

## ARTICLE DE RECHERCHE

# Utiliser la réalité virtuelle pour améliorer les compétences réelles en tennis de table

Stefan Carlo Michalski, Ancret Szpak, Dimitrios Saredakis, Tyler James Ross, Mark Billingham, Tobias Loetscher.  
Cognitive Ageing and Impairment Neurosciences Laboratory, School of Psychology, University of South Australia, Adelaide, South Australia, Australia,  
Empathic Computing Lab, School of Information Technology and Mathematical Sciences, University of South Australia, Adelaide, South Australia, Australia.

### Objectif

La présente étude porte sur le transfert d'aptitudes d'un entraînement sportif en réalité virtuelle (VR) à l'utilisateur du monde réel, en utilisant le sport rapide qu'est le tennis de table.

### Contexte

Une hypothèse clé de la formation en VR est que les compétences et les expériences acquises sont transférées dans le monde réel. Pourtant, dans certains domaines d'application, tels que la formation sportive en VR, la recherche testant cette hypothèse est rare.

### Contour de la recherche

Les performances de tennis de table dans le monde réel ont été évaluées à l'aide d'une analyse de variance à modèle mixte. L'analyse comprenait un facteur inter-sujets (groupe d'entraînement VR contre groupe de contrôle) et un facteur intra-sujet (pré- et post-entraînement).

### Méthode

Cinquante-sept participants (23 femmes) ont été affectés soit à un groupe d'entraînement à la VR (n = 29), soit à un groupe de contrôle sans entraînement (n = 28).

Pendant l'entraînement VR, les participants étaient immergés dans des matchs de tennis de table compétitifs contre un adversaire doté d'une intelligence artificielle.

Un entraîneur de tennis de table expert a évalué les participants sur leur jeu de tennis de table dans le monde réel avant et après la phase d'entraînement. En aveugle par rapport à l'affectation du groupe des participants, l'expert a évalué le revers, le coup droit et le service des participants sur des aspects quantitatifs (par exemple, le nombre de rallyes sans erreurs) et sur la qualité des aspects techniques (par exemple, la technique et la cohérence).

### Résultats

La formation à la VR a amélioré de manière significative la performance des participants au tennis de table dans le monde réel par rapport à un groupe de contrôle sans formation, à la fois dans les évaluations quantitatives ( $p < 0,001$ , d de Cohen = 1,08) et de qualité des compétences ( $p < 0,001$ , d de Cohen = 1,10).

### Conclusions

Cette étude vient s'ajouter à une littérature peu abondante mais en pleine expansion, en démontrant le transfert de compétences réelles de la réalité virtuelle dans une tâche athlétique.

## Introduction

L'utilisation de la réalité virtuelle (VR) comme outil de formation est de plus en plus populaire. La VR est un espace numérique immersif où les utilisateurs peuvent interagir avec des objets et naviguer comme s'ils étaient présents dans un environnement réel.

La technologie de la VR a suscité un intérêt pour son utilisation dans des situations où la formation dans le monde réel est logistiquement difficile à organiser, dangereuse ou peu pratique. Par exemple, les programmes de formation des chirurgiens, des pilotes et des pompiers tirent parti du réalisme et de la flexibilité qu'offre la VR.

Une hypothèse clé de la formation en VR est que les compétences et les expériences acquises sont transférées dans le monde réel. Pourtant, dans certains domaines d'application, comme la formation sportive en VR, peu de recherches ont testé cette hypothèse.

L'application de la VR à l'entraînement sportif présente plusieurs avantages :

- Premièrement, elle offre la possibilité aux gens de s'entraîner sans avoir besoin d'accéder à l'environnement sportif nécessaire (par exemple, une piste de descente pour le ski) ou à plusieurs partenaires d'entraînement (par exemple, le football).
- Deuxièmement, l'incorporation active de VR dans l'entraînement sportif permet aux utilisateurs d'enregistrer leurs performances et de suivre de près leur développement.
- Troisièmement, la VR est évolutive et offre un grand degré de liberté pour créer et contrôler les environnements virtuels de diverses manières.

Ces avantages offrent une immense opportunité d'incorporer des pratiques fondées sur des preuves pour obtenir des gains de performance plus importants grâce à la formation. Par exemple, la recherche factuelle sur la formation, telle que le cadre des points de défi, suggère que les individus développent mieux leurs compétences lorsqu'ils sont constamment mis au défi. L'intégration de cette recherche dans un environnement virtuel peut facilement être réalisée en ajoutant de la variabilité à la formation et en ajustant systématiquement le niveau de difficulté en fonction des capacités de l'utilisateur.

Il existe de nombreux exemples de formation en VR qui ont conduit à des résultats positifs dans le monde réel. Par exemple, lorsque des étudiants en médecine ont utilisé un simulateur de formation médicale en VR pour apprendre la dissection de la vésicule biliaire, ils ont pu effectuer la tâche 29% plus rapidement dans le monde réel que les étudiants non formés en VR et avec six fois moins d'erreurs.

Bliss et al. ont découvert que la VR pouvait être utilisée pour former les pompiers à la navigation spatiale dans le monde réel aussi bien que les méthodes traditionnelles, et Carlson et al. ont découvert que la formation à la VR améliorerait les performances dans une tâche d'assemblage dans le monde réel.

Cependant, des chercheurs comme Kozak et al. ont constaté qu'il n'y avait pas de transfert de la formation de la VR au monde réel, dans ce cas en utilisant une tâche de prélèvement et de placement. Ces résultats contradictoires montrent qu'il reste encore des recherches à faire sur le transfert de la formation de la VR au monde réel.

De même, pour que la VR soit considérée comme un outil efficace pour l'entraînement sportif, le transfert positif de l'entraînement virtuel à la performance dans le monde réel doit être démontré.

Todorov, Shad-mehr et Bizzi ont été parmi les premiers à étudier le transfert de l'entraînement sportif dans un environnement virtuel. Dans leur première expérience, un groupe d'entraînement virtuel a pratiqué le tennis de table sur un écran d'ordinateur placé à côté d'une vraie table de tennis de table. En temps réel, le moniteur transmettait une table virtuelle, une balle et la raquette d'un expert qui était utilisée pour démontrer les mouvements idéaux tout au long de l'entraînement.

