



Université de Rennes 2 – EUR Digisport

Master Sciences du Numérique et du Sport

Année universitaire 2022/2023

Analyse comparative des réponses aiguës et des caractéristiques de jeu entre le tennis de table en réalité virtuelle (PingVR) et le tennis de table conventionnel

Mémoire présenté par : Hugo RABESONA

Tuteur professionnel : Samuel SOUFFOY

Tuteur universitaire : Françoise RANNOU-BEKONO

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Samuel SOUFFOY (chargé de mission au Pôle Ressources National Sport-Innovations) et Gérard BAUDRY (responsable du Pôle Ressources National Sport-Innovations) pour m'avoir accordé leur confiance et accompagné tout au long de mon stage, me permettant d'évoluer dans les meilleures conditions possibles.

Je remercie particulièrement Mathieu PLAUTARD (conseiller Haut Niveau & Haute Performance) pour m'avoir aidé à la conception et à la mise en place de mon protocole expérimental, ainsi que pour ses nombreux conseils et enseignements.

Je remercie également l'ensemble de l'équipe du PRN SI et notamment Simon OLIVEAU, Marine BUTTIN, Maxime LEBLANC, Précillia GEROMETTA pour leur gentillesse et leur bienveillance.

Je remercie l'ensemble des volontaires ayant participé à mon étude.

Enfin, je remercie l'ensemble des enseignants pour nous avoir transmis leurs connaissances et leurs conseils durant cette année scolaire, lesquels m'ont été précieux lors de mon stage.

Sommaire

Table des matières

Sommaire	1
Introduction.....	3
Revue de littérature et cadrage théorique.....	4
1. Introduction	4
2. La pratique sportive en réalité virtuelle	5
2.1 - Définitions	5
2.2 - Les dispositifs matériels.....	6
3. Les réponses aiguës à la pratique de l'active gaming et du tennis de table	7
3.1 - Caractéristiques du jeu	7
3.2 - La dépense énergétique (DE)	8
3.3 - La fréquence cardiaque (FC).....	11
3.4 - La réponse perceptive	12
Problématique, objectifs et hypothèses.....	14
Proposition de méthodologie	15
Population.....	15
Design expérimental.....	15
Variables dépendantes : collecte et traitement des données.....	16
Analyse statistique	18
Résultats.....	19
Discussion.....	20
Conclusion et mise en perspective.....	21
Bibliographie	22
Annexes	25
Résumé - Abstract	30

Liste des signes et abréviations

AG = active gaming

AP = activité physique

DE = dépense énergétique

FC = fréquence cardiaque

FFTT = Fédération Française de Tennis de Table

ITTF = International Table Tennis Federation

JOP = Jeux Olympiques et Paralympiques

MET = Metabolic Equivalent of Task

PingVR = tennis de table en réalité virtuelle

PPR = Plan Prioritaire de Recherche

PRN SI = Pôle Ressources National Sport-Innovations

RV = réalité virtuelle

TT = tennis de table conventionnel

Introduction

La réalité virtuelle (RV) est un domaine scientifique et technique exploitant l'informatique et des interfaces comportementales en vue de simuler dans un monde virtuel le comportement d'entités 3D, qui sont en interaction en temps réel entre elles et avec un ou des utilisateurs en immersion pseudo-naturelle par l'intermédiaire de canaux sensori-moteurs (*Traité de la réalité virtuelle, édition 3, Presses de l'Ecole des Mines de Paris, volume 1, 2003*).

En 2022, trois fédérations sportives ont obtenu la délégation prévue à l'article L. 131-14 du code du sport pour le développement de nouvelles pratiques en réalité virtuelle, dont la fédération française de tennis de table (FFTT) avec la pratique du PingVR. Le PingVR est une pratique du tennis de table en réalité virtuelle. Equipé d'un casque de RV et évoluant sur le jeu Eleven Table Tennis, développé et édité par la société américaine For Fun Labs, cette nouvelle e-discipline permet une pratique du tennis de table immersive dans un espace nécessitant seulement 6m².

L'instruction de ces demandes de délégation a généré de nombreuses interrogations de la part du ministère des Sports et des JOP sur le caractère sportif ou non des activités concernées, ainsi que sur leur proximité avec la pratique compétitive de jeux-vidéos (Esport) ou avec les activités sportives traditionnelles des fédérations concernées. Ces mêmes interrogations se sont renforcées suite à la décision récente du Comité International Olympique de proposer des simulations sportives en réalité virtuelle lors des « Olympics Virtual Series », en marge des JOP 2024. Par ailleurs, les trois fédérations délégataires se sont elles aussi montrées très intéressées par ces questionnements.

