

Manipulation de l'effet « looming » dans un exercice de préhension à l'aide de la réalité virtuelle

Travail de fin d'études en vue de l'obtention du titre de
Master of Science en sciences du sport
Option enseignement

déposé par

Théo Fleury

à

l'Université de Fribourg, Suisse
Faculté des sciences et de médecine
Section Médecine
Département des neurosciences et sciences du mouvement

en collaboration avec la
Haute école fédérale de sport de Macolin

Référent

Prof. Jean-Pierre Bresciani

Conseiller / Conseillère

Dr. Jean-Luc Bloechle

Fribourg, juin 2024

Résumé

Cette étude a pour but de comparer les capacités de préhension en fonction de divers stimuli visuels. L'expérience mise en place lors de cette étude confronte les participants à une tâche d'anticipation coïncidence dans laquelle ils doivent intercepter des balles dans un environnement virtuel. Ce type de tâche requière non seulement d'anticiper la trajectoire d'un objet mais également d'établir un schéma d'action adapté pour atteindre l'objectif souhaité. Ce type de tâche est très fréquent dans le monde du sport. Un gardien de football par exemple doit anticiper la trajectoire d'un tir et déclencher une réponse motrice pour intercepter le ballon. De nombreux autres sports tels que le tennis, le volleyball ou encore la Formule 1 confrontent souvent leurs athlètes à des tâches d'anticipation coïncidence.

L'objectif principal de l'étude est de déterminer dans quelle mesure l'effet de looming influence le temps de réaction. L'effet de looming ou expansion optique est relatif à l'augmentation de la taille rétinienne d'un objet en approche. Cela permet notamment de définir si un objet est en train de s'approcher ou de s'éloigner de son observateur. Dans la vie quotidienne et mais également dans le monde du sport, l'effet de looming est une information visuelle essentielle pour estimer le temps avant une collision entre deux éléments. Pour notre expérience, l'effet de looming est manipulé à l'aide de la réalité virtuelle afin d'établir trois conditions dans lesquelles les participants doivent effectuer la tâche. Ces trois conditions de looming sont : l'effet naturel sans manipulation, un effet de looming inversé dans lequel la taille intrinsèque de la balle diminue au fur et à mesure qu'elle s'approche et finalement un effet accentué qui augmente la taille intrinsèque de la balle durant sa trajectoire. Cette technologie est couplée à un système de capture de mouvement afin de mesurer les temps de réaction des participants.

L'analyse des résultats a montré que les différences de seuil de réaction entre les trois conditions n'étaient pas significatives. Ce qui indique que ni l'expansion optique accentuée, ni l'expansion optique inversée n'ont significativement amélioré ou détérioré le temps de réaction des participants.

Finalement, cette recherche démontre que, bien que l'effet looming soit une information visuelle essentielle pour estimer le temps avant une collision, ce type d'information visuel n'influence pas de manière significative le temps de réaction dans des tâches d'anticipation coïncidence en réalité virtuelle. Ces résultats offrent de nouvelles pistes de réflexion pour mieux comprendre l'utilisation des informations de looming afin d'améliorer la rapidité de réaction et les performances sportives qui en dépendent.

Table des matières

1 Introduction	4
1.1 Thématique de l'étude	4
1.2 L'anticipation coïncidence	5
1.3 L'effet de « looming ».....	6
1.4 La réalité virtuelle	11
1.5 Objectif de l'étude	12
2 Méthode.....	14
2.1 Échantillon de participants	14
2.2 Matériel	14
2.3 Protocole de passation	16
2.4 Analyse statistique des données	20
3 Résultats	22
3.1 Comparaison des performances.....	22
4 Discussion	25
4.1 Évaluation des hypothèses	25
4.2 Rapport à la littérature	25
4.3 Limites de l'étude.....	26
4.4 Améliorations	28
5 Conclusion.....	30
Bibliographie.....	31
Annexe	34
Remerciements	36

1 Introduction

1.1 Thématique de l'étude

Cette étude tente de comparer les capacités de préhension en fonction de différents stimuli visuels. Dans le cadre de ce travail, les divers stimuli visuels sont manipulés à l'aide de la réalité virtuelle et les mouvements des participants sont enregistré grâce au système de capture de mouvement Optitrack.

Les compétences liées à l'anticipation et à la prise de décision sont des composantes essentielles de la performance sportive. Les exemples dans lesquels l'anticipation et la prise de décision à un rôle majeur dans la performance sportive sont innombrables. Un des exemples les plus parlant est le gardien de football. En effet, ce dernier doit anticiper la trajectoire de la balle afin d'avoir des chances de l'intercepter et empêcher le but. Cependant, d'autres sports tels que le volley, le badminton, le baseball et même la Formule 1 requièrent de pareilles compétences. L'entraînement de ces facteurs est essentiel car il améliore les capacités perceptivo-cognitives, ce qui permet à l'individu de mieux interagir et s'adapter à son environnement (Romeas, 2015). Grâce à une expérience en réalité virtuelle avec des joueurs de football, il a été démontré que les capacités perceptivo-cognitives étaient meilleurs chez les sportifs que chez les non-sportifs. L'entraînement des habilités liées à l'anticipation et à la prise de décision peut donc jouer un rôle important sur la performance sportive (Romeas, 2015).

Lors d'un service au tennis, le receveur tente d'anticiper la trajectoire de la balle en observant le mouvement de son adversaire et de sa raquette. Pour cela, il se base sur des schémas similaires déjà observés auparavant afin d'anticiper le résultat de l'action (Dubey et al., 2022). Dans de nombreux sports, il est essentiel que le sportif utilise les informations de son environnement de manière optimale afin de sélectionner une réponse adaptée à la situation (Broadbent et al., 2014). Dans l'exemple du tennis, le receveur doit estimer le moment d'arrivée de la balle et l'endroit dans l'espace où il souhaite la frapper. Au même moment, il planifie sa réponse motrice afin qu'elle coïncide avec l'arrivée de la balle. Il s'agit alors d'une tâche d'anticipation-coïncidence (Belisle, 1963).

Dans notre étude, les participants doivent anticiper des trajectoires de balles dans un monde virtuel et déclencher une réponse motrice adaptée dans le but d'intercepter les balles. Ils sont donc confrontés à une tâche d'anticipation-coïncidence car ils doivent estimer le moment et le lieu où la balle vont arriver et par la même occasion, planifier leur réponse motrice pour stopper la balle.

En temps normal, l'effet looming est une information visuelle permettant de distinguer un objet qui s'approche de son observateur d'un objet qui s'éloigne grâce à l'augmentation ou la diminution de la taille rétinienne d'un objet (Schiff, 1965). Dans notre étude, cette information visuelle est modifiée artificiellement par un casque de réalité virtuelle. Comme évoqué précédemment, le sportif utilise une multitude d'information, principalement visuelles, pour anticiper une trajectoire. Les informations visuelles sont nombreuses et complexes. Cette étude se concentre sur une information visuelle précise, à savoir, l'effet de looming dans une activité d'anticipation-coïncidence.

1.2 L'anticipation coïncidence

L'interception d'un objet en mouvement implique la réalisation d'une réponse motrice qui doit correspondre avec la trajectoire de ce même objet dans un point précis de l'espace. Cette habilité se nomme anticipation-coïncidence et requière une prise d'information spatio-temporelle pour réaliser une tâche. L'individu effectuant une tâche d'anticipation coïncidence doit donc se servir des stimuli perceptifs et utiliser ses notions spatiales et temporelles simultanément (Belisle, 1963). Lors de l'apprentissage d'une tâche d'anticipation coïncidence, diverses stratégies peuvent être sélectionnées pour améliorer la performance. Parmi les deux dimensions (spatiale et temporelle), le sujet peut choisir de se concentrer uniquement sur l'une des deux pour avoir un meilleur résultat. Il peut donc décider de favoriser une meilleure précision spatiale, en se concentrant uniquement sur le point de l'espace visé ou une meilleure précision temporelle en ayant un meilleur timing. Une troisième stratégie qui prête attention aux deux dimensions simultanément peut également être adoptée (Ramella, 1982). Selon Schmidt (1968), l'anticipation se définit par la capacité à établir un schéma d'action en fonction de son temps de réaction alors que la coïncidence est l'habilité à estimer à quel moment un objet en mouvement va atteindre un point précis de l'espace.

Comprendre le principe d'anticipation-coïncidence rend compte que le monde du sport est rempli de tâches de ce type. Les duels sportifs tels que ceux qu'on peut retrouver dans le badminton, l'escrime ou la boxe sont relativement fournies en termes de tâche d'anticipation coïncidence. Les situations dans lesquels sont confrontés les sportifs de ce genre demandent un niveau d'attention visuelle extrêmement élevé car l'incertitude spatio-temporelle y est omniprésente (Azémar et al., 2008).

Le système visuel et moteur des sportifs nécessaires à la réalisation de tâche d'anticipation coïncidence s'adaptent en fonction des stimuli apportés lors de l'entraînement. En effet, Akpinar et al. (2012) ont testé des joueurs de tennis, badminton et tennis de table avec trois vitesses de

stimuli différentes (faible, modérée et rapide). Le but de l'expérience est de confronter les trois groupes de sportifs aux différentes exigences des trois sports en matière de vitesse de stimuli. Les résultats montrent une meilleure précision des joueurs de tennis de table lorsque la vitesse du stimuli est élevée. En revanche, les joueurs de badminton ont quant à eux obtenu de meilleurs résultats lorsque la vitesse des stimuli était modérée, c'est-à-dire à une vitesse semblable à un échange en badminton. Enfin, les joueurs de tennis ont réussi à obtenir une meilleure précision lorsque la vitesse était faible. Ces observations démontrent que la synchronisation anticipation coïncidence est propre à chaque type de sport et que le sportif est plus précis lorsqu'il s'agit d'un stimuli similaire à celui qu'il a l'habitude de recevoir à l'entraînement (Akpınar et al., 2012). Kim et al. (2013) ont testé des sujets sous diverses contraintes spatio-temporelles et sont également arrivés à la même conclusion en mettant en évidence l'adaptabilité des habilités d'anticipation coïncidence des individus.