Au cours de l'entraînement virtuel, les participants devaient imiter les coups idéaux de la raquette de l'expert tout en essayant de frapper des balles sur la table de tennis de table réelle. Todorov et ses collègues ont constaté que la précision de la cible s'est améliorée de manière significative dans le groupe d'entraînement virtuel par rapport au groupe qui a reçu l'enseignement d'un professionnel du tennis de table.

Malgré les améliorations du groupe d'entraînement virtuel en matière de précision de la cible, leur technique globale s'est détériorée par rapport aux mouvements idéaux pour cette tâche. Il est à noter que le groupe d'entraînement dans le monde réel n'a pas subi les mêmes effets négatifs sur sa technique, même si sa précision était nettement inférieure à celle du groupe d'entraînement virtuel. L'étude de Todorov et al. pose un dilemme intrigant pour l'entraînement VR car leur groupe d'entraînement virtuel a présenté un transfert à la fois positif et négatif.

Bien que le transfert positif soit le meilleur résultat de la formation virtuelle, un transfert négatif peut parfois se produire lorsque l'environnement virtuel ne représente pas précisément la tâche utilisée pour la formation. Les incohérences dans un environnement d'entraînement virtuel peuvent conduire les utilisateurs à expérimenter des mouvements non naturels, ce qui peut entraver leurs performances dans la version réelle de cette tâche.

Dans le cas de l'étude de Todorov et al., la tâche d'entraînement n'était pas caractéristique, car les participants devaient se concentrer sur un écran d'ordinateur tout en essayant de se connecter avec une balle et de frapper une cible sur une vraie table. Un transfert négatif a pu se produire dans cette étude, car l'attention des participants était divisée puisqu'elle était dirigée vers l'écran - ce qui est très différent de ce qui se passe pendant le tennis de table dans le monde réel.

L'évaluation du transfert dans un sport peut être un défi lorsqu'il faut prendre en compte de nombreuses qualités d'amélioration de la performance. Par exemple, l'étude de Todorov et al. présentait plusieurs limites en ce qui concerne l'évaluation du transfert car elle ne tenait pas compte des compétences clés du tennis de table, à savoir le service, le revers et le coup droit.

Pour obtenir un indice fiable de la performance et du transfert d'un joueur, il faut tenir compte à la fois des aspects quantitatifs (par exemple, la précision du service, la performance dans les rallyes) et de la qualité globale (par exemple, la technique, la cohérence, la coordination).

Par nature, le tennis de table est un sport qui requiert des compétences ouvertes. Les sports à compétences ouvertes sont ceux dans lesquels les joueurs doivent réagir dans un environnement en constante évolution, imprévisible et au rythme externe, impliquant généralement la présence d'un adversaire (par exemple, comme dans le tennis de table, le football, la boxe, etc.).

Plus précisément, le tennis de table exige une flexibilité de l'attention visuelle, une prise de décision rapide et des actions d'interception rapides en réponse à un adversaire interactif. En revanche, les sports d'adresse fermés impliquent un environnement prévisible, relativement cohérent et à un rythme autonome (par exemple, le golf, le cyclisme, les fléchettes, etc.). Les résultats de Todorov et de ses collègues confirment que l'entraînement dans un environnement virtuel peut améliorer les compétences fermées du tennis de table (précision de la cible). Alors que certaines recherches soutiennent l'idée que les compétences fermées de base sont transposables de la VR au monde réel, on ne sait pas si la VR peut être utilisée pour développer les compétences ouvertes plus complexes, qui sont essentielles dans des sports comme le tennis de table.

Il est important de considérer comment les conditions d'entraînement peuvent être structurées pour maximiser la possibilité d'amélioration. Plus récemment, Gray a mené une étude sur le transfert dans l'entraînement de baseball en VR. Un groupe qui a reçu un entraînement répétitif à la batte dans le monde réel a été comparé à un groupe qui a reçu un entraînement répétitif à la batte dans un

environnement virtuel, et à un groupe qui a reçu une formation adaptative dans un environnement virtuel. Gray a constaté que lorsque l'entraînement était adaptatif (ajusté au niveau de réussite pendant l'entraînement), les performances dans le monde réel s'amélioraient de manière significative par rapport aux deux groupes qui ne recevaient qu'un entraînement répétitif.

La formation adaptative est basée sur la prémisse que, pour que l'apprentissage se produise, il y a une quantité idéale d'informations nécessaires qui varie en fonction du niveau de compétence de l'individu et de la difficulté de la tâche en formation. Peut-être que la valeur de la formation en VR n'est pas de recréer la formation du monde réel, mais de mettre en œuvre les principes de la pratique fondée sur les preuves (par exemple la formation adaptative) qui est difficile à structurer dans la formation du monde réel.

Malgré ces résultats positifs, pour que la VR devienne un outil accepté dans l'entraînement sportif, il faut déterminer si elle peut avoir un impact dans le monde réel. La présente étude visait à étudier les effets de transfert de l'entraînement VR au monde réel, en utilisant le sport rapide du tennis de table. Nous avons émis l'hypothèse que l'entraînement au tennis de table en VR conduirait à des améliorations significatives (du pré-test au post-test) de la performance dans le monde réel (service et rallye), tant sur le plan quantitatif que sur le plan qualitatif.

(Précision du service et nombre de rallyes sans erreur) et les aspects généraux de la qualité des compétences (hauteur de balle, force, régularité, technique et coordination) par rapport à l'absence d'entraînement.

## **Méthode**

### **Participants**

Soixante-deux personnes anglophones âgées de 18 à 35 ans ont participé à cette étude. Cinq participants ont été exclus de l'analyse finale pour les raisons suivantes : retrait (n = 3), pratique du tennis de table en dehors de l'étude (n = 1) et score supérieur à 90 % à l'évaluation quantitative lors du pré-test (n = 1), avec une marge d'amélioration insuffisante.