Le Pôle Ressources National Sport-Innovations (PRN SI) du ministère des Sports et des JOP a pour mission d'explorer les potentialités de la réalité virtuelle dans le développement du sport, notamment auprès des personnes éloignées de la pratique sportive. Il s'est donc proposé de réaliser une étude sur la dépense énergétique et la demande physiologique lors de la pratique de PingVR.

La dépense énergétique (généralement exprimée en Joules ou en kcal) est théoriquement la variable physiologique capable de refléter le mieux la demande métabolique et donc l'intensité de l'activité physique. Elle peut être définie comme : « la quantité d'énergie qui est utilisée par un être humain pour faire fonctionner l'organisme dans différentes situations » (*Le Faucheur, Université Rennes 2*).

Ainsi, l'objet de cette étude est de répondre à la problématique suivante : « Quel est l'impact de la pratique du PingVR sur les réponses aiguës et les caractéristiques de jeu par rapport au tennis de table conventionnel ? ». Par conséquent, les objectifs sont de quantifier et comparer la dépense énergétique et la demande physiologique lors de la pratique de PingVR par rapport à la pratique de tennis de table conventionnel (TT), en milieu écologique. De plus, cette étude a pour objectif d'évaluer et comparer les caractéristiques de jeu entre le PingVR et le tennis de table conventionnel.

Revue de littérature et cadrage théorique

1. Introduction

L'activité physique (AP) par le biais du jeu vidéo et de la réalité virtuelle ("exergaming" ou "active gaming"), a démontré sa capacité à promouvoir l'AP et à générer une dépense énergétique supérieure aux valeurs de repos et plus ou moins équivalente à une AP « traditionnelle » chez tous types de public (*Mazeas et al., 2022*). Au cours de notre étude nous emploierons le terme « d'active gaming » (AG) pour désigner la combinaison entre jeu vidéo en réalité virtuelle et mouvements physiques.

Depuis son apparition début 2020, le tennis de table en réalité virtuelle comptabilise 1,5 million de joueurs dans le monde, dont presque 30 000 francophones, avec 50% des joueurs qui sont licenciés (*Site officiel de la FFTT*). Bien qu'il semble exister un transfert d'apprentissage du PingVR vers le tennis de table conventionnel (*Michalski et al., 2019*), il y a un manque de données concernant la demande physiologique, la dépense énergétique, les réponses perceptives ainsi que les caractéristiques de jeu associées à la pratique du PingVR.

Enfin, de nombreuses études et revues ont étudié les réponses aiguës et les caractéristiques de jeu générées par la pratique du tennis de table (*Gallardo et al., 2023 ; Milioni et al., 2018 ; Zagatto et al., 2017 ; Martin et al., 2015 ; Sperlich et al., 2011 ; Shieh et al., 2010*). Cependant, aucune étude à ce jour n'a quantifié et comparé les caractéristiques de jeu et les réponses aiguës au PingVR par rapport au tennis de table conventionnel.

Par conséquent, cette revue de littérature fournit une vue d'ensemble de la réalité virtuelle et ses liens avec le sport et l'activité physique. De plus, le second objectif est de répertorier et comparer les différentes méthodes utilisées pour évaluer la dépense énergétique, la demande physiologique et les réponses perceptives, entre la pratique physique en réalité virtuelle et le tennis de table conventionnel. Enfin, cette revue de littérature vise à effectuer un examen systématique de la dépense énergétique, de la demande physiologique et des réponses perceptives engendrées par la pratique d'activité physique en réalité virtuelle, en les comparant à celles du tennis de table.

2. La pratique sportive en réalité virtuelle

2.1 - Définitions

La technologie reliée à la création d'environnements virtuels générés par ordinateur a débuté dans les années 1960 avec Ivan Sutherland qui a établi une définition historique de la réalité virtuelle comme le fait de : « placer un utilisateur à l'intérieur d'un monde en trois dimensions, engendré par l'ordinateur ». Cette définition trop réductrice a depuis évolué avec le développement de la technologie. La réalité virtuelle est donc une technologie immersive qui consiste à plonger l'utilisateur dans un environnement numérique avec lequel il peut interagir en utilisant ses capacités sensorielles et sensorimotrices (*Ministère de l'Economie, des Finances et de la Souveraineté Industrielle et Numérique*). Il existe un continuum entre réalité et virtualité (*Milgram, 1994*) même si de manière générale, on distingue trois types de technologies immersives : la réalité augmentée, la réalité mixte et la réalité virtuelle. La RV se distingue de par sa faculté à plonger l'utilisateur dans un environnement entièrement virtuel, qu'il soit imaginaire ou réel, mais qui est différent de la réalité présente qui l'entoure. La réalisation de cette expérience se base essentiellement sur l'utilisation d'images de synthèse diffusées par le biais de casques de réalité virtuelle ou d'écrans (*Ministère de l'Economie, des Finances et de la Souveraineté Industrielle et Numérique*).