1.3 L'effet de « looming »

1.3.1 Définition

Dans un environnement naturel, l'être humain est capable de distinguer les objets qui s'éloignent de ceux qui s'approchent. Cet effet visuel qui crée une expansion optique d'un objet est appelé *looming* (Schiff, 1965). Selon Lee (1976), cet effet de perspective optique est une information visuelle que le cerveau utilise pour estimer le temps avant la collision entre un objet et son observateur. Lorsqu'un objet s'approche d'un observateur, la dimension rétinienne de cet objet augmente. En d'autres termes, cela signifie que l'objet en approche prend de plus en plus de place dans le champ de vision de l'observateur au fur et à mesure que celui-ci se rapproche. À l'inverse lorsqu'un objet s'éloigne de son observateur, la taille apparente, ou la taille rétinienne de cet objet diminue (Li, 2006). Par exemple, lorsqu'un individu conduit un véhicule et que la voiture qui le précède se met à ralentir, la taille rétinienne de la voiture qui précède s'agrandit. Le conducteur utilise alors cette information pour savoir à quel moment il doit déclencher son freinage pour éviter la collision (Li & Milgram, 2004). Selon Schiff (1965), lorsqu'un objet s'approche de son observateur à vitesse constante, l'augmentation de la taille rétinienne de cet objet s'accélère et devient extrêmement rapide dans les derniers instants qui précèdent l'impact. Cela signifie qu'au fur et à mesure que l'objet s'approche, la taille angulaire de celui-ci croît de à une vitesse exponentielle plutôt qu'à une vitesse constante. Schiff (1965) appelle cela « l'explosion optique », un effet qui apparaît lorsque l'objet en approche

commence à remplir la majeure partie du champ visuel de son observateur, soit 180°. À cet instant, l'observateur comprend que la collision est imminente.

Pour mieux comprendre cet effet de looming, il est utile d'expliquer ce qu'utilise le cerveau comme information pour percevoir un objet en approche. Pour cela, le cerveau doit avant tout être capable d'estimer la taille d'un objet à des distances différentes. Si un individu voit une maison au loin, il est capable d'estimer assez précisément la taille de celle-ci, par exemple 5 mètres de haut. Lorsque cet individu se trouve à côté de cette même maison, sa perception sera complètement différente, l'individu va se sentir plus petit mais son estimation de la taille de la maison ne va quand-à-elle probablement pas changer et rester 5 mètres. Comment fait-il pour garder la même estimation sachant que sa perception change ? Plusieurs informations sont utilisées par l'individu, l'une des principales est le degré d'angle visuel (McCready, 1965). Le degré d'angle visuel est une mesure de la taille apparente d'un objet dans le champ de vision. Plus un objet est proche, plus l'angle visuel de cet objet est grand. À l'inverse, plus un objet est éloigné, plus son angle visuel est petit. Le cerveau utilise donc cette information donnée par l'angle visuel pour estimer la distance entre l'observateur et l'objet. En d'autre terme, c'est cette capacité du cerveau qui permet de percevoir la profondeur et donc, le monde en trois dimensions (McCready, 1965).

Lorsqu'un gardien de but reçoit un tir, la taille de la balle sur la rétine du gardien s'agrandie. Cette expansion optique fournie par le flux optique indique que plus la taille de la balle grandit rapidement, plus la vitesse du tir est élevée. Cependant, selon David Lee (1976), ce n'est pas le calcul de la vitesse de la balle ni la distance la séparant le gardien de la balle qui fournit les informations permettant de déclencher un plongeon, mais une autre variable qu'il appelle la variable optique tau. Cette variable est définie comme l'inverse du taux d'expansion relatif de l'image de l'objet sur la rétine (Lee, 1976). Pour résumer cette variable est étroitement liée au temps avant une collision.

1.3.2 Études antérieures sans manipulation de l'effet « looming »

L'être humain n'est pas le seul être vivant à percevoir l'agrandissement optique d'un objet lorsque celui-ci se rapproche. En effet, Schiff, Caviness et Gibson (1962) ont été parmi les premiers chercheurs à étudier le phénomène de looming. Pour cela, ils ont mis en place une expérience grâce à laquelle ils ont découvert que les singes activaient des mécanismes de défense lorsqu'ils étaient confrontés à des stimuli visuel de looming. Ces observations ont également été faites sur certains insectes (Hassenstein & Hustert, 1999). Cette réaction montre que les animaux arrivent aussi à anticiper une collision grâce à l'agrandissement optique fourni par leur système

visuel. Ces mêmes constatations ont également été observé chez des enfants en bas âge par Bower et al. (1970). Ces derniers ont même remarqué que le système visuel chez l'enfant est plus fiable que le système tactile pour contrôler des mouvements de préhension avec précision. Cela signifie que l'adaptation à la forme, à la taille et à la dureté d'un objet est mieux différenciée lorsqu'elle est basée sur des informations visuelles plutôt que sur des informations tactiles (Bower et al., 1970). Pour aller plus loin, Schiff et Detweiler (1979) ont mis au point une expérience dans laquelle les participants voient des formes noires s'approcher avant de disparaissent à un moment de leur trajectoire. Dans cette expérience, les observateurs doivent estimer en pressant un bouton, l'instant où les formes seraient entrées en collision avec eux si elles avaient continué leur trajectoire initiale. Les résultats de cette étude montrent que les estimations restent relativement précises lorsque le temps d'occultation est inférieur à 10 secondes (Schiff & Detweiler, 1979). Une étude similaire de Vagnoni et al. (2012), a permis d'observer un phénomène intéressant. Des participants ayant la phobie des araignées ou des serpents ont été sélectionnés et confrontés à des stimuli effrayants. Les chercheurs ont remarqué que lorsque le contenu des stimuli de looming étaient effrayants comme par exemple une araignée pour un arachnophobe, le temps avant la collision était sous-estimé par les participants. Cela signifie que l'émotion telle que la peur peut modifier la perception d'objets en mouvement (Vagnoni et al., 2012). Bien que Schiff et Detweiler (1979) ont obtenu des résultats intéressants à l'aide d'un simple bouton que les participants devaient presser à l'instant où ils estimaient que l'objet les atteindrait, Bootsma (1989) a remis en question la précision de cette synchronisation visuelle lorsque celle-ci se faisait à l'aide d'un bouton à presser. Pour démontrer cela, il a mis en place une expérience dans laquelle les sujets devaient frapper une balle sous différentes conditions : avec une raquette, un bras artificiel et un bouton à presser. Les résultats obtenus ont montré que la variabilité du moment d'initiation était la plus élevée lorsque les sujets devaient appuyer sur un bouton au moment de l'impact de la balle. La condition dans laquelle les sujets utilisaient leur bras naturel était celle qui présentait le plus de précision. Cela suggère que plus l'action nécessite un lien naturel entre la perception et l'action, plus le moment d'initiation est précis lorsqu'il s'agit d'une trajectoire fixe (Bootsma, 1989).

Comme expliqué auparavant, les informations reçues au niveau de la rétine permettent de percevoir la hauteur et la largeur, soit deux dimensions de l'image, la troisième dimension, la profondeur est perçue grâce au cerveau (McCready, 1965). En effet, il a été démontré que des sujets étaient capables d'estimer précisément le temps d'arrivée d'objets provenant d'endroits différents, de taille différente et allant à des vitesses différentes uniquement grâce à des informations en deux dimensions (Todd, 1981).

Pour aller plus loin, Yan et al. (2011) étudié précisément l'utilisation de la variable optique tau. Pour cela, ils ont mis en place une expérience dans laquelle les participants étaient exposés à des représentations visuelles de deux objets différents s'approchant successivement. Ensuite, les participants avaient pour tâche de comparer leur temps avant la collision au moment où les objets disparaissaient. Après avoir séparé différentes variables pouvant influencer la perception du temps avant la collision, les chercheurs ont réussi à démontrer que les sujets étaient plus sensibles aux changements de la variable tau plutôt que d'autres informations telles que la distance avant la collision, la taille ou la vitesse des objets. En résumé, pour évaluer le temps de collision, malgré la disponibilité d'autres sources d'information monoculaires, les observateurs préfèrent se baser sur l'estimation du temps avant la collision (tau) plutôt que l'estimation de la distance restante avant la collision (Yan et al., 2011). De nombreuses autres études confirment et montrent que la variable optique tau est l'information principale utilisée pour spécifier le moment de contact entre deux objets, c'est notamment le cas de Lee et al. (1982). Ces derniers ont constaté que la variable en question était l'information choisie par les athlètes pour ajuster leur foulée à la planche d'appel lors de la phase d'élan en saut en longueur. Cela peut s'expliquer par le fait que tau (l'inverse de la vitesse d'expansion de l'image rétinienne de la planche d'appel) est un paramètre optique qui n'est pas perturbé par les mouvements latéraux et verticaux de l'œil lorsque l'athlète est en train de courir. En d'autres termes, la variable optique tau est la source d'information la plus fiable et lorsque l'observateur n'est pas stable (Lee et al., 1982). En suivant le même raisonnement, Warren, Young et Lee (1986) se sont intéressés à la régulation visuelle de la longueur des pas lors d'une course sur un terrain irrégulier. Ils sont arrivés à la conclusion que l'impulsion verticale de la foulée était influencée principalement par la variable optique qui permet au coureur de savoir l'intervalle de temps qui doit être comblé entre deux foulées (Warren et al., 1986). Il a également été démontré que l'estimation du temps avant la collision était également utilisé dans d'autres domaines différents. C'est notamment le cas des sauteurs en trampoline. La préactivation musculaire pour l'atterrissage des sauteurs étaient déclenché sur la base de la variable optique tau (Lee et al., 1982). Ces mêmes constatations ont été faites par Sidaway et al. (1989) lors de chutes de différentes hauteurs de caissons.

Ces nombreux exemples montrent que l'information visuelle donnée par l'expansion rétinienne d'un objet, appelée plus communément l'effet looming, donne des informations fondamentales pour estimer le temps avant une collision, définie par la variable tau. Celle-ci est utilisée en priorité pour prédire l'impact entre deux éléments. L'effet de looming fournit donc des informations essentielles prise en compte par le cerveau lors de diverses situations impliquant une

trajectoire suivie d'une collision entre deux objets ou entre un objet et une partie du corps humain telle que le pied ou la main.