Ainsi, un total de cinquante-sept participants a été inclus dans les analyses (Mâge = 21,81, SD = 3,58). Les participants ont été répartis soit dans un groupe de formation à la VR (n = 29), soit dans un groupe de contrôle (n = 28). Les principales caractéristiques des participants du groupe de formation à la VR et du groupe de contrôle sont illustrées dans le tableau 1.

Aucun participant ne souffrait d'une blessure, d'un handicap ou de toute autre raison qui pourrait affecter sa participation à l'étude. Pour s'assurer que les participants avaient une acuité visuelle normale ou corrigée à la normale, leur vision a été évaluée à l'aide de divers tests, notamment : La charte oculaire de Snellen, la règle RAF et la charte de lecture Fonda- Anderson. En outre, les participants du groupe d'entraînement à la VR avaient une acuité stéréo normale ou corrigée à la normale, déterminée par le test Butterfly Stereo Acuity (Vision Assessment Corporation, 2007). Aucun des participants n'était un joueur de tennis de table de compétition.

Les participants ont été recrutés par le biais de prospectus placés sur le campus Magill de l'Université du Sud de l'Australie (UniSA). Tous les participants ont donné leur consentement éclairé avant de participer et ont reçu des honoraires de 20 \$/heure pour leur participation. L'étude a été approuvée par le comité d'éthique de la recherche humaine de l'UniSA.

La taille appropriée de l'échantillon a été calculée à l'aide du logiciel G $\omega$  Power3 [19].

Expérience<sup>1</sup> dans l'étude de Todorov et al., le transfert des compétences en tennis de table dans un environnement virtuel a été examiné par le biais du nombre de cibles atteintes avant et après l'entraînement virtuel.

0.86 : En utilisant cette taille d'effet comme estimation pour l'analyse de puissance, il a été calculé que 18 participants par condition seraient nécessaires pour obtenir une puissance suffisante (0,80) avec  $\alpha = 0,05$ .

## Matériaux et appareils

Appareil VR monté sur tête était le HTC Vive, avril 2016 a été utilisé. Affichages stéréoscopiques immersifs montés sur tête (HMD)

Tableau 1. Caractéristiques principales des participants du groupe de formation à la VR et du groupe de contrôle.

Variable	Formation VR	Contrôle
<i>n</i>	<b>29</b>	<b>28</b>
Âge moyen ( $\pm$ <i>SD</i> )	22.07 (4.27)	21.54 (2.75)
Genre	Hommes = 18 Femmes = 11	Hommes = 16 Femmes = 12
Préférence de la main [18] <sup><math>\omega</math></sup>	Droit ( <i>n</i> = 29)	Droit ( <i>n</i> = 28)
Nombre moyen de jours entre le pré-test et le post-test ( $\pm$ <i>SD</i> ) <sup><math>\omega\omega</math></sup>	25.17 (6.86)	23.25 (3.58)

Les technologies « Vive » créent un sentiment de présence chez l'utilisateur en lui permettant de visualiser un environnement virtuel à 360 degrés qui se déplace en temps réel en fonction des mouvements du participant. Les utilisateurs devaient porter le HMD tout en tenant deux contrôleurs pour interagir dans l'environnement virtuel, l'un servant à simuler la dispersion de la balle et l'autre à simuler une batte de tennis de table. Le HMD s'adapte aux utilisateurs ayant des déficiences visuelles, en leur permettant de porter des lunettes et des lentilles de contact pendant l'utilisation de l'appareil. L'appareil de VR a été utilisé dans une pièce de 1930 mm x 3300 mm avec deux stations de base installées dans des coins opposés, permettant un suivi à l'échelle de la pièce.

Le jeu Eleven tennis de table en VR (développé par Fun Labs) a été utilisé. Il s'agit d'un jeu qui demande aux utilisateurs d'interagir en se déplaçant et en répondant aux stimuli entrants.

Les utilisateurs sont plongés dans une partie de tennis de table compétitive contre un adversaire IA, à laquelle s'appliquent les règles officielles du tennis de table. La difficulté de l'IA se décline en cinq niveaux, de l'amateur au légendaire, par ordre croissant de difficulté. Une augmentation de la difficulté est liée à une augmentation de la vitesse du service et du retour, du nombre de placements de service/retour et de la rotation de la balle par l'IA. Le jeu utilise un retour haptique, auditif et de performance pour simuler un environnement réel. Par exemple, lorsque la batte simulée frappait la balle, les utilisateurs ressentaient une vibration et des sons réalistes étaient émis. Des sons étaient également utilisés pour signaler un point gagné ou perdu, tandis qu'un tableau des scores était également disponible.

Installation de tennis de table en conditions réelles. L'installation de tennis de table comprenait une table de tennis de table STIGA de taille réglementaire, des raquettes de tennis de table Dawei et des balles de tennis de table Schildkrot de 40 mm. Dix canettes de boisson gazeuse vides de taille standard ont été utilisées comme cibles de service.

## **Évaluation et mesures des performances du tennis de table dans le monde réel**

### **Évaluateur :**

Il s'agissait d'un joueur de tennis de table expert, titulaire de médailles internationales et ayant plus de 40 ans d'expérience en tant qu'entraîneur de tennis de table. L'évaluateur ne connaissait pas l'affectation du groupe des participants tout au long de l'étude. L'évaluateur a joué un rôle essentiel dans l'élaboration des tâches réelles de tennis de table, qui étaient basées sur les exercices d'entraînement utilisés par les entraîneurs de tennis de table. L'évaluation quantitative et l'évaluation de la qualité des compétences ont été développées sur la base d'un système de notation établi que l'évaluateur utilise dans l'entraînement.

### **Évaluation quantitative :**

Un score quantitatif a été calculé pour chaque participant en fonction de sa performance dans les tâches de tennis de table. Les scores ont été calculés sur la base du nombre de retours réussis dans chacune des trois tâches de rallye : revers, coup droit et coups alternés (passage consécutif d'un coup droit à un coup de revers). Un retour est réussi lorsque la balle atterrit sur votre côté de la table, puis frappe la batte, puis atterrit sur le côté de la table de l'adversaire. Chaque participant avait trois tentatives par tâche de ralliement, et un score a été calculé en fonction des deux tentatives les plus élevées, afin d'améliorer la fiabilité des évaluations. Pour les coups de revers, de coup droit et les coups alternés, les scores allaient de 0 à 100, un score plus élevé indiquant un plus grand nombre de retours réussis. Dans ces évaluations, un score est égal à un retour réussi. Si un participant atteignait 100 retours, l'échange prenait fin.