Le sport peut être défini comme une activité qui requiert des compétences motrices et/ou une coordination main-œil combinées à un effort physique, qui comprend des règles et des éléments de compétition et qui peut être pratiquée individuellement ou en équipe (*OMS, 2019*). La réalité virtuelle appliquée au sport peut être définie comme des situations où un individu s'engage dans un sport représenté dans un environnement entièrement virtuel, qui vise à induire une sensation de présence mentale et/ou physique et avec lequel il peut interagir (*Neumann et al., 2018*). L'activité physique diffère du sport car elle n'inclut pas de règles particulières ni d'éléments de compétition. En effet, l'activité physique est définie comme tout mouvement corporel produit par la contraction des muscles squelettiques et qui aboutit à une augmentation substantielle des besoins énergétiques au-dessus de la dépense énergétique de repos (*American College of Sports Medicine, 2017*). Que ce soit pour le sport ou l'activité physique, la réalité virtuelle présente plusieurs intérêts.

Tout d'abord, cette technologie peut être utilisée de manière bénéfique par le grand public. En effet, son caractère ludique peut stimuler les individus et les inciter à s'engager dans une activité physique, devenant ainsi un puissant facteur de motivation. Plusieurs organismes comme le Liv-Lab Breizh Digital Sport (Campus Sport Bretagne), voient au travers cette technologie un moyen de promouvoir la pratique de l'activité physique et de lutter contre la sédentarité ainsi que l'inactivité physique (*Kulpa, Université Rennes 2*).

Enfin, la réalité virtuelle peut s'avérer être utile pour le sport de haut-niveau afin de comprendre et améliorer la performance. En effet, elle offre un cadre normalisé, reproductible et contrôlable pour observer et analyser les capacités perceptivo-motrices et cognitives d'un athlète. De nos jours, la RV est de plus en plus utilisée à des fins de performance comme c'est le cas avec le

projet REVEA qui s'inscrit dans le cadre d'un projet PPR « Sport très haute performance » (Kulpa, Université Rennes 2).

2.2 - Les dispositifs matériels

Les technologies immersives dont la réalité virtuelle englobent une multitude de dispositifs matériels. Que ce soit dans le domaine sportif ou ailleurs, les environnements virtuels sont généralement créés via des systèmes de projection ou des casques de RV. Les systèmes de projection sont des grandes salles ou cubes composés d'écrans d'affichage dans lesquels l'utilisateur pénètre physiquement pour être entouré par l'environnement virtuel. Les casques de RV sont des dispositifs portables qui recouvrent les yeux, supprimant ainsi la vision du monde extérieur. Ils sont accompagnés d'un système de suivi de la tête, permettant à l'utilisateur de voir des zones de l'environnement virtuel qui se trouvent en dehors de son champ de vision immédiat en tournant la tête (Neumann et al., 2018 ; Kulpa, Université Rennes 2).

Lorsqu'il s'agit de pratique sportive, l'utilisation de ces deux dispositifs induit plusieurs avantages et limites par rapport à des pratiques traditionnelles, bien que l'utilisation de casques de RV reste plus populaire grâce à leur portabilité et leur coût plus abordable (Neumann et al., 2018). En effet, l'un des atouts de certaines applications en réalité virtuelle réside dans leur niveau de réalisme, ce qui permet aux individus de se rapprocher au plus près de la pratique du sport « réel » sur terrain (Nor et al., 2019). Cependant, leurs inconvénients majeurs résident dans un champ de vision limité ainsi que dans l'absence de vision de son propre corps (Kulpa, Université Rennes 2). Par conséquent, l'engagement dans un sport ou une activité physique en réalité virtuelle peut potentiellement induire des différences sur plusieurs niveaux (cognitif, psychologique, physiologique...) par rapport aux pratiques traditionnelles en raison des dispositifs technologiques utilisés.