1.3.3 Études antérieures avec manipulation de l'effet « looming »

L'ensemble des études évoquées dans le paragraphe précédent permettent d'affirmer que l'expansion optique, en d'autres termes, l'effet looming est une source d'information importante pour anticiper une collision entre deux objets. Cependant, jusqu'ici, aucune étude mentionnée n'a manipulé l'expansion optique afin d'en observer les conséquences sur le comportement. Savelsbergh et al. (1991) ont été parmi les premiers à modifier l'expansion optique d'un objet lors d'une expérience scientifique. Dans leur étude, les sujets avaient pour tâche d'attraper trois balles de tailles différentes dont l'une d'elle se dégonflait durant sa trajectoire, modifiant ainsi l'expansion optique de la balle. Les résultats de cette étude montrent que les participants ont ajusté leurs actions de préhension au changement de la taille de la balle sans qu'ils soient conscients que celle-ci se dégonflait. Cela montre que les informations fournies par le système visuel, sont prises en compte durant l'entièreté de l'action. Les sujets n'utilisent donc pas un schéma d'actions préprogrammées mais s'adaptent aux variations des stimuli visuels. Les chercheurs ajoutent que même les informations des 200 dernières millisecondes avant le contact sont utilisées pour ajuster les mouvements des sujets. Il s'agit également du laps de temps durant lequel l'expansion optique d'un objet est la plus perceptible et cela fournit des informations précises sur le moment de contact. Toutefois, les sujets de cette étude étaient confrontés à des balles allant à des vitesses relativement faibles, ce qui fournissait une fenêtre temporelle suffisamment longue pour l'adaptation de leurs mouvements (Savelsbergh et al., 1991).

Une autre étude menée par Li (2006) a analysé le comportement de freinage de conducteurs lors de quatre expériences de conduite automobile virtuelle. Dans les expériences faites au moyen d'un écran de télévision, des pédales de conduite et un volant, les participants devaient suivre un véhicule qui roulait normalement puis freinait plusieurs fois à différentes vitesses. De plus, la perception visuelle de la taille de ce même véhicule précédent était parfois manipulée, modifiant ainsi l'effet de looming. Li (2006) a pu observer que l'agrandissement de la taille du véhicule de tête augmentait, cela incitait les conducteurs à freiner plus rapidement. À l'inverse, lorsque la taille du véhicule diminuait, les participants pressaient sur le frein plus tardivement, attestant ainsi que les informations visuelles données par l'effet de looming sont utilisées pour déclencher un freinage d'urgence. Ces résultats suggèrent qu'un système de freinage dynamique placé à l'arrière des véhicules, accentuant artificiellement un effet de looming de manière très rapide pourrait améliorer le contrôle de freinage dans la conduite quotidienne. Une nouvelle

fois, cette étude démontre que les conducteurs ajustent leur freinage en temps réel en fonction des repères visuels, plutôt qu'en réalisant une action préprogrammée (Li, 2006).

En bref, depuis la nouvelle approche écologique de la perception visuelle proposée par James J. Gibson (2014) dans les années 70, l'effet de looming a été largement étudié et continue de l'être. Aujourd'hui, l'effet de looming ou l'expansion optique est un sujet relativement bien compris dans le milieu de la psychologie de la perception. Toutefois, parmi les nombreuses expériences présentées dans cette section, peu d'entre-elles ont manipulé artificiellement le stimuli visuel afin de modifier la perception du looming. Seul Savelsbergh, Whiting et Bootsma (1991) ainsi que Li (2006), dans la suite de son travail en collaboration avec Milgram (2004), l'ont fait à notre connaissance.

1.4 La réalité virtuelle

La réalité virtuelle est une technologie qui simule un environnement artificiel en trois dimensions. Cette technologie offre des possibilités infinies pour recréer ou imaginer une situation sportive ou de la vie quotidienne. Bien que la réalité virtuelle ait beaucoup évolué au fil du temps, elle connaît un engouement croissant dans le monde du sport depuis les années 1990. Les applications sont multiples : évaluation de performances, entraînements, pratique de compétences spécifiques. Combinée à un système de capture de mouvement, cette technologie peut reproduire des situations davantage fidèles au monde réel (Neumann et al., 2018).

Les avantages de la réalité virtuelle sont multiples. L'un des principaux est que l'environnement virtuel est totalement sous le contrôle du chercheur. Autrement dit, il est possible de choisir l'entièreté des stimuli visuels réalistes auxquels les participants vont faire face. De plus, ces stimuli sont extrêmement précis, de l'ordre de la milliseconde, ce qui est avantageux par rapport à une expérience dans un environnement naturel. L'environnement virtuel peut donc être totalement contrôlé, ce qui efface les potentiels biais d'un environnement réel et améliore la validité écologique des recherches (Tachibana & Matsumiya, 2022).

L'action d'intercepter un objet requiert une assimilation de multiples informations visuelles. Plusieurs méthodes sont utilisées dans le monde du sport pour analyser la perception visuelle des athlètes. Vignais et al. (2015) ont mis en place une expérience dans le but de déterminer quelle méthode entre la vidéo et la réalité virtuelle était la plus efficace pour analyser la perception visuelle d'un gardien de handball. La tâche consistait à montrer où le ballon arriverait (vidéo) ou intercepter la balle virtuelle (VR). Les chercheurs ont observé que le gardien était plus précis, efficace et rapide lorsqu'il évoluait dans l'environnement virtuel que lorsqu'il était

face à la vidéo en deux dimensions. La réalité virtuelle est donc une méthode qui permet une meilleure transférabilité des résultats dans des situations sportives réelles (Vignais et al., 2015). Cette conclusion rejoint celle de Bootsma (1989) présentée dans la section précédente.

Une autre comparaison intéressante a été faite auprès de joueurs de tennis afin d'évaluer la représentativité de cette méthode par rapport à une situation réelle. Les auteurs de cette étude ont remarqué que les joueurs utilisaient les mêmes positions, peu importe s'ils jouaient en condition réelle ou dans l'environnement virtuel. De plus, comme le montre les indices d'engagement, de perception spatiale et validité écologique, les participants ont ressenti une immersion significative en jouant dans le monde virtuel (Le Noury et al., 2020). Gray (2017) a fait une comparaison similaire entre l'entraînement en monde réel et en monde virtuel. Pour cela, deux groupes ont été entraînés de manière différente. L'un l'a été avec un entraînement répétitif de baseball dans le monde réel alors que l'autre l'a été avec un entraînement répétitif dans un environnement virtuel. La différence principale était que la réalité virtuelle offrait la possibilité d'adapter l'entraînement au niveau de compétence de chaque athlète. Lors du post test qui s'est déroulé dans des conditions réelles, les groupes ayant reçu un entraînement adaptatif en réalité virtuelle ont présenté une meilleure amélioration de leurs capacités en baseball. L'auteur de cette expérience souligne que l'entraînement adaptatif permet d'envoyer une quantité d'information idéale en fonction du niveau du sujet et de la tâche à réaliser. Bien que la réalité virtuelle ne puisse pas recréer parfaitement un environnement réel, cette méthode permet de mettre en place des entraînements adaptatifs précis difficile à reproduire dans la réalité (Gray, 2017).

La réalité virtuelle est donc une manière alternative pour entraîner les capacités perceptivo-cognitives dans le sport. De plus, cette méthode est intéressante pour mettre en place des stimuli visuels réalistes, précis et choisis par l'expérimentateur. Pour notre étude, les caractéristiques de la réalité virtuelle offrent la possibilité de manipuler l'effet de looming, ce qui serait plus difficilement envisageable dans un laboratoire traditionnel.

1.5 Objectif de l'étude

Mesurer la capacité de préhension en manipulant l'effet perceptif de looming offre de nombreuses perspectives d'analyse. L'objectif principal de ce travail est de déterminer dans quelle mesure l'expansion optique (effet de looming) influence le temps de réaction des participants. Sur le plan scientifique fondamental, l'objectif est d'approfondir la compréhension de l'importance des indices visuels fournis par l'expansion optique d'un objet, dans une tâche d'anticipation-coïncidence, en se concentrant sur la manipulation artificielle de l'expansion optique. Cela

peut amener des pistes relatives à des système d'entraînement des capacités visuelles pour améliorer les performances sportives. La tâche à laquelle sont confrontés les sujets de l'étude est d'intercepter les balles se dirigeant contre eux. Les trois variables sur lesquelles sont testés les participants sont relatives à l'expansion optique de la balle qui est soit normale (Basic), inversée (Smaller) ou accentuée (Bigger). La technologie utilisée offre la possibilité d'isoler les participants dans un monde virtuel dépourvu de distractions, favorisant un résultat plus précis. De plus, comme évoqué dans la section précédente, l'utilisation d'un environnement virtuel permet de modifier aisément et précisément l'effet de looming.

Ce travail a donc pour but de répondre aux questions suivantes :

- a) Une expansion optique accentuée (Bigger), en comparaison à une expansion optique normale (Basic), contribue-t-elle à une amélioration significative du temps de réaction ?
- b) Une expansion optique inversée (Smaller), en comparaison à une expansion optique normale (Basic), contribue-t-elle à une détérioration significative du temps de réaction ?

Sur la base des diverses observations présentées dans les sections précédentes deux hypothèses principales peuvent être formulées :

1. Le temps de réaction est meilleur lorsque l'expansion optique est accentuée (Bigger) que dans les autres conditions.
2. Le temps de réaction est moins bon lorsque l'expansion optique est inversée (Smaller) que dans les autres conditions.

2 Méthode

2.1 Échantillon de participants

Pour prendre part à cette étude, 30 participants âgés entre 20 et 28 ans ($M=23,8 \pm 1,69$ ans) ont été sélectionnés. Le tiers de cet échantillon étaient des femmes. La grande majorité des sujets (28) avaient une pratique sportive régulière. Après avoir reçu les explications du déroulement de l'expérience, tous les participants ont signé un formulaire de consentement (annexe 1) indiquant qu'ils acceptaient librement et de façon éclairée prendre part à la recherche. De plus, le formulaire les informait qu'ils avaient la possibilité de quitter l'expérience à tout moment. Avant le début de l'expérience, les participants ont également fourni des informations personnelles telles que leur âge, leur genre et leurs habitudes sportives qui ont ensuite été enregistrées dans un document (annexe 2).