En plus des tâches de ralliement, la précision du service était évaluée par la précision des cibles. Les cibles étaient dix canettes de boisson gazeuse réparties uniformément (à 100 mm de distance) sur le bord de l'extrémité opposée de la table. Cette cible a été utilisée car il est recommandé que le service idéal soit celui qui atteint le bord de l'extrémité opposée de la table, tout en rebondissant aussi bas que possible sur la table. Un score a été établi sur la base du nombre de cibles qu'un participant pouvait atteindre en servant, allant de 0 (aucune cible atteinte) à 10 (toutes les cibles atteintes). Chaque cible atteinte valait 5 points. Un score total a été calculé pour chaque participant de 0 à 350 (revers = 100, main droite = 100, coups alternés = 100, service = 50). Les participants ont été exclus de l'étude s'ils avaient obtenu un score total supérieur à 90 % lors du pré-test, car on estimait que la marge d'amélioration était insuffisante.

### **Qualité de l'évaluation des compétences :**

L'évaluation de la qualité des compétences était basée sur les observations de l'évaluateur de chaque participant dans les tâches de tennis de table. L'évaluateur a évalué l'amélioration de la qualité des compétences de chaque participant en fonction de cinq catégories : hauteur de la balle, force, régularité, technique et coordination. Au cours du pré-test, l'évaluateur a pris des notes détaillées sur la qualité de ces cinq compétences différentes, créant ainsi une base de référence pour chaque participant. L'évaluateur formule souvent des notes de manière similaire lors d'un coaching externe. L'évaluateur s'est référé à ces notes de base lors de la session post-test pour déterminer toute amélioration de la qualité des compétences depuis la session pré-test. L'évaluateur a noté les améliorations dans chacune des cinq catégories avec un score de 0 (aucune amélioration), 1 (une certaine amélioration) ou 2 (amélioration majeure). Un score total a été calculé de 0 à 10 sur la base de la somme des scores des cinq catégories, les scores les plus élevés reflétant une plus grande amélioration de la qualité des compétences.

Comme l'évaluation quantitative et l'évaluation de la qualité des compétences évaluaient des aspects différents des compétences en tennis de table, on s'attendait à ce qu'un individu puisse s'améliorer dans une évaluation, mais pas dans l'autre. Pour cette raison, les deux mesures ont été considérées indépendamment dans l'analyse.

## Contour de l'étude

La performance du tennis de table dans le monde réel a été évaluée dans le groupe d'entraînement VR et le groupe de contrôle avant et après la phase d'intervention. Voir la figure 1 pour un aperçu de la conception de l'étude.

L'hypothèse de l'étude a été traitée en utilisant une analyse de variance à modèle mixte. L'analyse comprenait un facteur inter-sujets (groupe de formation VR contre groupe de contrôle) et un facteur intra-sujets (pré- et post-formation). La variable dépendante était la performance en tennis de table dans le monde réel évaluée par un expert sur les aspects quantitatifs et les aspects de qualité des compétences.

## Procédure

Chaque participant a d'abord été guidé à travers le processus de consentement. Tous les participants ont ensuite rempli plusieurs questionnaires qui comprenaient des questions sur les caractéristiques démographiques des participants (par exemple, l'âge, le sexe et le type de main). Ils ont ensuite subi des évaluations visuelles pour s'assurer d'une acuité visuelle et stéréo normale ou corrigée à la normale.

Les compétences en tennis de table des participants avant et après l'intervention (formation VR ou pas de formation) ont été évaluées sur une installation de tennis de table réelle, par un entraîneur de tennis de table expert. En aveugle par rapport à l'assignation des groupes des participants, l'expert a évalué les aspects quantitatifs et qualitatifs de l'entraînement.

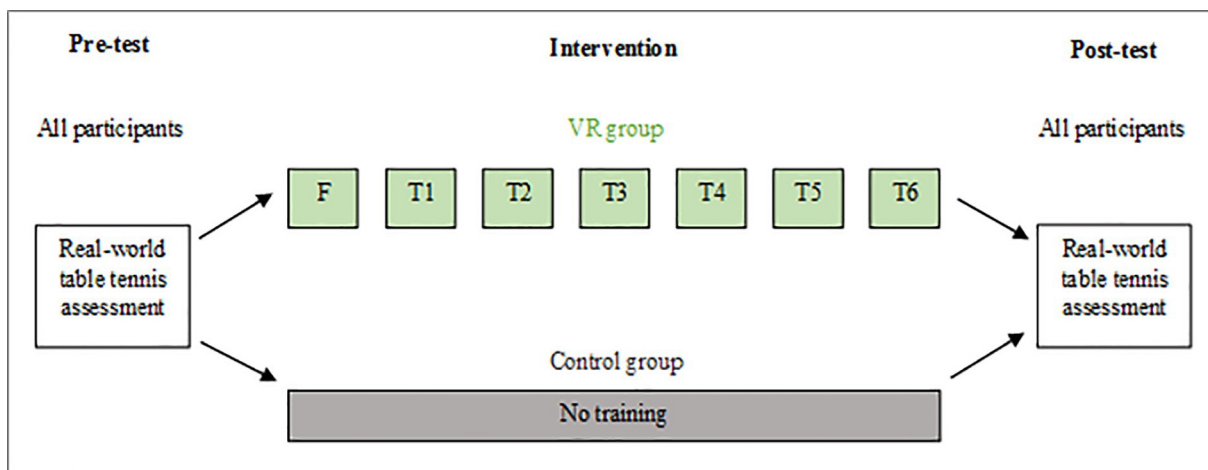


Fig 1. Schéma de l'étude. Il y avait deux groupes de participants : le groupe VR et le groupe de contrôle. Tous les participants ont subi une évaluation avant et après. Les participants du groupe VR ont suivi une session de familiarisation (F) suivie de six sessions de formation VR (T1-T6).