3. Les réponses aigues à la pratique de l'active gaming et du tennis de table

3.1 - Caractéristiques du jeu

3.1.1 - Méthodes de mesure

Les études incluses dans notre revue de littérature attenantes à l'active gaming ou au tennis de table ont toutes recueilli les caractéristiques de jeu à partir d'enregistrements vidéo. Au tennis de table, selon la méthode de Zagatto et al., (2010), un échange débute lors de la dernière image sur laquelle la balle est immobile dans la paume de la main libre, avant d'être projetée verticalement par le serveur. La fin d'un échange correspond à la première image où un point (ou un let) est conclu selon les règles de l'International Tennis Table Federation (ITTF). De plus, une frappe est identifiée à chaque fois que la raquette d'un joueur entre en contact avec la balle entre le début et la fin d'un échange (Zagatto et al., 2010). Dans le cadre de ces considérations, à chacun de ces instants, les expérimentateurs placent un marqueur temporel et qualitatif afin de les identifier et de les comptabiliser. Ainsi, les études respectant cette méthodologie (Zagatto et al., 2016 ; Martin et al., 2015 ; Zagatto et al., 2010) quantifient la durée d'un échange (DEc) qui correspond au temps entre le début et la fin d'un échange, ainsi que le temps de repos entre chaque échange (TR), qui correspond au temps entre la fin d'un échange et le début de l'échange suivant. En outre, la somme des durées d'échange correspond au temps effectif de jeu (ET). Par ailleurs, cela permet de déterminer le nombre de frappes par échange ($F.E^{-1}$) ainsi que le nombre de frappes par minute ($F.mn^{-1}$). Enfin, cela permet d'établir le ratio effort/repos (E:R) qui correspond au rapport entre la somme des durées d'échange et la somme des temps de repos.

3.1.2 – Comparaison active gaming et tennis de table

Le tennis de table est un sport de raquette caractérisé par des efforts intermittents, comprenant de courtes séquences d'effort entrecoupées de courtes pauses. De plus, les études recensées dans notre revue de littérature montrent qu'en moyenne la durée d'un échange varie entre 3,2 ($\pm 0,4$) et 5,4 ($\pm 0,7$) secondes. Le nombre moyen total de frappes par échange varie entre 3,9 (± 2) et 6,6 ($\pm 0,9$). Enfin, le temps de pause entre chaque échange varie entre 8,1 ($\pm 5,1$) et 12,6 ($\pm 1,1$) secondes (Zagatto et al 2016 ; C. Martin et al 2014 ; Zagatto et al 2010). Il convient de noter que ces données proviennent de joueurs allant du niveau régional à international et que ces variables peuvent varier en fonction de la structure du tournoi, du style de jeu des joueurs, du nombre ainsi que des modalités des matchs (Zagatto et al., 2017). En ce qui concerne l'active gaming, malgré un manque de données concernant le PingVR, l'étude de Kim et al., (2023) a comparé du pilates avec un dérivé du pilates en réalité virtuelle. Les résultats ont montré que la pratique du pilates en RV générerait une amplitude de mouvements et des angles articulaires supérieurs par rapport au pilates conventionnel. Ces résultats supposent que la pratique d'une activité physique ou d'un sport en réalité virtuelle induit nécessairement des différences au niveau de la gestuelle et des caractéristiques de jeu.

3.2 - La dépense énergétique (DE)

3.2.1 - Définition

La dépense énergétique (DE) peut être définie comme : « la quantité d'énergie qui est utilisée par un être humain pour faire fonctionner l'organisme dans différentes situations » (*Le Faucheur, Université Rennes 2*). Elle comprend également plusieurs facteurs de variation tels que l'âge, le sexe, la taille, le poids, le niveau d'entraînement, la température ambiante ou encore l'activité physique pratiquée. La dépense énergétique est généralement exprimée en Joule (unité internationale) ou en kilocalorie pour les quantités de chaleur (*Vincent, Université Rennes 2*). Elle est également souvent exprimée en MET (Metabolic Equivalent of Task) qui est une mesure utilisée pour estimer l'intensité d'une activité physique spécifique et qui se base sur la valeur standard d'absorption d'oxygène (VO_2) au repos (*équation 1*).

$$METs = VO_2 (mL/min/kg) / 3,5 \text{ (équation 1)}$$

L'un des intérêts de la dépense énergétique est qu'elle est standardisée ce qui permet une appréciation et une comparaison plus aisée des différents types d'activités physiques. En d'autres termes, le concept d'AP désigne un comportement tandis que la DE désigne le coût énergétique du comportement (*Le Faucheur, Université Rennes 2*).