2.2 Matériel

Dans le but d'enregistrer les mouvements des participants et de leur envoyer les stimuli visuels à travers un environnement virtuel, plusieurs équipements étaient nécessaires. Le logiciel utilisé pour capturer les mouvements des sujets était le système NaturalPoint OptiTrack. Le système employé était composé de 24 caméras infrarouges PrimeX 22 (figure 1) placées dans le laboratoire (Control & Perception Laboratory) permettant de traquer les mouvements en temps-réel. Afin d'enregistrer les mouvements des marqueurs rétro-réfléchissants, les 24 caméras étaient reliées à un ordinateur muni du logiciel Motion. En particulier, les mouvements des mains et de la tête des participants étaient enregistrés. Pour cela, les sujets de l'expérience enfilèrent deux gants (figure 2) sur lesquels étaient fixés 5 marqueurs (perceptibles par les caméras PrimeX 22). Les participants portaient un casque de réalité virtuelle, plus précisément, le modèle Pimax VR 8k. Sur ce même casque étaient accrochés 8 marqueurs afin de faire correspondre les mouvements de la tête des participants à l'environnement virtuel qu'ils voyaient dans l'écran du casque. Pour gérer le fonctionnement de ce casque VR, le logiciel PiTool était également installé sur l'ordinateur. Le programme CopeLabVR était quant-à-lui consacré à produire les stimuli visuelles qui apparaissaient dans l'écran du casque. Plus simplement, CopeLabVR peut être vulgairement décrit comme le « jeu » dans lequel les participants étaient plongés.

Lorsque tout était en place, à travers le casque VR, les participants voyaient un terrain vague vert ainsi que le ciel en bleu. Devant eux, se trouvait un bouton orange sur lequel ils devaient poser leur main. Lorsque les deux mains étaient virtuellement sur le bouton orange, ce dernier

devenait gris, puis disparaissait. La disparition du bouton indiquait que la balle allait partir dans un délai variable mais relativement court. Après chaque essai, le bouton orange réapparaissait. Lorsque la balle était interceptée avec succès, un signal auditif était envoyé par le casque. Après un échec, un signal auditif différent était envoyé, indiquant que la balle n'avait pas été interceptée.

Figure 1

Caméra infrarouge PrimeX 22



Note. L'une des 24 caméras infrarouges PrimeX 22 permettant d'enregistrer les mouvements en temps réel des marqueurs rétro-réfléchissants placés sur les gants des participants et le casque VR.

Figure 2

Deux gants avec chacun 5 marqueurs



Note. Les deux gants portés par les participants lors de l'expérience avec chacun 5 marqueurs rétro-réfléchissants permettant d'enregistrer les mouvements des mains en temps réel.

2.3 Protocole de passation

2.3.1 Design expérimental

L'expérience de cette étude se compose d'une seule étape, elle-même divisée en trois parties distinctes. Ces trois parties représentent les trois variables indépendantes de l'étude, à savoir une expansion optique de la balle normale (Basic), inversée (Smaller) et accentuée (Bigger). L'expérience est réalisée avec un plan intra-sujets, c'est-à-dire que tous les sujets passent à travers toutes les conditions de l'expérience. Afin d'éviter les biais méthodologiques et contrôler l'effet de l'ordre de passation, un modèle de contrebalancement complet a été utilisé. Les 30 participants ont été répartis en six groupes aléatoirement, dans le but que chacun des groupes ait un ordre différent de passage. Ainsi, les six possibilités d'ordre de passage ont toutes été traitées par un nombre égal de participants.

Une fois l'expérience en place, les participants débutaient avec une première partie dans laquelle 60 balles étaient à intercepter. Les trois types d'expansion optique (Basic, Smaller, Bigger) pour chaque session étaient définis par l'ordre de passage établi auparavant par le contrebalancement complet. Une fois les 60 premiers essais effectués, un signal sonore accompagné d'un message indiquant que la session était terminée s'affichait dans le casque. À cet instant, les participants étaient invités à enlever le casque et faire une pause de 4 minutes. Étant donné

que cette expérience nécessite une grande concentration, cette pause avait pour but de permettre aux participants de se reposer avant d'entamer la suite de l'expérience. Après la pause, les sujets remettaient le casque et commençait la deuxième session. La méthodologie employée était la même qu'à la première session et ainsi de suite jusqu'à la fin de la troisième session. Une fois les trois sessions effectués, l'expérience était terminée. En résumé, l'expérience était composée de trois sessions de 60 balles, ce qui fait un total de 180 balles, ainsi que deux fois 4 minutes de pause.

2.3.2 Instructions

Après avoir pris connaissance du déroulement et lu le protocole de l'expérience, les participants avaient la possibilité de poser d'éventuelles questions. Toutefois, les hypothèses de l'étude ne leur étaient pas précisées. Quand que tout était clair, ils étaient invités à lire et signer le formulaire de consentement. Ensuite, quelques informations personnelles telles que leur âge, leur genre et leurs habitudes sportives et leur était demandées. Une fois que ces formalités administratives étaient remplies, les participants pouvaient se rendre dans la salle de capture de mouvement et enfiler les deux gants préparés préalablement. Avant de mettre le casque de VR, ils étaient invités à placer leurs mains par terre dans une direction demandée afin de calibrer adéquatement l'orientation leurs mains dans le monde virtuel. La dernière étape avant le début de l'expérience consistait à mettre le casque VR sur leur tête et l'ajuster correctement grâce à la roulette située à l'arrière du casque, permettant de serrer ou desserrer celui-ci. Enfin, les participants étaient invités à décrire brièvement ce qu'ils voyaient afin de vérifier que tout fonctionnait bien. Après cela, les sujets avaient pour tâche de s'avancer en face et à une distance atteignable du bouton orange, servant à d'enclencher les lancers de balle et démarrer l'expérience. Durant les sessions, les discussions étaient évitées au maximum avec les participants et ces derniers n'étaient pas informés de combien il restait de balle avant la fin de la session. Ceci dans le but d'éviter des biais et favoriser des résultats les plus fiables possibles.

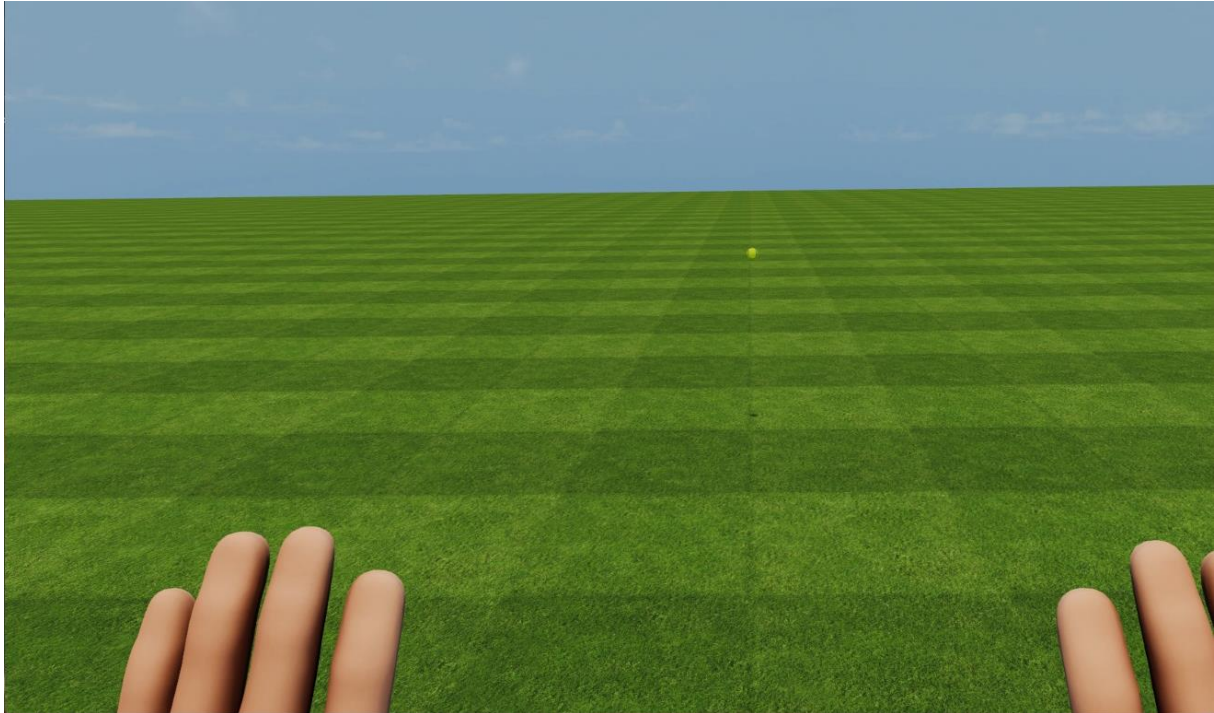
2.3.3 Expansion optique normale, inversée et accentuée

L'expansion optique normale (Basic) est une des trois variables auxquels tous les participants ont été testés. Une expansion optique dite normale signifie qu'elle présentait un stimulus visuel habituel. C'est-à-dire que l'effet de looming était bien présent et représenté de manière réaliste lorsque la balle arrivait proche des participants. Sur le logiciel CopeLabVR, l'échelle (Scale) représente la taille intrinsèque de la balle et cette échelle était donc toujours égale à 1, peu importe si la balle était proche ou éloignée. Dans la vraie vie, la taille intrinsèque des objets ne

change pas, l'expansion optique normale était donc une représentation classique d'un objet en approche.