## Les performances des participants en tennis de table lors des pré et post-tests.

Le plan de l'étude pour les deux groupes de participants est résumé dans la figure 1. Il a été demandé aux participants de ne pas jouer au tennis de table à d'autres moments que ceux requis pour leur participation jusqu'à la fin de l'étude. Des évaluations cognitives et visuelles supplémentaires ont été administrées aux participants lors de la session de familiarisation ; cependant, ces données ne sont pas pertinentes pour les besoins de cette étude et ne sont pas rapportées ici (voir : Szpak et al. pour plus de détails sur les évaluations cognitives et visuelles).

Pré-tests. Les participants ont commencé par cinq minutes de pratique de ralliement avec l'évaluateur. Cette période était destinée à permettre aux participants de s'échauffer. Pendant cette période

d'entraînement, l'évaluateur a donné de brèves instructions concernant les règles correctes du tennis de table. Les participants n'ont pas reçu de conseils sur la façon de s'améliorer.

Immédiatement après l'entraînement, les participants ont effectué les tâches d'échange en coup droit, en revers et en altération décrites dans la section Évaluation et mesure du tennis de table en situation réelle. Les participants avaient trois essais pour chacune des trois tâches. On a demandé aux participants d'échanger et de renvoyer la balle le plus grand nombre de fois possible dans une rangée avec l'évaluateur. Il leur a été précisé que la tâche ne consistait pas à gagner le point.

Pendant le coup droit, le participant doit avoir joué avec la paume de la main orientée dans la direction du coup. Pour le revers, le participant doit avoir joué avec le dos de la main orienté dans la direction du coup, avec le bras en travers du corps. Si, pendant l'une ou l'autre des évaluations, le participant frappait la balle d'une autre manière, l'échange était terminé. La tâche consistant à alterner coup droit et revers consistait à frapper la balle une fois avec le revers, puis une fois avec le coup droit, en continuant ce schéma tout au long de l'épreuve. Au cours de cette tâche, si le participant frappait la balle, soit en coup droit, soit en revers, deux fois de suite, l'échange prenait fin. Pendant les trois tâches, si un participant tentait un retour qui manquait sa batte ou ne touchait pas le côté de la table de l'évaluateur, l'échange prenait fin. Si l'évaluateur ne réussit pas à renvoyer la balle au participant, un nouvel échange est immédiatement lancé par l'évaluateur et l'échange se poursuit à partir de ce moment.

Une fois les tâches de ralliement terminées, les participants ont commencé une tâche de service qui consistait à frapper des cibles. L'objectif exprimé aux participants était de toucher ou de faire tomber les cibles. Les participants avaient dix occasions de servir pour atteindre les dix cibles. Si la cible était touchée par un service illégal, la cible était repositionnée et le score n'était pas inclus, mais il était considéré comme l'une des dix tentatives. Avant cette tâche, les participants ont eu droit à trois minutes d'entraînement au tir. Les participants n'ont pas reçu de conseils ou de commentaires pendant ou après l'exécution des tâches.

## **Intervention**

### **Groupe de formation à la VR :**

Tous les entraînements VR ont été réalisés à l'aide du HMD HTC Vive et de l'application Eleven : Table Tennis VR. Pendant l'entraînement, les participants ont expérimenté des tâches pertinentes qui ont été évaluées pendant les pré-tests et les post-tests, notamment le service, le revers et le coup droit. Chaque participant du groupe d'entraînement VR a effectué un total de 3 heures et 30 minutes en VR, réparties sur sept sessions. Il était recommandé aux participants de suivre deux sessions par semaine. Les participants ne pouvaient effectuer qu'une seule session d'entraînement par jour.

Tout d'abord, il y a eu une session de familiarisation. Pendant cette période, les participants ont reçu un tutoriel sur l'appareil de VR et le jeu de tennis de table, ainsi que des instructions concernant l'entraînement ultérieur. Les participants ont eu le reste de la session pour s'entraîner et ont été informés que les scores n'étaient pas évalués. La familiarisation a été introduite pour s'assurer que les participants comprenaient la tâche et toléraient l'exposition à la VR.

Les six sessions de formation en VR visaient à battre l'adversaire IA dans des parties de tennis de table. Le vainqueur d'un match était celui qui obtenait le premier 11 points. Pour gagner le match, le vainqueur devait avoir une avance de 2 points, les parties pouvaient donc dépasser 11 points. À la fin d'une partie, une nouvelle partie commençait. L'entraînement portait sur des séries au meilleur des cinq. En utilisant une procédure d'entraînement adaptative, un participant qui gagnait la série (c'est-à-dire qui gagnait trois parties sur cinq) montait d'un niveau de difficulté, un participant qui perdait la série (c'est-à-dire qui perdait trois parties sur cinq) descendait d'un niveau de difficulté ou restait au niveau le plus bas s'il y était déjà. Chaque entraînement a duré environ 30 minutes. Les séries Best-of-five qui étaient incomplètes à la fin de la formation étaient poursuivies lors de la session de formation suivante.



### **Groupe de contrôle :**

Le groupe de contrôle n'a reçu aucune formation pendant la phase d'intervention.

Post-tests. Tous les participants ont rempli le post-test qui était identique aux tâches de tennis de table du pré-test. Après le post-test, le chercheur a demandé aux participants s'ils avaient joué au tennis de table à un autre moment depuis le début de l'étude. Ils ont été exclus de l'étude s'ils l'avaient fait pendant plus d'une heure au total.

## **Résultats**

### **Évaluation quantitative**

Une ANOVA mixte a été menée avec le temps (pré-test et post-test) comme facteur intra-sujet et le groupe (formation VR et contrôle) comme facteur inter-sujet. Ce test a satisfait à l'hypothèse d'homogénéité des variances car le test de Levene n'était pas significatif. Ainsi, des variances égales ont été supposées.

Un effet principal significatif du temps ( $F(1, 55) = 86,47, p < .001$ . Eta partiel<sup>2</sup> = .611) et du groupe ( $F(1, 55) = 9,31, p = .003$ . Eta partiel<sup>2</sup> = .145) ont été trouvés. Il y avait également un effet d'interaction significatif entre le temps et le groupe  $F(1,55) = 23,66, p < .001$ . Eta partiel<sup>2</sup> = .301, voir Fig 2.