3.2.2 - Méthodes de mesure

La revue de Ndahimana & Kim., (2017) démontre qu'il existe de nombreuses méthodes d'estimation de la dépense énergétique induisant chacune des avantages et des inconvénients (Tableau 1).

Méthodes	Avantages	Limites
Eau doublement marquée	-Méthode très précise, considérée comme gold standard pour la mesure de la dépense énergétique totale	-Coût financier élevé -Expertise requise pour les expérimentateurs
Calorimétrie directe	-Méthode la plus précise pour quantifier la dépense métabolique	-Coût financier élevé
Calorimétrie indirecte	-Méthode non-invasive et précise -Permet l'évaluation de la dépense énergétique en milieu écologique	-Coût financier élevé -Expertise requise pour les expérimentateurs
Accélérométrie	-Faible coût financier -Méthode non-invasive -Outil qui reflète directement l'énergie mécanique induit par les mouvements des sujets et donc par interpolation leur dépense énergétique	-Imprécision des équations permettant de traduire les données recueillies par le(s) accéléromètre(s) en dépense énergétique
Moniteur de fréquence cardiaque	-Faible coût financier -Méthode non-invasive	-Précision dépendante du type d'activité physique réalisée
Podométrie	-Faible coût financier et méthode non-invasive	-Limitation à la mesure de l'activité de marche

Tableau 1 : Méthodes d'estimation de la dépense énergétique adapté à partir de Ndahimana & Kim., (2017)

Cette revue fournit une liste non-exhaustive des différentes méthodes de mesure de la dépense énergétique. De plus, elle démontre que la DE peut s'estimer de manière directe ou indirecte en utilisant des variables qualitatives ou quantitatives. La variété des méthodes existantes pour estimer la dépense énergétique montrent qu'il n'existe pas une méthode optimale unique permettant d'évaluer l'activité physique et la DE associée. En effet, le choix de l'outil d'évaluation dépend de nombreux facteurs, tels que les objectifs de l'étude, le type d'activité physique étudié ou encore des caractéristiques de la population cible (Ndahimana & Kim., 2017).

Dans le domaine des sports de raquette, plusieurs études ont été menées afin de mesurer la dépense énergétique au tennis de table. En ce qui concerne la réalité virtuelle, aucune étude n'a été réalisée pour quantifier la dépense énergétique au PingVR, mais plusieurs études ont évalué la DE par le biais d'autres applications en RV.

La quasi-totalité des études recensées au tennis de table (*Milioni et al., 2018 ; Zagatto et al., 2016 ; Sperlich et al., 2011 ; Shieh et al 2010*) ainsi que la totalité des études en réalité virtuelle (*Johansen et al., 2023 ; Kim et al., 2023 ; Ortiz-Delatorre et al., 2021 ; Perrin et al., 2019 ; Farrow et al., 2019 ; Gomez et al., 2018*) ont utilisé une méthode de calorimétrie indirecte pour estimer la dépense énergétique, qui est la méthode la plus utilisée. Son principe repose sur la mesure des échanges gazeux, c'est-à-dire la quantité d'oxygène consommée (VO_2) et de dioxyde de carbone produite (VCO_2). Il existe de nombreuses méthodes pour la collecte des gaz. Cependant, la quasi-totalité des études recensées ont utilisé un masque couplé au port d'un système portable d'analyse des gaz. En outre, il existe de nombreuses équations permettant de calculer la dépense énergétique à partir des concentrations d' O_2 et de CO_2 . Néanmoins, toutes ont le point commun de se baser sur des tables d'équivalence énergétique indiquant l'équivalent thermique en fonction du quotient respiratoire ($\frac{VCO_2}{VO_2}$) (*Ndahimana & Kim., 2017*). L'une des équations les plus connues pour estimer la DE est l'équation de Weir (équation 2).

$$DE \text{ (en kcal)} = 3,941 \times VO_2 + 1,1 \times VCO_2 \text{ (équation 2)}$$

3.2.3 - Comparaison active gaming et tennis de table

Selon les études recensées dans notre revue de littérature sur le tennis de table, il a été observé que la consommation moyenne d'oxygène (mVO_2) diffère selon que le joueur soit en situation d'entraînement ou en situation de match (compétition). En situation de match officiel ou simulé, les données montrent que la consommation moyenne d'oxygène varie entre 25,6 ($\pm 10,1$) et 36,8 ($\pm 13,2$) mL/kg/min (*Milioni et al., 2018 ; Sperlich et al., 2011 ; Shieh et al., 2010*). De la même manière, en situation de match officiel ou simulé, les données montrent que la dépense énergétique moyenne varie entre 4,8 ($\pm 1,4$) et 10,5 ($\pm 1,0$) METs (*Sperlich et al., 2011 ; Shieh et al., 2010*). Il est important de noter que ces valeurs sont des approximations dans la mesure où l'âge, le sexe et la composition corporelle influence la VO_2 de repos (mesure de référence pour estimer les METs).

