]
	28	15,2	[-2,1	57,4]		-1	10,2	[-21,1	19,1]
	-64	30,6	[-123,8	-3,9]		17,7	9,6	[-1,2	36,6]
	131	30,7	[70,4	190,9]		19,7	8,9	[2,3	37,1]
	7	25	[-42,4	55,7]		23,7	6,2	[11,5	35,8]
	59	22,5	[14,7	102,9]		6	2,7	[0,7	11,3]
	36	28,8	[-20,0	92,7]		16,7	6,5	[3,8	29,5]
	-45	16,4	[-77,0	-12,7]		10,7	6,1	[-1,2	22,6]
	-42	15,9	[-73,2	-10,8]		16,7	8,8	[-0,5	33,9]
	-144	12,8	[-168,6	-118,4]		-39,7	9,2	[-57,7	-21,6]
	-18	20,3	[-57,4	22,1]		-10,3	6,2	[-22,5	1,8]
	-173	68,9	[-307,9	-37,7]		4,3	11,9	[-19,0	27,7]
	167	22,6	[122,5	211,1]		14	14,4	[-14,2	42,2]
	74	17,8	[39,5	109,2]		-31,3	12,5	[-55,9	-6,8]
	-89	10,3	[-108,9	-68,5]		-0,7	1,6	[-3,7	2,4]
	-21	57,3	[-133,6	90,9]		51,3	8,2	[35,3	67,4]
	66	25,5	[15,6	115,4]		14,7	14,8	[-14,3	43,6]
	-33	37,1	[-105,5	39,9]		76,3	15,5	[46,0	106,7]
	-82	16,1	[-113,7	-50,6]		35,3	9	[17,7	53,0]
	43	18,7	[6,7	79,9]		19	7,5	[4,3	33,7]
	-391	9,3	[-409,0	-372, 6]		23	3,8	[15,5	30,5]
	-9	11,6	[-31,5	14,2]		26,3	4	[18,5	34,2]
	138	70,4	[-0,4	275,4]		12,3	3,4	[5,8	18,9]
	-16	20	[-55,6	22,9]		1,7	3,3	[-4,8	8,1]
	-93	9,5	[-111,8	-74,5]		7,7	7,5	[-7,1	22,4]
	-86	35,7	[-155,9	-16,1]		18,3	7,9	[2,9	33,7]
	65	3,5	[58,2	71,8]		35,7	4,2	[27,5	43,8]
	-83	60	[-200,6	34,6]		19	6,6	[6,0	32,0]
	43	13,3	[17,3	69,4]		6,3	5,1	[-3,8	16,4]
	81	18,6	[44,6	117,7]		19	4,8	[9,5	28,5]
	-14	23,7	[-60,4	32,4]		39,3	10,7	[18,3	60,4]
	-63	3,2	[-69,0	-56,3]		15,3	6,5	[2,6	28,1]
	-100	18,6	[-136,7	-64,0]		-3,3	4,1	[-11,3	4,6]
	94	21,3	[52,5	136,2]		34,3	6	[22,6	46,1]

44	61	[-75,7	163,4]	-13,7	7,7	[-28,8	1,4]		
95	17,2	[61,2	128,8]	8	2,5	[3,1	12,9]		
-60	19,7	[-98,5	-21,2]	5,3	4,9	[-4,3	14,9]		
-65	47	[-157,4	26,7]	0,7	7,1	[-13,3	14,6]		
-1	28,4	[-56,4	55,1]	18,7	4,2	[10,4	27,0]		
41	101,8	[-159,1	240,1]	4,3	3,8	[-3,0	11,7]		
-24	37	[-96,2	48,9]	0,7	4,4	[-8,0	9,3]		
-8	24,9	[-57,1	40,5]	18,7	5,2	[8,4	28,9]		
107	19,2	[69,6	144,8]	-3	1,9	[-6,8	0,8]		
6	27,7	[-48,7	59,7]	22,7	5,6	[11,8	33,6]		
-11	17,2	[-44,5	23,1]	11,7	2,5	[6,8	16,5]		
33	20,7	[-7,6	73,6]	45,3	5,1	[35,2	55,4]		
11	30,9	[-50,0	71,3]	11	3,9	[3,4	18,6]		
-28	26,7	[-80,6	24,0]	-9,7	1,4	[-12,5	-6,8]		
-86	25,5	[-135,7	-35,6]	-3,7	3,8	[-11,0	3,7]		
38	41,9	[-44,4	120,0]	10	1,8	[6,5	13,5]		
90	43,9	[3,4	175,6]	19	4,7	[9,8	28,2]		
24	21,5	[-18,1	66,1]	28	6,3	[15,7	40,3]		
185	50,8	[85,6	284,7]	2	0,9	[0,2	3,8]		
-119	45,5	[-208,4	-30,2]	2,7	5,3	[-7,7	13,1]		
30	27,3	[-24,0	83,0]	7,3	8,4	[-9,1	23,8]		
136	13,4	[110,0	162,7]	16,3	5,6	[5,4	27,3]		
35	7,7	[20,1	50,2]	11,7	6,8	[-1,6	25,0]		
Moyenne	2,051	27,6	-52	54,2	Moyenne	12,717	6,3	0,4	25
Minimum	-1	1,8	-409	-372,6	Minimum	0,7	0,9	-57,7	-21,6
Maximum	-391	101,8	122,5	284,7	Maximum	76,6	15,5	46	106,7

DM : Différence des moyennes, ETM : Erreur type de mesure, IC : Intervalle de confiance.