Pour approfondir l'interaction significative, une série de tests post hoc corrigés par Bonferroni ont été effectués. Les ajustements de Bonferroni pour les comparaisons multiples de quatre variables

( $\alpha = .0125$ ) ont été appliqués. Les tests t d'échantillons appariés ont révélé que le groupe de formation à la VR et le groupe de contrôle ont amélioré de manière significative leur performance de tennis de table dans le monde réel du pré au post-test. Les scores du groupe de formation VR se sont améliorés de  $M = 92,46$  ( $SD = 42,25$ ) au pré-test à  $M = 189,93$  ( $SD = 80,68$ ) au post-test ( $t(28) = -7,8, p < .001$ . D de Cohen = 1,70). Les scores du groupe de contrôle se sont améliorés de  $M = 80,62$  ( $ET = 53,93$ ) au pré-test à  $M = 111,14$  ( $ET = 63,47$ ) au post-test ( $t(27) = -5,6, p < 0,001$ . D de Cohen = 0,51).

Un test d'échantillons indépendants a révélé qu'il n'y avait pas de différences significatives entre les deux groupes.

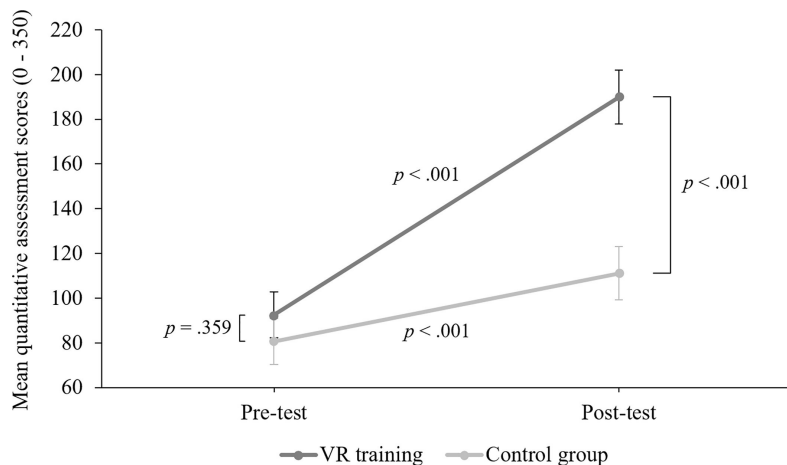
Le groupe de formation VR ( $M = 92,46, SD = 42,25$ ) et le groupe de contrôle ( $M = 80,62, SD = 53,93$ ) au pré-test de l'évaluation quantitative,  $t(55) = .92, p = .359$ .

Un test t d'échantillons indépendants a révélé qu'au post-test, les participants du groupe de formation à la VR ( $M = 189,93, SD = 80,68$ ) ont obtenu des scores significativement plus élevés que les participants du groupe de contrôle ( $M = 111,14, SD = 63,47$ ) sur l'évaluation quantitative,  $t(55) = 4,08, p < .001$ . L'indice de Cohen  $d = 1,08$ .

Fiabilité test-retest. La fiabilité test-retest a été évaluée en corrélant les scores du groupe de contrôle avant et après le test. D'après Hopkins, le coefficient de corrélation intraclass (ICC 3,1) était de 0,89. L'ICC indique donc une bonne fiabilité test-retest.

### **Qualité de l'évaluation des compétences**

Un test d'échantillons indépendants a révélé que le changement des scores des participants du groupe de formation à la VR ( $M = 7,37, SD = 2,24$ ) était significativement plus élevé que celui des participants du groupe de contrôle ( $M = 4,46, SD = 2,97$ ) sur l'évaluation de la qualité des compétences,  $t(55) = 4,18, p < .001$ . D de Cohen = 1,10.



**Fig 2. Evaluation quantitative.** Moyenne totale ( $\pm$  erreur standard) des scores sur l'évaluation quantitative pour le groupe de formation à la VR (gris foncé) et le groupe de contrôle (gris clair) au pré-test et au post-test.

Les scores du groupe de formation à la VR ( $M = 7,37$ ,  $ET = 2,24$ ,  $(t(28) = 17,71$ ,  $p < 0,001$ )) et du groupe de contrôle ( $M = 4,46$ ,  $ET = 2,97$ ,  $(t(27) = 7,94$ ,  $p < 0,001$ )) étaient significativement différents de zéro (c'est-à-dire qu'un score de zéro signifie qu'il n'y a pas de changement entre le pré-test et le post-test) comme l'ont révélé les tests à un échantillon.

Tests t.

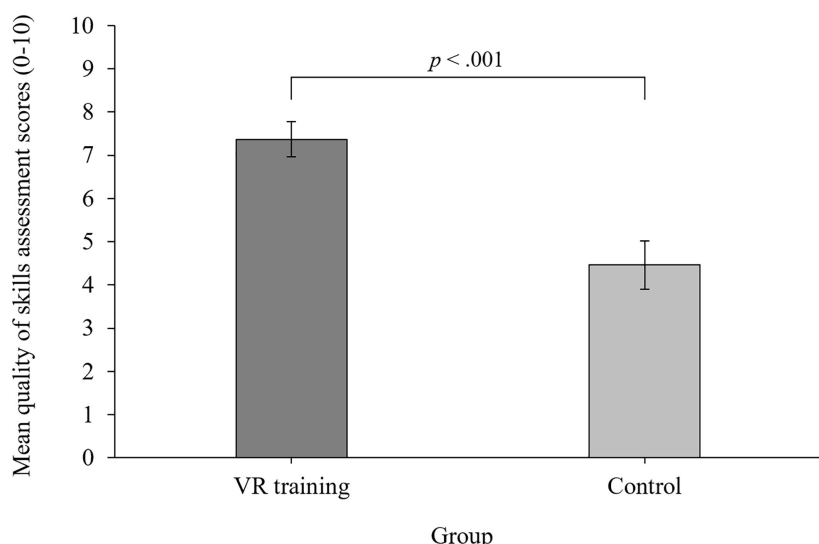
Le changement moyen des scores des participants entre le pré-test et le post-test par groupe et la différence globale entre les groupes sur la qualité de l'évaluation des compétences sont présentés dans la figure 3.