En ce qui concerne l'active gaming, les données montrent que la consommation moyenne d'oxygène est de 13,2 ($\pm 3,5$) mL/kg/min (*Johansen et al., 2023*) et varie entre 19,1 ($\pm 5,9$) et 32,5 ($\pm 7,1$) mL/kg/min dans l'étude de Gomez et al., (2018). Enfin, les données montrent que la dépense énergétique moyenne varie entre 5,5 ($\pm 0,3$) et 9,3 ($\pm 0,3$) METs (*Gomez et al., 2018*). Ainsi, ces valeurs tendent à montrer que l'active gaming induit une mVO_2 et une DE moyennes supérieures à l'état de repos et sont susceptibles d'atteindre des niveaux semblables au tennis de table. En outre, le compendium des activités physiques (*Ainsworth et al., 2011*) classe le tennis de table comme une activité physique modérée, attribuant un équivalent métabolique de 4 METs tandis que l'active gaming correspond à un équivalent métabolique de 2,3, 3,8 et 7,2 METs sur des jeux nécessitant respectivement un effort léger, modéré ou vigoureux.

3.3 - La fréquence cardiaque (FC)

3.3.1 - Définition

La fréquence cardiaque (FC) désigne le nombre de battements cardiaques par unité de temps. Elle est généralement exprimée en battements par minute (bpm). Il s'agit d'une des variables les plus utilisées pour évaluer l'intensité de l'effort physique.

3.3.2 - Méthodes de mesure

Au tennis de table, nous avons recensé cinq études qui ont mesuré la fréquence cardiaque des joueurs que ce soit en situation d'entraînement ou en compétition (*Milioni et al., 2018 ; Zagatto et al., 2016 ; Martin et al., 2015 ; Sperlich et al., 2011 ; Zagatto et al., 2010*). En ce qui concerne l'active gaming, nous avons recensé six études qui ont mesuré la fréquence cardiaque sur diverses applications de réalité virtuelle (*Johansen et al., 2023 ; Ortiz-Delatorre et al., 2021 ; Perrin et al., 2019 ; Feodoroff et al., 2019 ; Gomez et al., 2018 ; Farrow et al., 2018*). De manière globale, la majorité des études répertoriées ont utilisé une ceinture thoracique couplée à un système métabolique portable ou à une montre. Le principe de cette méthode réside dans les capteurs intégrés à la ceinture qui détectent les variations du rythme cardiaque à partir des signaux électriques générés par le cœur. Les données sont ensuite transmises à un récepteur (système métabolique portable, montre...) par télémétrie.

3.3.3 - Comparaison active gaming et tennis de table

Selon les études recensées dans notre revue de littérature sur le tennis de table, il a été observé que la fréquence cardiaque moyenne (mFC) en situation de match varie entre 137,3 ($\pm 11,3$) et 163,8 ($\pm 13,7$) battements par minute (*Milioni et al., 2018 ; Zagatto et al., 2016 ; Martin et al., 2015 ; Sperlich et al., 2011 ; Zagatto et al., 2010*). Il convient de noter que ces valeurs ont été obtenues à partir de mesures utilisant différentes méthodes, populations et outils. En ce qui concerne l'active gaming, les études ayant évalué la fréquence cardiaque montrent que la fréquence cardiaque moyenne varie entre 101,1 (± 20) et 149 (± 16) battements par minute (*Johansen et al., 2023 ; Feodoroff et al., 2019 ; Gomez et al., 2018*). De plus, les études ayant exprimé la FC en pourcentage de la fréquence cardiaque maximale (%FCmax) indiquent que les valeurs sont respectivement de 47 ($\pm 5\%$) FCmax (*Perrin et al., 2019*), et varient entre 88 et 90% FCmax dans l'étude de Farrow et al., (2018). De la même manière, il convient de préciser que les valeurs relevées sont issues de diverses méthodologies utilisant diverses applications en RV, populations et méthodologies. Toutefois, ces valeurs tendent à montrer que l'active gaming génère une fréquence cardiaque supérieure à l'état de repos mais globalement inférieure par rapport au tennis de table. De plus, la sollicitation cardiaque est très variable selon le type de jeu avec un %FCmax indiquant une gamme d'effort physique allant de modérée à intense.