Figure 3

Condition Basic

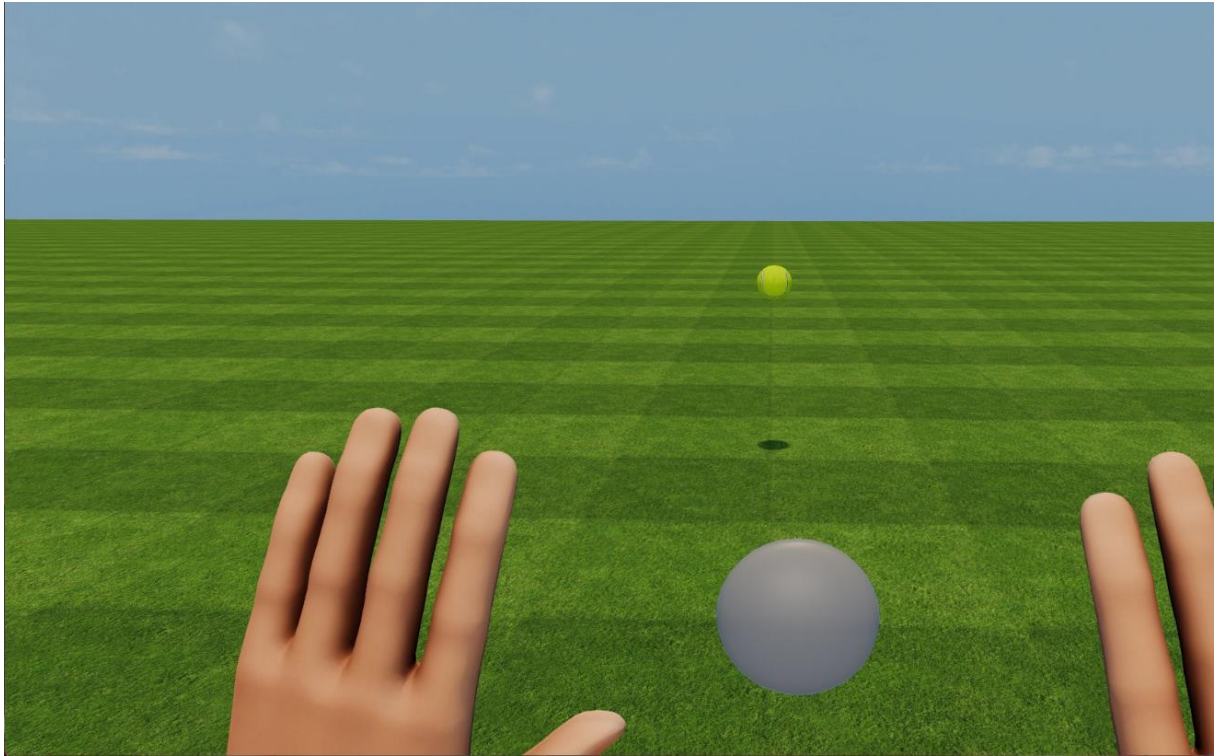


Note. Vision des participants avant le départ de la balle en condition Basic. À cet instant, la balle se trouve à 5 mètres et a une taille standard.

L'expansion optique inversée (Smaller) était une des variables pour laquelle l'utilisation de la réalité virtuelle était pratique. En effet, une expansion virtuelle inversée n'est théoriquement pas possible dans un environnement réel car il s'agit d'une situation dans laquelle plus un objet s'approche, plus sa taille intrinsèque diminue. Dans notre étude et sous cette variable, lorsqu'une balle s'approchait, la taille de la balle en elle-même diminuait d'une part, mais d'autre part, la taille rétinienne de cette même balle augmentait. Par conséquent l'effet de looming était perturbé et pas représentatif d'une situation réelle. Dans CopeLabVR, l'échelle était égale à 3 (Scale = 3) lorsque la balle était à 5 mètres du participants (point de départ), puis, au fur et à mesure que la balle s'approchait, l'échelle diminuait. À l'instant où la balle atteignait l'individu, l'échelle de la balle était de 1 (Scale = 1). La balle était donc trois fois plus grande au moment où elle partait qu'au moment où elle arrivait. Cet effet a donc pour but de réduire l'effet de looming.

Figure 4

Condition Smaller

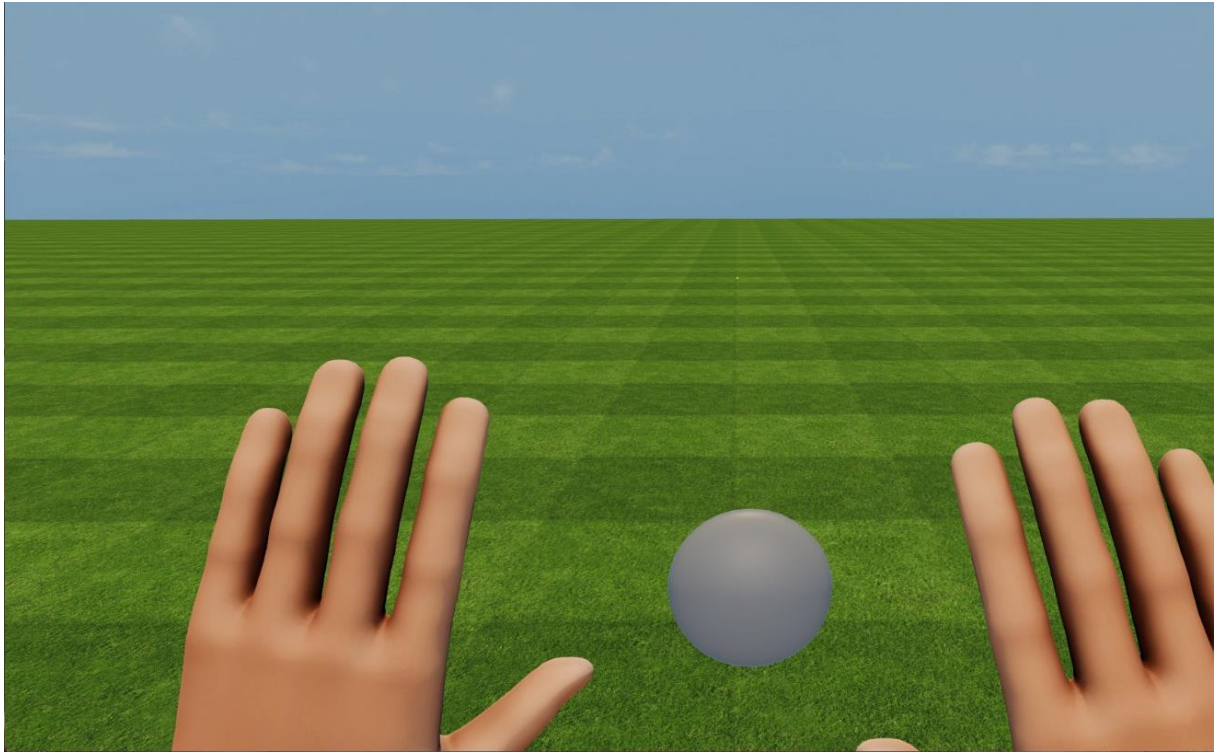


Note. Vision des participants avant le départ de la balle en condition Smaller. À cet instant, la balle se trouve à 5 mètres et a une taille supérieure par rapport à une balle de tennis standard.

La troisième variable indépendante (Bigger) était une expansion optique accentuée. Il s'agit de la situation opposée à l'expansion optique inversée. Cette variable présentait une balle trois fois plus petite lorsqu'elle était à 5 mètres (Scale = 0.33) que lorsqu'elle atteignait le participant (Scale = 1). Cette fois-ci, plus la balle s'approchait, plus la taille intrinsèque de celle-ci augmentait. De nouveau, il s'agit d'une situation dans laquelle l'effet de looming n'est pas représenté de manière réaliste car dans ce cas, il est accentué.

Figure 5

Condition Bigger



Note. Vision des participants avant le départ de la balle en condition Bigger. À cet instant, la balle se trouve à 5 mètres et a une taille inférieure par rapport à une balle de tennis standard.

2.4 Analyse statistique des données

Les analyses statistiques effectuées avaient pour but de déterminer si les conditions de looming (Basic, Smaller, Bigger) affectaient la performance dans un exercice de préhension en réalité virtuelle. Ici, la performance était définie par le seuil de réaction qui constitue donc la variable dépendante. La vitesse des balles augmentait en fonction des résultats du sujet. Autrement dit, si un participant enchaînait les réussites, le temps qu'il fallait aux balles suivantes pour atteindre le participant diminuait. À l'inverse si une personne échouait plusieurs fois d'affilé, les balles allaient ensuite arriver moins vite. La vitesse de la balle était déterminée par une donnée temporelle qui représentait le temps qu'il faut à la balle pour atteindre le participant (temps avant collision). Le temps initial pour la première balle de chaque session était de 0,5 secondes, puis était adapté en fonction de la performance. La variable dépendante, qui signifie celle que l'on mesure, était le seuil de réaction (exprimé en seconde). Ce seuil permettait d'évaluer la performance du participant en fonction des différentes conditions de looming présentées précédemment.

Pour cela plusieurs tests statistiques ont été effectués. D'abord un test omnibus permettant d'évaluer si des différences significatives existaient entre les trois moyennes étudiées. Plusieurs tests de ce genre existent, cependant pour notre analyse, le test de Friedman a été choisi. Ce dernier est un test non-paramétrique utilisé pour des mesures répétées. Le test de Friedman permet donc de détecter s'il existe des différences significatives dans un ensemble de moyennes mais n'indique pas précisément quelle paire de moyennes présente des différences significatives. Pour savoir cela, un deuxième test doit être effectué. Dans notre étude, le test de rangs signés de Wilcoxon a été utilisé. Il s'agit d'un test non-paramétrique pour comparer deux échantillons appariés. Ce test a permis d'évaluer spécifiquement les différences entre chaque paire. Les deux tests utilisés sont dits non-paramétriques, ce qui signifie qu'ils ne nécessitent pas d'hypothèse sur la distribution des données traitées. Ils sont donc utiles lorsque les données ne sont pas distribuées normalement. Dans notre étude, l'échantillon de 30 participants était suffisant pour détecter des différences significatives entre les trois conditions mais ce nombre était trop petit pour supposer une distribution normale des données. C'est pourquoi ces deux tests non-paramétriques ont été choisis pour l'analyse statistique.