Une corrélation de Pearson a révélé qu'il existait une forte corrélation positive entre les scores de changement des participants dans l'évaluation quantitative et l'évaluation de la qualité des compétences,  $r(55) = .74$ ,  $p < .001$ . La relation expliquait 54,6 % de la variance.

## Discussion

La présente étude a examiné les effets de transfert de l'entraînement de tennis de table en VR à la performance de tennis de table dans le monde réel. Conformément à l'hypothèse, il a été constaté que la performance du tennis de table dans le monde réel s'est améliorée de manière significative sur les aspects quantitatifs et la qualité globale des compétences, par rapport au groupe de contrôle sans entraînement. Ces résultats s'ajoutent à une littérature peu abondante mais en pleine expansion concernant l'utilisation de la VR comme outil d'acquisition et de développement des compétences sportives.

Comme il s'agit de l'une des premières études à examiner le transfert de l'entraînement à partir de la VR dans les sports, il était nécessaire d'établir d'abord que le bénéfice était au moins supérieur à l'absence d'entraînement. Les résultats actuels suggèrent qu'il y a de la valeur dans l'utilisation de la VR comme un outil complémentaire pour l'entraînement, en particulier pour les situations dans lesquelles l'entraînement est difficile à organiser d'un point de vue logistique ou peu pratique dans le monde réel. Les recherches futures peuvent élargir la portée des présentes conclusions en considérant la VR pour d'autres niveaux de compétences et environnements de formation



**Fig 3. Qualité de l'évaluation des compétences.** Moyenne totale ( $\pm$  erreur standard) des scores de changement sur l'évaluation de la qualité des compétences pour le groupe de formation VR (gris foncé) et le groupe de contrôle (gris clair) du pré-test au post-test.

Une observation intéressante est que les participants des deux groupes se sont améliorés du pré-test au post-test. Alors que 93,1% (27/29) des participants du groupe de formation à la VR se sont améliorés dans l'évaluation quantitative, 85,7% (24/28) des participants du groupe témoin sans formation se sont également améliorés.

Le groupe de contrôle n'a pas été exposé à une forme quelconque d'entraînement au tennis de table, comme le montre l'auto-évaluation. Une explication possible de l'amélioration significative du groupe de contrôle pourrait être due à l'exposition répétée de l'évaluation, au fait d'être plus familier avec les instructions et d'avoir le temps de réfléchir à la meilleure façon d'aborder la tâche. Cela souligne l'importance d'avoir un groupe de contrôle car on ne sait pas pourquoi les participants se sont améliorés alors qu'ils n'ont pas suivi de formation formelle.

Les caractéristiques de l'apprenant sont connues pour affecter les résultats de la formation. Une caractéristique importante à prendre en compte concernant l'entraînement sportif est le niveau d'expérience préalable du participant dans le sport évalué. Cependant, tous les participants de l'échantillon actuel étaient des joueurs de tennis de table novices. Ainsi, cette étude ne peut pas répondre à la question de savoir si l'entraînement VR serait également efficace chez les joueurs avancés et compétitifs. Bien que la physique du jeu puisse sembler réaliste aux novices, on ne peut pas exclure que les joueurs de compétition puissent percevoir de légères différences dans le timing des coups, le rebond, la rotation et la connexion d'une balle entre la VR et le jeu réel. Si c'était le cas, on peut imaginer que l'entraînement pourrait même aboutir à une efficacité négative ou à un mauvais transfert vers le monde réel pour les joueurs compétitifs. En outre, il serait également bénéfique pour étudier d'autres caractéristiques individuelles connues pour influencer le transfert, telles que les capacités cognitives, la motivation et la personnalité.

Dans la présente étude, les participants n'étaient pas des joueurs de tennis de table de compétition, et ils n'ont pas reçu de conseils ou d'indications sur la manière d'améliorer leurs compétences. A l'avenir, il pourrait être avantageux pour les participants de recevoir un coaching individualisé de la part de l'évaluateur sur la façon de s'améliorer. En considérant l'application de la VR dans la pratique du monde réel, certains chercheurs ont suggéré que la VR pourrait être plus utile lorsqu'elle est utilisée comme un dispositif d'entraînement complémentaire pour ceux qui ont une connaissance et une expérience inhérentes du sport [25]. Potentiellement, c'est là que la VR aura les plus grands avantages en tant qu'outil

d'entraînement, lorsque les utilisateurs pourront appliquer la forme et la technique correctes dans un cadre de jeu réaliste. Les recherches futures peuvent donner un aperçu de ceux qui bénéficieraient le plus de l'entraînement dans des environnements virtuels en étudiant des personnes de différents niveaux de compétence.

L'outil de formation utilisé dans la présente étude peut avoir été si réussi en raison de la combinaison efficace de la formation adaptative et de la formation aux compétences ouvertes dans la VR. Séparément, il a été démontré que l'entraînement adaptatif [8] et l'entraînement aux compétences ouvertes sont bénéfiques pour les résultats de performance, par conséquent nous proposons qu'une combinaison d'entraînement aux compétences adaptatives et ouvertes a eu un grand impact sur le développement des compétences des participants dans la VR. En tenant compte du fait que le tennis de table est principalement un sport à compétences ouvertes, nous avons pensé qu'il était essentiel que les participants aient la possibilité d'entraîner de telles compétences dans la VR. Étant donné que l'entraînement en VR comprenait des jeux compétitifs contre l'IA, il aurait été bénéfique de déterminer si les participants devenaient également de meilleurs joueurs dans la compétition réelle. Cependant, cela dépassait le cadre de la présente étude.