3.4 - La réponse perceptive

3.4.1 - Définitions

La réponse perceptive regroupe de nombreux concepts. Au tennis de table et dans le domaine de l'active gaming, les variables psychologiques les plus mesurées sont l'effort perçu ainsi que le plaisir perçu.

Le plaisir perçu durant l'activité physique désigne une émotion à valence positive envers l'AP et est associée à des sentiments tels que le plaisir, la joie et l'amusement (*Chen et al., 2021*). L'effort perçu désigne la quantité d'énergie mentale et/ou physique consacrée à une tâche (*Abbiss et al., 2015*). Cette définition met l'accent sur le fait que l'effort est un processus dans lequel les sujets investissent une certaine ressource. Il est pertinent de noter qu'il existe une multitude de définitions de l'effort perçu et que ce concept est souvent associé au concept « d'exertion », qui signifie effort physique, et qui fait référence au sentiment de lourdeur et de pénibilité d'une tâche physique (*Abbiss et al., 2015*). En effet, cette définition met l'accent sur le fait que « exertion » est associée au stress physique et physiologique induit par l'exercice. Toutefois, de nombreuses études critiquent le fait que ces concepts sont utilisés de manière interchangeable dans la littérature et soulignent leurs différences. Dans le cadre d'une évaluation de la réponse perceptive, il est essentiel de réfléchir au concept le plus adapté pour répondre à une question donnée. De plus, il est essentiel que les expérimentateurs et les participants d'une étude soient informés et alignés sur une même définition du concept mesuré et sur l'échelle ou le questionnaire utilisé (*Halperin & Emanuel, 2020*).

3.4.2 - Méthodes de mesure

Au tennis de table, nous avons recensé deux études qui ont étudié l'effort perçu par les participants (*Martin et al., 2015 ; Sperlich et al., 2011*). Chacune des deux études a utilisé respectivement une version modifiée de l'échelle de Borg (Borg CR10) et l'échelle de Borg originale (Borg RPE 6-20 scale).

En ce qui concerne le domaine de l'active gaming, les études recensées dans notre revue ont étudié plusieurs variables psychologiques. L'ensemble de ces mesures se base sur des échelles ou des questionnaires mesurant l'effort perçu, le plaisir perçu, la demande mentale, physique et émotionnelle perçues, la motivation intrinsèque, la vitalité subjective ou encore l'intention d'exercice post-intervention. D'une part, l'effort perçu a été mesuré via l'échelle de Borg ou des versions modifiées de l'échelle de Borg (*Feodoroff et al., 2019 ; Farrow et al., 2018 ; Gomez et al., 2018*). D'autre part, le plaisir ressenti pendant l'effort a été mesuré avec l'échelle s-PACES (short Physical Activity Enjoyment Scale), une version modifiée de l'échelle PACES à 18 items (*Feodoroff et al., 2019*). La diversité des variables psychologiques évaluées semble démontrer que l'active gaming induit une charge psychologique différente par rapport aux activités physiques et sports traditionnels.

3.4.3 - Comparaison active gaming et tennis de table

Au tennis de table, nous avons recensé une seule étude qui a mesuré l'effort perçu en utilisant l'échelle de Borg originale (*Sperlich et al., 2011*) et deux études dans le domaine de l'active gaming (*Feodoroff et al., 2019 ; Gomez et al., 2018*). Les résultats indiquent qu'au

tennis de table, en situation de match, le score moyen d'effort perçu est de $11,8 \pm 2,6$, tandis que dans le domaine de l'active gaming, le score moyen d'effort perçu varie entre $9,3 (\pm 0,3)$ et $14,6 (\pm 1,82)$. Ces résultats suggèrent que l'active gaming génère un niveau d'effort perçu susceptible d'atteindre un niveau supérieur par rapport au tennis de table.

Il est important de noter que l'ensemble des résultats exposés précédemment sont issus de différents jeux en réalité virtuelle, différentes populations et différentes méthodologies.