3 Résultats

3.1 Comparaison des performances

Les performances des chaque participant ont été enregistrées. Cependant, les données fournies par trois des 30 participants n'ont pas pu être traitées. Les analyses ont donc été faites à l'aide d'une base de données de 27 participants au lieu de 30. Les données récoltées lors de l'expérience ont permis de déterminer le seuil de réaction (en ms) de chaque participant dans les trois conditions (Basic, Smaller, Bigger). Les analyses ont ensuite permis de comparer la différence du niveau de performance (définie par le seuil de réaction) en fonctions des trois conditions de l'expérience.

La moyenne des seuils de réaction (en ms) en condition Basic ($M=387.73 \pm 79.56$) était inférieure à la moyenne des seuils de réaction en condition Bigger ($M = 409.72 \pm 78.17$). C'est en condition Smaller que la moyenne était la plus grande ($M=410.88 \pm 91.60$). Toutefois, selon le test de Friedman, ces différences ne sont pas significatives ($\chi^2(2) = 0.78$, $p=0.68$ (i.e., $p>.05$)). Le test de rangs signés de Wilcoxon permettant de faire les comparaisons par paires, confirme cette absence de différence significative entre les moyennes ($p>.05$). En d'autres termes, les seuils de réactions des participants ne sont pas significativement affectés par la condition de looming.

Tableau 1

Seuil de réaction (en ms) en fonction de la condition de looming

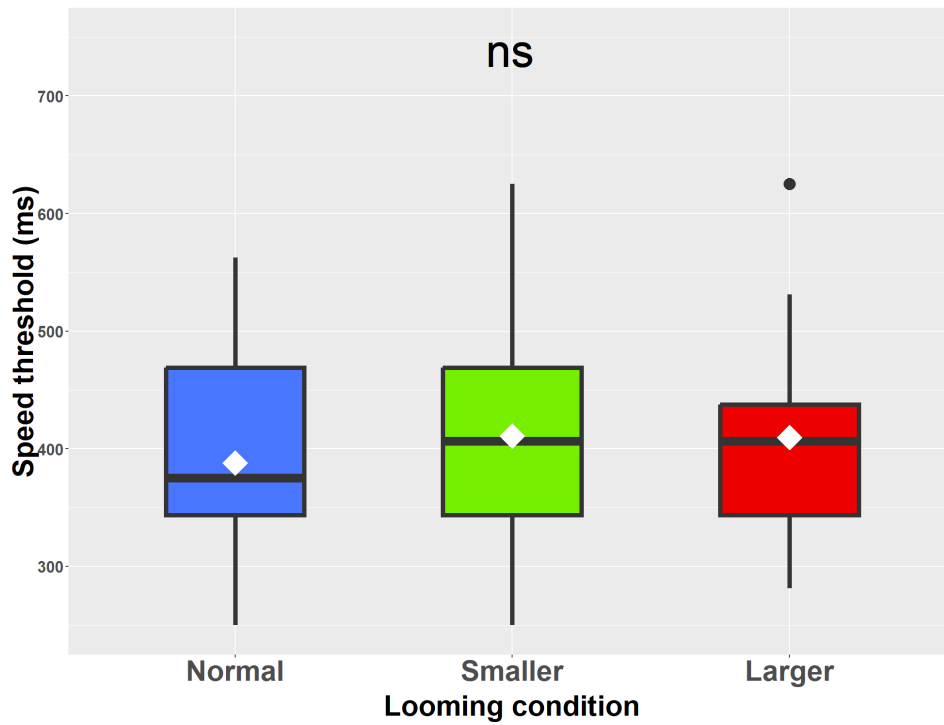
Participant	Basic	Smaller	Bigger
1	468.75	437.50	437.50
2	343.75	468.75	312.50
3	343.75	343.75	406.25
4	250.00	343.75	375.00
5	468.75	437.50	406.25
6	343.75	281.25	312.50
7	375.00	468.75	406.25

Participant	Basic	Smaller	Bigger
8	343.75	375.00	375.00
9	375.00	406.25	406.25
10	500.00	531.25	531.25
11	375.00	406.25	500.00
12	500.00	343.75	343.75
13	375.00	250.00	343.75
14	281.25	468.75	343.75
15	375.00	625.00	437.50
16	343.75	343.75	437.50
17	312.50	281.25	375.00
18	437.50	281.25	343.75
19	468.75	437.50	437.50
20	375.00	437.50	375.00
21	281.25	375.00	343.75
22	468.75	500.00	437.50
23	562.50	500.00	437.50
24	500.00	500.00	500.00
25	343.75	406.25	281.25
26	343.75	312.50	531.25
27	312.50	531.25	625.00

Note. Tableau des seuils de réaction exprimé en millisecondes pour chaque participant et pour chacune des trois conditions. Le résultat est compris entre 0 et 1000, plus le seuil est proche de 0, meilleur est le seuil de réaction et donc, la performance.

Figure 6

Boxplot des trois conditions de looming



Note. Boxplot représentant la moyenne des seuils (losange blanc), la médiane (barre horizontale noire), les quartiles ainsi que les maxima et minima dans chacune des trois conditions de looming (Basic, Smaller, Bigger). Plus les valeurs sur l'axe des Y sont petites, meilleur est la performance (Speed threshold (ms)).

4 Discussion

4.1 Évaluation des hypothèses

L'analyse de résultats permet de répondre aux hypothèses de notre études. Tout d'abord, les résultats obtenus ont montré des différences dans les moyennes des seuils de réaction mais aucune de ces différences n'est significative. Cela veut dire que dans notre expérience, les conditions de looming n'ont pas influencé le temps de réaction des participants. La première hypothèse (H1) selon laquelle le temps de réaction est meilleur lorsque l'expansion optique est accentuée (Bigger) que dans les autres conditions, est réfutée. Parmi les 27 participants, seulement 9 ont effectué les meilleures performances sous cette condition. En revanche, 11 participants ont réalisé les moins bonnes performances avec une expansion optique accentuée (Bigger). Également, la moyenne des seuils de réaction avec la condition Bigger est supérieure à la condition Basic, ce qui signifie de moins bonnes performances. La seconde hypothèse (H2) qui stipule que l'effet de looming inversé (Smaller) est la condition avec laquelle les participants ont le moins bon temps de réaction par rapport aux autres conditions, est également réfutée. Toutefois, la moyenne des seuils de réaction est effectivement plus élevée en condition Smaller que dans les autres conditions. Cependant, seuls 12 participants sur 27 ont réalisé de moins bonnes performances avec un effet de looming inversée (Smaller) par rapport aux autres effets de looming. 10 participants ont même eu le meilleur seuil de réaction sous cette condition, ce qui souligne que la condition Smaller était même favorable à de meilleurs temps de réaction pour le tiers des participants. Le test de Friedmann ainsi que le test de rangs signés de Wilcoxon confirment qu'il n'y a pas de différence significative du temps de réaction entre les trois conditions de looming. Aucune des deux hypothèses initiales n'est donc validées.

4.2 Rapport à la littérature

Les études présentées dans la section 1.3 ont montré que les informations visuelles fournies par l'effet de looming est un renseignement essentiel pour prédire une collision. Ce type d'information est fiable même lorsque les objets disparaissent à un moment de leur trajectoire (Schiff & Detweiler, 1979). Bootsma (1989) a découvert que l'utilisation d'un bouton pour prédire la collision avec un objet pouvait biaiser la synchronisation visuelle des participants. Dans notre étude, le système de capture de mouvement combiné à la réalité virtuelle a permis d'éviter ce biais et plonger les participants dans une situation proche du monde réel.

Plusieurs études ont démontré que l'estimation du temps avant une collision, défini par la variable tau, était spécifiquement le type d'information privilégié pour estimer le temps avant la collision entre deux objets (Lee et al., 1982 : Yan et al., 2011). Certaines conditions de looming de notre expérience (Smaller et Bigger) présentaient une manipulation de l'expansion optique de la balle, ce qui rendait potentiellement l'estimation du moment de collision plus difficile. Les résultats montrent que les différences de seuil de réaction entre les trois conditions ne sont pas significatives. Cependant, ce n'était pas l'estimation du temps avant la collision qui était mesuré mais bien la capacité de préhension. La tâche des participants était donc relative à une tâche d'anticipation coïncidence, qui nécessite également d'établir un schéma d'action pour intercepter la balle. Akpinar et al. (2012) ont mis en évidence l'adaptabilité des habilités d'anticipation coïncidence des individus. Ce qui suggère que les participants habitués à évoluer dans un environnement instable sont plus susceptibles d'obtenir de meilleures performances à notre expérience.

Certaines études ayant manipulé l'effet de looming et ont pu démontrer que les individus réagissaient différemment lorsque l'expansion optique était manipulée et s'adaptaient à la taille de la balle durant la trajectoire (Li, 2006 : Savelsbergh et al., 1991). Cependant, à notre connaissance, il n'existe pas d'étude qui a manipulé l'effet de looming pour une expérience avec une tâche d'anticipation coïncidence.

4.3 Limites de l'étude

La tâche auquel étaient confronté les participants de notre expérience n'était pas d'uniquement prédire le moment de contact, mais de réaliser une tâche d'anticipation coïncidence, ce qui requière une deuxième capacité, celle d'établir un schéma d'action pour intercepter la balle. Cela signifie que la capacité des participants à estimer le moment de collision avec la balle n'était pas spécifiquement mesurée. Autrement dit, si les participants étaient capables d'estimer correctement le moment du contact avec la balle mais ne parvenaient pas à l'attraper, l'essai était compté comme un échec et augmentait le seuil de réaction. La manipulation de l'effet de looming a potentiellement pu altérer l'estimation du moment de collision des participants mais selon les résultats, cela n'a pas changé significativement la capacité d'anticipation coïncidence dans la tâche qui leur était demandée.