Notre étude est l'une des premières à étudier le transfert de l'entraînement sportif à partir de la VR en utilisant un HMD. Nous avons pu démontrer le transfert dans un groupe d'entraînement de VR par rapport à un groupe de contrôle sans entraînement ; cependant, plusieurs facteurs pourraient être pris en compte pour une étude plus approfondie. Les évaluations quantitatives et qualitatives des compétences ont exploité une gamme de compétences de tennis de table pour mesurer le changement dans les capacités des participants, mais elles n'ont pas évalué tous les coups de tennis de table (par ex. drive, flick, smash) et n'étaient pas basées sur des mesures objectives telles que la trajectoire de mouvement basé sur la vidéo ou les mesures de mouvement des yeux [26]. En outre, nous n'avons pas pu comparer l'efficacité de l'entraînement sportif en VR par rapport à l'entraînement dans le monde réel parce que notre étude ne comprenait pas de groupe d'entraînement dans le monde réel. Bien que ces points puissent être abordés pour construire une évaluation plus complète dans de futures recherches, les mesures employées dans cette étude permettent de conclure que l'entraînement en VR peut être utilisé pour améliorer les compétences fondamentales du tennis de table chez les novices.

Étant donné que de nouveaux tests ont été élaborés pour évaluer le transfert dans cette étude, la validité et la fiabilité de la doivent être envisagées. Les tests de tennis de table ont été élaborés en consultation avec des experts de Table Tennis South Australia afin de garantir la validité du contenu. Les tests ont également une validité apparente élevée car ils mesurent ce qu'ils sont censés mesurer (c'est-à-dire les compétences réelles en tennis de table). Les mesures quantitatives des tests montrent une bonne fiabilité test-retest comme l'indique le coefficient de corrélation intra-classe de 0,89. Une des limites de notre étude est que nous ne pouvons pas nous prononcer sur la fiabilité inter-juges des évaluations qualitatives. Nous avons décidé d'utiliser un entraîneur de tennis de table très expérimenté pour assurer la cohérence de la notation qualitative des compétences en tennis de table. Nous ne savons donc pas dans quelle mesure les autres évaluateurs seraient d'accord avec le jugement de notre évaluateur sur la qualité des compétences. Ainsi, alors que les scores de l'évaluation quantitative montrent une bonne fiabilité, la généralisation des résultats qualitatifs peut être limitée.

Bien que nous ayons trouvé des effets de transfert positifs dans le groupe de formation à la VR, nous ne sommes pas certains de ce qui motive ces effets. Comme les résultats du groupe de formation à la VR ont été comparés à un contrôle sans formation, on ne sait pas si l'amélioration trouvée était un résultat direct de la formation prévue, ou si les améliorations étaient liées au développement de fonctions cognitives plus larges, comme un temps de réaction plus rapide et une meilleure coordination main-œil. Les recherches

futures pourraient bénéficier de l'introduction d'un groupe de contrôle qui reçoit un entraînement à la VR, mais dans un sport de table similaire.

Par exemple, comparer l'entraînement de tennis de table en VR à un groupe de contrôle qui s'entraîne avec un autre sport de table, comme le hockey sur air en VR. Le but étant, de garder les variables cohérentes sauf le mouvement lié à l'activité. Comparer le tennis de table en VR à un autre sport de table en VR pourrait permettre d'identifier si les améliorations sont dues à la simulation de tennis de table ou à des compétences non spécifiques entraînées en VR - qui sont importantes dans le tennis de table, comme la coordination main-œil. L'identification des facteurs associés aux améliorations du tennis de table dans le monde réel peut permettre de comprendre s'il existe une valeur ajoutée dans le développement d'applications sportives pour un entraînement spécifique dans la VR.

## **Conclusion**

Cette étude s'ajoute à une littérature peu abondante mais en expansion qui démontre le transfert dans le monde réel de l'entraînement sportif en VR. Dans la présente étude, nous avons constaté que la performance du tennis de table dans le monde réel s'est améliorée de manière significative sur toutes les mesures de performance après l'entraînement VR par rapport à l'absence d'entraînement.

La présente étude est l'une des premières à examiner si les compétences ouvertes peuvent être transférées dans le monde réel dans un contexte sportif, ce qui encourage les recherches futures. La prochaine étape devrait être d'enquêter pour savoir si les améliorations dans la VR sont en corrélation avec les améliorations dans le monde réel, si la VR est égale ou meilleure que l'entraînement dans le monde réel, si l'entraînement en VR est bénéfique pour les personnes de tous les niveaux d'aptitude et ce qui motive les effets de l'entraînement en VR. Il faudrait ensuite se demander si le transfert est limité au tennis de table ou si l'entraînement dans un sport au rythme rapide conduit également à des améliorations dans le monde réel dans d'autres sports. Dans un domaine largement inexploré, il semble que la VR ne se limite pas à un outil qui ne sert qu'à des fins de divertissement, mais qu'elle a également le potentiel d'aider au développement de compétences et de performances dans le monde réel.

## **Remerciements**

Nous souhaitons remercier Table Tennis SA et Kay Crowell pour le développement des évaluations des compétences en tennis de table, ainsi que Sara Bitton et Ngoc Ha Vu pour leur contribution à la collecte des données.

### Contributions des auteurs

Conceptualisation : Stefan Carlo Michalski, Ancret Szpak, Dimitrios Saredakis, Tobias Loetscher.

Curation des données : Stefan Carlo Michalski, Ancret Szpak, Dimitrios Saredakis, Tyler James Ross, Tobias Loetscher.

Analyse formelle : Stefan Carlo Michalski, Ancret Szpak, Tobias Loetscher.

Acquisition de fonds : Ancret Szpak, Tobias Loetscher.

Investigation : Stefan Carlo Michalski, Ancret Szpak, Dimitrios Saredakis, Tyler James Ross, Tobias Loetscher.

Méthodologie : Stefan Carlo Michalski, Ancret Szpak, Dimitrios Saredakis, Tyler James Ross, Tobias Loetscher.

Administration du projet : Stefan Carlo Michalski, Ancret Szpak, Tyler James Ross, Tobias Loetscher.

Ressources : Stefan Carlo Michalski, Ancret Szpak, Dimitrios Saredakis, Tyler James Ross, Tobias Loetscher.

Logiciels : Stefan Carlo Michalski, Ancret Szpak, Tobias Loetscher.