Annexe E

Tableau 8 Complet

Tableau 8. Différence des moyennes, écart type et limites d'accord à 95% entre la mesure du temps de réaction du TRVMI et du TRVMS selon les séances.

Séance 1

Séance 2

	DM	Écart type	Limite inférieure	Limite supérieure		DM	Écart type	Limite inférieure	Limite supérieure
	-14	71,6	-154,4	126,4		79	55,1	-29,0	187,0
	98	35,9	27,6	168,4		170	27,2	116,7	223,3
	-53	28,6	-109,2	2,9		-75	35,1	-143,3	-5,7
	-79	40,8	-159,0	1,0		-50	14,6	-79,0	-21,6
	110	99,6	-85,1	305,4		29	67,9	-104,5	161,8
	-109	47,9	-202,8	-14,9		2	50,1	-96,0	100,4
	15	21,5	-27,2	57,2		-2	24,3	-49,6	45,6
	76	39,0	-1,0	152,0		128	16,2	96,6	160,1
	-51	11,9	-74,1	-27,3		-31	61,0	-150,6	88,6
	73	35,2	4,1	141,9		18	44,0	-68,8	103,8
	51	69,6	-85,3	187,7		-8	42,9	-91,6	76,6
	-41	32,9	-105,5	23,5		-145	3,8	-152,2	-137,5
	-40	57,1	-152,2	71,6		-48	24,4	-95,4	0,1
	8	124,3	-235,3	252,0		-169	79,8	-325,2	-12,5
	15	38,6	-60,9	90,2		168	58,2	53,4	281,6
	14	56,8	-97,4	125,1		120	16,5	87,1	151,9
	98	18,2	62,3	133,7		10	15,1	-19,7	39,7
	58	86,9	-112,7	227,7		-15	38,7	-90,9	60,6
	22	15,0	-7,8	51,1		73	49,3	-24,1	169,1
	120	128,2	-131,3	371,3		11	78,0	-142,0	163,6
	74	78,9	-80,7	228,4		-44	32,3	-107,0	19,7
	-92	70,6	-230,4	46,4		-68	40,7	-147,4	12,1
	203	18,5	167,0	239,7		-211	8,7	-227,5	-193,5
	27	32,9	-37,5	91,5		-8	31,2	-69,1	53,1
	-104	98,9	-297,5	90,2		22	64,2	-104,4	147,4
	32	34,6	-35,7	100,0		14	45,1	-74,3	102,6
	-12	42,3	-95,1	70,5		-113	39,1	-189,7	-36,6
	25	89,3	-149,8	200,4		-79	27,7	-133,2	-24,8
	-72	44,0	-158,3	14,3		-43	46,5	-133,9	48,5
	136	103,3	-66,5	338,5		34	44,0	-52,3	120,3
	-56	41,4	-137,5	24,9		-19	11,1	-41,0	2,3
	-31	29,9	-89,2	27,9		32	44,1	-55,0	118,0
	42	16,0	10,2	72,8		-12	62,6	-134,5	110,8
	83	27,3	29,3	136,3		5	14,0	-22,6	32,3
	-29	45,8	-118,7	60,7		-126	52,6	-229,1	-22,9
	-89	16,5	-121,4	-56,6		-29	48,2	-123,5	65,5
	-15	90,2	-191,5	162,2		43	32,8	-21,4	107,0
	-49	38,6	-124,9	26,2		38	5,5	26,9	48,5
	100	35,7	30,3	170,4		35	38,2	-39,8	110,1
	62	16,9	28,6	94,7		-4	75,0	-151,3	142,7

-32	40,0	-110,1	46,8	-51	41,6	-132,5	30,5	
-50	130,4	-306,0	205,3	-14	106,0	-221,9	193,6	
16	33,1	-49,4	80,4	-9	51,6	-109,9	92,2	
-81	27,8	-134,9	-26,1	-108	26,0	-158,4	-56,6	
-59	17,8	-93,8	-23,8	51	61,8	-69,8	172,4	
119	30,7	59,2	179,4	102	46,1	11,9	192,5	
-37	19,8	-75,2	2,2	-59	44,0	-145,1	27,5	
-51	27,9	-105,8	3,5	-64	11,3	-85,6	-41,4	
-103	51,1	-202,6	-2,4	-103	21,4	-144,7	-60,9	
-25	11,1	-46,2	-2,8	-43	63,8	-168,1	81,8	
4	84,2	-160,7	169,3	-78	40,1	-156,2	0,9	
-107	65,3	-235,3	20,7	-80	41,5	-160,8	1,8	
47	75,7	-101,1	195,7	118	42,2	35,1	200,6	
41	41,1	-39,4	121,7	37	35,8	-32,9	107,2	
-104	110,1	-319,5	112,2	80	14,8	50,6	108,4	
149	87,2	-22,2	319,8	27	58,0	-86,9	140,5	
-17	46,9	-109,2	74,8	5	12,3	-19,1	29,1	
-96	60,3	-214,5	21,8	24	19,9	-15,3	62,6	
78	13,8	51,3	105,4	102	8,9	84,3	119,4	
Écart type	63			59				
Moyenne	5,07	50,9	-94,8	104,9	-6	39,2	-82,4	71,2
Minimum	4	11,1	-1	1	2	3,8	11,9	0,1
Maximum	203	130,4	-319,5	371,3	-211	106	-325,1	281,6

DM : Différence des moyennes