Concernant les détails de l'expérience, un point intéressant est à relever. Le travail de Schiff (1965) présenté dans l'introduction de ce travail évoque « l'explosion optique » qui signifie qu'au fur et à mesure que l'objet s'approche, la taille angulaire de celui-ci croît de à une vitesse exponentielle plutôt qu'à une vitesse constante. Cet effet intervient lorsque l'objet en approche

commence à remplir environ 180° du champ visuel de l'observateur. Or, dans notre expérience, la taille intrinsèque de la balle (Scale) augmentait (Bigger) ou diminuait (Smaller) de manière constante allant de 0.33 à 1 ou de 3 à 1 au fur et à mesure qu'elle s'approchait. De ce fait, l'accentuation et l'inversion de l'effet de looming auraient été plus marquées si la taille intrinsèque de la balle avait varié de manière exponentielle.

Durant la passation des sujets, il est arrivé à quelques rares moments que le logiciel CopeLabVR soit saccadé. À ces instants, le nombre d'images par seconde visibles dans l'écran du casque VR chutait drastiquement, ce qui pouvait perturber les participants.

Durant l'expérience, certains participants ont évoqué une certaine fatigue visuelle lors du passage en condition Bigger. Dans cette condition, la taille de la balle lorsqu'elle était à 5 mètres était relativement petite (Scale = 0.33) (figure 5) ce qui forçait les participants à se concentrer davantage sur l'objet. Cela peut potentiellement avoir deux conséquences. D'abord le fait que les participants doivent être plus concentrés pour percevoir la balle en approche peut favoriser une meilleure immersion dans l'expérience ce qui peut se traduire par de meilleures performances. Cette remarque a été faite par certains participants. D'autre part, le fait de se focaliser davantage sur la balle peut possiblement entraîner une fatigue oculaire accrue et diminuer les performances. De plus, comme la balle était plus petite au point de départ et s'agrandissait le long de sa trajectoire, les sujets avaient l'impression que sa vitesse était plus rapide que dans les autres conditions. La condition Bigger qui selon l'hypothèse 1 devait présenter les meilleures performances, a été ressentie par la majorité des participants comme la condition qui demandait le plus d'effort à fournir.

Les participants devaient se placer à une distance d'environ 10 centimètres du bouton orange (interrupteur) afin de presser dessus et faire partir la balle. Cependant, des variations de cette distance étaient probables. Par exemple, certains pressaient sur le bouton avec les bras plus tendus que d'autre, ce qui augmentait la distance de trajectoire de la balle. Cela peut également avoir eu une influence sur les résultats.

Bien que les participants aient été invités à se concentrer sur la tâche demandée, il s'agissait d'une première expérience en réalité virtuelle pour tous les participants. En conséquence, certains d'entre eux posaient des questions tout en tentant d'intercepter les balles. Le fait de réaliser plusieurs actions simultanées peut également altérer la concentration. De plus, le fait d'expérimenter une nouvelle technologie pour la première fois nécessite une certaine habitude lors des premiers essais. La durée de ce processus peut donc varier en fonction des individus et biaiser les résultats, particulièrement lors des premiers essais. Effectivement, certains participants avaient l'impression de placer leur main au bon endroit afin d'intercepter une balle,

pourtant, le signal sonore indiquait que la balle avait été ratée. Cela peut également être dû à un problème de synchronisation entre les différents logiciels utilisés.

4.4 Améliorations

Afin d'obtenir des résultats plus précis, certains aspects de l'étude peuvent être améliorés. D'abord, dans notre expérience, les essais (réussis ou échoués) des participants prennent uniquement en compte le fait que la balle soit interceptée ou non. Or, au lieu de demander aux sujets d'intercepter les balles, il pourrait être intéressant de mettre en place une expérience qui demande uniquement aux participants d'estimer le temps avant la collision. De cette manière, il serait possible de savoir si les trois conditions de looming influencent l'estimation du temps avant la collision au lieu de la capacité de préhension. De cette manière, les résultats permettraient de savoir plus spécifiquement quel facteur des capacités de préhension est affecté.

À propos de la programmation du logiciel CopeLabVR, la manipulation de l'effet de looming par le biais du changement de taille intrinsèque de la balle peut être légèrement modifiée. En effet, dans notre expérience, la taille intrinsèque de la balle devient plus petite (Smaller) ou plus grande (Bigger) de manière constante au fur et à mesure qu'elle s'approche du participant. Cependant, pour accentuer ou réduire le looming de manière plus réaliste, l'agrandissement ou la diminution de la taille de la balle (Scale) pourrait se faire de manière exponentielle et non constante afin d'accentuer également « l'explosion optique » (Schiff, 1965) qui intervient dans les derniers instants avant la collision.

Les retours qu'ont fait les participants permettent également de souligner certaines pistes d'amélioration de l'expérience. En effet, dans la condition Bigger, lorsque la balle se trouvait en position initiale (À 5 mètres), celle-ci était très petite (Scale = 0.33) ce qui demandait aux participants une concentration accrue pour percevoir la trajectoire. Il pourrait être judicieux d'augmenter la taille initiale de la balle afin de réduire la fatigue visuelle et mentale que demande cette condition.

Étant donné qu'il s'agissait d'une première expérience en réalité virtuelle, tous n'ont pas la même capacité d'adaptation à ce genre de technologies. Si l'expérience était à refaire, il se peut qu'un échauffement de quelques balles avant de commencer réellement la prise de mesure soit utile. De plus, cela permettrait de réduire les risques que les sujets posent des questions ou discutent pendant l'expérience. Cependant, il faudrait également réfléchir dans quelle condition de looming les participants s'échaufferaient car le fait de faire quelques essais dans une des trois conditions de looming, pourrait être scientifiquement perçu comme un entraînement dans cette

même condition de looming. Cette amélioration demanderait donc une certaine rigueur scientifique afin d'éviter l'effet de l'entraînement.

Pour finir, une autre amélioration de l'expérience serait de supprimer les saccades dues à la baisse du nombre d'images par secondes à certains moments de l'expérience. Cela empêcherait des essais « ratés » à cause des saccades du logiciel et favoriserait également des résultats plus fiables.

5 Conclusion

L'objectif principale de cette étude de savoir dans quelle mesure la manipulation de l'effet de looming influence les capacités de préhension en réalité virtuelle. Pour cela trois conditions ont été mises en place. Une condition normale, nommée « Basic », qui reprend les caractéristiques de l'expansion optique du monde réel. Une condition appelée « Bigger » qui a pour but d'accentuer l'effet de looming de la balle. Et finalement une condition dans laquelle l'effet de looming est inversé, autrement dit plus la balle s'approche, plus sa taille intrinsèque diminue, ce qui réduit l'effet de looming. Cette dernière condition a été appelée « Smaller ». Dans ce but, le seuil de réaction a été mesuré à l'aide d'un système de capture de mouvement dans chacune des conditions. Les analyses des résultats de notre expérience n'ont pas montré de différence significative entre les moyennes des seuils de réaction. Toutefois, la mise en relation des études antérieures avec les résultats de notre étude permet d'en savoir plus sur la psychologie cognitive. En effet, comme décrit dans la section 1.3, l'effet de looming est une information essentielle utilisée par l'être humain pour estimer le temps avant la collision. Ceci se retrouve dans de nombreuses situations sportives comme par exemple pour ajuster la foulée à la planche d'appel lors d'une prise d'élan en saut en hauteur (Lee et al., 1982) ou encore pour adapter la longueur des pas dans des terrains irréguliers (Warren et al., 1986). De plus, l'information visuelle donnée par l'effet de looming n'est pas uniquement utilisée pour ajuster la foulée de la course à pied mais dans de nombreux autres domaines du sport tels que le trampoline pour réaliser la préactivation musculaire avant l'atterrissage (Lee et al., 1982) par exemple. Malgré l'utilité prouvée de l'information visuelle fournie par l'effet de looming, notre étude montre que cette information n'a pas d'influence sur le temps de réaction. Autrement dit, l'être humain utilise l'effet de looming pour calculer le temps avant la collision entre deux éléments mais cela n'est pas une information utile pour réagir de manière plus rapide à un stimuli. Cette nouvelle connaissance permet de remettre en question les hypothèses initiales sur le rôle du looming dans les capacités de réaction. De plus, ces nouveaux résultats ouvrent de nouvelles pistes de réflexion sur les mécanismes de la perception visuelle et sur la façon dont est utilisé les informations de looming pour influencer le comportement humain. Cette étude permet de cibler plus spécifiquement les informations visuelles utiles ou non pour améliorer le temps de réaction. En étudiant davantage ce domaine, il sera possible d'approfondir la connaissance du sujet et de mettre en place des interventions plus ciblées pour améliorer la rapidité de réaction qui est un facteur essentiel de la performance sportive dans de nombreuses situations.

Bibliographie

- Akpınar, S., Devrilmez, E., & Kirazci, S. (2012). Coincidence-Anticipation Timing Requirements are Different in Racket Sports. *Perceptual and Motor Skills*, 115(2), 581-593. <https://doi.org/10.2466/30.25.27.PMS.115.5.581-593>
- Azémar, G., Stein, J. F., & Ripoll, H. (2008). Effets de la dominance oculaire sur la coordination oeil-main dans les duels sportifs. *Science & sports*, 23(6), 263-277.
- Belisle, J. J. (1963). Accuracy, reliability and refractoriness in a coincidence-anticipation task. *Research Quarterly of the American Association for Health, Physical Education, & Recreation*, 34(3), 271–281.
- Bootsma R. J. (1989). Accuracy of perceptual processes subserving different perception-action systems. *The Quarterly journal of experimental psychology. A, Human experimental psychology*, 41(3), 489-500.
<https://doi.org/10.1080/14640748908402378>
- Bower, T. G., Broughton, J. M., & Moore, M. K. (1970). The coordination of visual and tactual input in infants. *Perception & Psychophysics*, 8(1), 51–53.
<https://doi.org/10.3758/BF03208933>
- Broadbent, D., Causer, J., Williams, A., & Ford, P. (2014). Perceptual-cognitive skill training and its transfer to expert performance in the field : Future research directions. *EJSS/European Journal Of Sport Science*, 15(4), 322-331.
<https://doi.org/10.1080/17461391.2014.957727>
- Dubey, S., Choudhary, P. K., & Verrma, B. (2022). Exploring the coincidence anticipation timing among racket sports athletes. *Journal Of Sports Science And Nutrition*, 3(2), 199-202. <https://doi.org/10.33545/27077012.2022.v3.i2c.123>
- Gibson, J. J. (2014). *The ecological approach to visual perception: classic edition*. Psychology press.
- Gray, R. (2017). Transfer of training from virtual to real baseball batting. *Frontiers in psychology*, 8, 317328.
- Hassenstein, B., & Hustert, R. (1999). Hiding responses of locusts to approaching objects. *The Journal of experimental biology*, 202 (Pt 12), 1701–1710.
<https://doi.org/10.1242/jeb.202.12.1701>
- Kim, R., Nauhaus, G., Glazek, K., Young, D., & Lin, S. (2013). Development of Coincidence-Anticipation Timing in a Catching Task. *Perceptual and Motor Skills*, 117(1), 319-338. <https://doi.org/10.2466/10.23.PMS.117x17z9>

- Le Noury, P., Buszard, T., Reid, M., & Farrow, D. (2020). Examining the representativeness of a virtual reality environment for simulation of tennis performance. *Journal of Sports Sciences*, 39(4), 412–420. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1823618>
- Lee, D. N. (1976). A Theory of Visual Control of Braking Based on Information about Time-to-Collision. *Perception*, 5(4), 437-459. <https://doi.org/10.1068/p050437>
- Lee, D. N., Lishman, J. R., & Thomson, J. A. (1982). Regulation of gait in long jumping. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8(3), 448–459. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.8.3.448>
- Li, Z. (2006). *An Empirical Investigation of the Effect of Manipulating Optical Looming Cues on Braking Behaviour in a Simulated* (Doctoral dissertation, University of Toronto).
- Li, Z., & Milgram, P. (2004). Manipulating Optical Looming to Influence Perception of Time-To-Collision and its Application in Automobile Driving. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 48(16), 1900-1904. <https://doi.org/10.1177/154193120404801623>
- McCready D. W., Jr (1965). Size-distance perception and accommodation-convergence micropsia--a critique. *Vision research*, 5(3), 189–206. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(65\)90065-9](https://doi.org/10.1016/0042-6989(65)90065-9)
- Neumann, D. L., Moffitt, R. L., Thomas, P. R., Loveday, K., Watling, D. P., Lombard, C. L., ... & Tremeer, M. A. (2018). A systematic review of the application of interactive virtual reality to sport. *Virtual Reality*, 22, 183-198.
- Ramella, R. J. (1982). Learning a Motor Skill with Spatial and Temporal Parameters. *Perceptual and Motor Skills*, 55(1), 211-214. <https://doi.org/10.2466/pms.1982.55.1.211>
- Romeas, T. (2015). *Expertise sportive et entraînement perceptivo-cognitif de l'athlète* (Doctoral dissertation, Université de Montréal).
- Savelsbergh, G. J., Whiting, H. T., & Bootsma, R. J. (1991). Grasping tau. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, 17(2), 315–322. <https://doi.org/10.1037//0096-1523.17.2.315>
- Schiff, W. (1965). Perception of impending collision: A study of visually directed avoidant behavior. *Psychological Monographs: General and Applied*, 79(11), 1–26. <https://doi.org/10.1037/h0093887>
- Schiff, W., Caviness, J. A., & Gibson, J. J. (1962). Persistent fear responses in rhesus monkeys to the optical stimulus of "looming." *Science*, 136, 982–983. <https://doi.org/10.1126/science.136.3520.982>

- Schiff, W., & Detwiler, M. L. (1979). Information used in judging impending collision. *Perception*, 8(6), 647–658. <https://doi.org/10.1068/p080647>
- Schmidt, R. A. (1968). Anticipation and timing in human motor performance. *Psychological Bulletin*, 70(6, Pt.1), 631–646. <https://doi.org/10.1037/h0026740>
- Sidaway, B., McNitt-Gray, J., & Davis, G. (1989). Visual timing of muscle preactivation in preparation for landing. *Ecological Psychology*, 1(3), 253–264. https://doi.org/10.1207/s15326969eco0103_2
- Tachibana, R., & Matsumiya, K. (2022). Visual and Auditory Psychological Experiments in Virtual Reality: Accuracy and Precision of Stimulus Presentation. *Japanese Journal of Psychonomic Science*, 41(1).
- Todd, J. T. (1981). Visual information about moving objects. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, 7(4), 795-810.
- Vagnoni, E., Lourenco, S. F., & Longo, M. R. (2012). Threat modulates perception of looming visual stimuli. *CB/Current Biology*, 22(19), R826-R827. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.07.053>
- Vignais, N., Kulpa, R., Brault, S., Presse, D., & Bideau, B. (2015). Which technology to investigate visual perception in sport: Video vs. virtual reality. *Human movement science*, 39, 12-26.
- Warren, W. H., Jr., Young, D. S., & Lee, D. N. (1986). Visual control of step length during running over irregular terrain. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 12(3), 259–266. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.12.3.259>
- Yan, J., Lory, B., Li, H., & Sun, H. (2011). Visual processing of the impending collision of a looming object : Time to collision revisited. *Journal Of Vision*, 11(12), 7. <https://doi.org/10.1167/11.12.7>

Annexe

Annexe 1. Formulaire de consentement

Participation à une étude de recherche

CoPe Lab - Control and Perception Laboratory, Fribourg

Formulaire de Consentement

Je, soussigné(e) _____ déclare accepter, librement, et de façon éclairée, de participer comme sujet à cette étude de recherche.

Je comprends que j'ai le choix de me retirer de l'étude à n'importe quel moment et ceci sans aucune justification ni conséquence, mais ceci au plus tard jusqu'à deux semaines après la date de ma dernière expérience.

Je confirme que la nature de cette étude m'a été clairement expliquée et que j'ai eu l'opportunité de poser toutes les questions que je souhaitais.

Je comprends qu'il n'y a pas d'intéressement direct résultant de ma participation à cette étude.

Je comprends et j'accepte que toutes les données personnelles provenant de cette étude seront traitées et utilisées de manière complètement confidentielle et anonyme. Comme l'adresse de courriel, l'âge, le genre, ainsi que les divers paramètres et variables enregistrés lors de l'étude.

Je comprends que je suis libre de contacter à ma guise l'équipe de recherche afin d'obtenir des informations complémentaires relative à cette étude.

Responsable principal de l'étude

Jean-Luc Bloechle, PhD
Université de Fribourg
jean-luc.bloechle@unifr.ch



Date _____

Signature du responsable

Signature du participant

Annexe 2. Informations personnelles des participants

Numéro	ID Player	ID Session	Main forte	Age	Sexe	Sport pratiqué	Ordre
1	123	672/673/674	droite	23	H	Football	Basic/Smaller/Bigger
2	138	708/709/710	droite	25	F	Ski/CÂP	Basic/Bigger/Smaller
3	139	711/712/713	droite	25	H	CÂP/Cyclisme	Smaller/Basic/Bigger
4	140	714/715/717	droite	23	H	Cyclisme	Bigger/Basic/Smaller
5	141	718/719/720	gauche	24	H	Volley	Bigger/Smaller/Basic
6	142	721/722/723	gauche	23	F	/	Basic/Smaller/Bigger
7	143	724/725/726	droite	24	H	Hockey	Basic/Bigger/Smaller
8	144	727/728/729	droite	22	H	Volley	Smaller/Bigger/Basic
9	145	731/732/733	droite	24	H	Escalade	Smaller/Bigger/Basic
10	146	734/735/736	droite	24	F	Course, cirque	Smaller/Basic/Bigger
11	147	737/738/739	droite	21	H	Football	Bigger/Basic/Smaller
12	148	740/741/742	droite	28	H	Decathlon	Bigger/Smaller/Basic
13	149	743/744/745	droite	23	F	Football	Basic/Smaller/Bigger
14	150	746/747/748	droite	25	H	Football	Basic/Bigger/Smaller
15	151	749/750/751	droite	27	H	Football	Smaller/Basic/Bigger
16	152	752/753/754	droite	22	F	Football	Smaller/Bigger/Basic
17	153	755/756/757	droite	24	F	Volley	Bigger/Basic/Smaller
18	154	758/759/760	droite	25	H	Grimpe/Montagne/	Bigger/Smaller/Basic
19	155	761/762/763	droite	23	H	Volley	Basic/Smaller/Bigger
20	156	764/765/766	droite	24	F	Football	Basic/Bigger/Smaller
21	157	767/768/769	droite	22	H	Hockey(gardien)	Smaller/Basic/Bigger
22	158	770/771/772	droite	26	H	skate	Smaller/Bigger/Basic
23	159/160	773/774/775	gauche	24	F	CÂP	Bigger/Basic/Smaller
24	161	777/778/779	droite	24	H	Natation	Bigger/Smaller/Basic
25	162	780/781/782	droite	20	F	Montagne	Basic/Smaller/Bigger
26	163	783/784/785	droite	24	F	/	Basic/Bigger/Smaller
27	164	786/787/788	gauche	26	H	Volley	Smaller/Basic/Bigger
28	165	789/790/791	droite	24	H	Athlétisme	Smaller/Bigger/Basic
29	166	796/797/798	droite	23	H	CÂP	Bigger/Basic/Smaller
30	167	799/800/801	droite	22	H	football	Bigger/Smaller/Basic

Remerciements

Tout d'abord, je remercie le Professeur Jean-Pierre Bresciani pour son encadrement, ses explications et ses précieux conseils tout au long du processus. Ses connaissances approfondies et son expérience dans le domaine m'ont permis de réaliser ce travail dans les meilleures conditions.

Je tiens également à remercier chaleureusement le Docteur Jean-Luc Bloechle qui a également œuvré pour le bon déroulement de l'expérience. Sa disponibilité lorsque j'avais des questions et son expertise concernant les méthodes et logiciels utilisés dans ce travail m'ont aidé grandement pour la partie pratique.

Je suis également reconnaissant envers Yohan Keller, qui par sa récente expérience, a également su m'aider lorsque j'en avais besoin.

Un grand merci également aux 30 participants qui ont donné de leur temps de manière volontaire et active. Leur engagement et leur collaboration ont été essentiels dans la réalisation de ce travail.

Enfin, je tiens à remercier Gaëtan Maeder pour sa relecture attentive et ses conseils avisés qui ont contribué à améliorer la qualité de ce document.