Problématique, objectifs et hypothèses

La réalité virtuelle permet de plonger l'utilisateur dans un environnement numérique totalement virtuel avec lequel il peut interagir. Elle se distingue de la réalité présente et utilise généralement des casques de réalité virtuelle pour diffuser des images de synthèse. Les récentes applications en réalité virtuelle offrent des avantages en termes de réalisme notamment l'application de PingVR : Eleven Table Tennis (For Fun Labs, USA). Cependant, l'utilisation de la réalité virtuelle dans le cadre de la pratique d'activité physique ou de sport présente des limites, telles qu'un champ de vision limité ou encore l'absence de vision de son propre corps. Ainsi, cela peut entraîner des différences sur plusieurs niveaux (physiologique, métabolique, perceptif) par rapport à des activités physiques traditionnelles. De plus, il existe divers outils et méthodes pour caractériser la demande physiologique, la dépense métabolique ainsi que les réponses perceptives générées lors de la réalisation d'un effort physique. Enfin, « l'active gaming » semble pouvoir générer des réponses aiguës plus ou moins semblables au tennis de table selon plusieurs facteurs (type de jeu utilisé, population, modalités de pratique...). Toutefois, à ce jour, aucune étude n'a été réalisée pour quantifier et comparer les caractéristiques de jeu ainsi que les réponses aiguës au PingVR par rapport au tennis de table.

Par conséquent, le protocole expérimental que nous exposerons par la suite a pour but de répondre à la problématique suivante : « Quel est l'impact de la pratique du PingVR sur les réponses aiguës et les caractéristiques de jeu par rapport au tennis de table conventionnel ? ».

Ainsi, le premier objectif de notre étude est de quantifier et de comparer la demande physiologique, la dépense énergétique, ainsi que les réponses perceptives générées par la pratique du PingVR par rapport à la pratique du tennis de table conventionnel en milieu écologique. De plus, le second objectif est de comparer les caractéristiques de jeu (activité externe) entre le PingVR et le tennis de table.

Au vu des données issues de notre revue de littérature et des pré-manipulations réalisées sur le site du Centre de Ressources, d'Expertise et de Performance Sportives des Pays de la Loire (Nantes, France), nous formulons l'hypothèse selon laquelle la pratique de PingVR induit une demande physiologique et une dépense énergétique inférieures à celles du tennis de table. Notre seconde hypothèse est que la pratique du PingVR induit une perception de l'effort perçu inférieure au tennis de table, mais un plaisir perçu supérieur. Enfin, nous supposons que les caractéristiques de jeu du PingVR sont différentes à celles du tennis de table. En effet, nous émettons l'hypothèse que le temps de repos entre chaque échange est inférieur au PingVR ce qui induit un nombre de frappes par minute ($F.mn^{-1}$), un temps de jeu effectif (ET) et un ratio effort/repos (E:R) supérieurs par rapport au TT. Dans cette étude, nous chercherons à valider ces hypothèses en recueillant des données quantitatives et qualitatives auprès des participants volontaires.

Proposition de méthodologie

Population

Douze adultes actifs en bonne santé (8 hommes, 4 femmes) se sont portés volontaires pour cette étude. Les participants ont été recrutés parmi les employés du Centre de Ressources, d'Expertise et de Performance Sportives des Pays de la Loire (Nantes, France). Tous les participants ne présentaient pas de lésions musculosquelettiques limitant l'utilisation des manettes et n'avaient pas d'antécédents de cinétose (mal des transports). Conformément à la déclaration d'Helsinki (1975), les participants ont reçu une fiche d'information décrivant les procédures de l'étude et les risques associés aux tests, et ont été informés qu'ils pouvaient se retirer à tout moment. Tous les participants ont donné leur consentement écrit avant d'être inclus dans l'étude (voir Annexe 1). Les participants ont ensuite rempli un questionnaire portant sur leur âge, taille, masse corporelle, volume d'activité physique hebdomadaire et leur expérience de la pratique de TT et PingVR (*Tableau 1*).

Statistiques descriptives				
	Age	Taille (cm)	Poids (kg)	Nombre d'heure d'AP/semaine
N	12	12	12	12
Moyenne	33.7	174	72.1	4.33
Médiane	32.5	175	69.5	3.50
Ecart-type	11.2	12.0	15.9	2.68
Minimum	21	150	50	1.50
Maximum	55	190	103	10.0

Tableau 1: Caractéristiques anthropométriques et personnelles des participants

Design expérimental

Tous les participants ont effectué 4 sessions séparées d'au moins 24 heures.

Sessions de familiarisation. La première et la deuxième session ont été consacrées à la familiarisation avec les pratiques de PingVR et TT respectivement. Au début de ces sessions, l'expérimentateur a informé les sujets des règles, procédures et instructions spécifiques à la pratique. Une phase de pratique libre de 10 minutes a permis aux sujets de s'échauffer et de s'entraîner sous la supervision de l'expérimentateur. Ensuite, les sujets ont participé à un tournoi dans chacune des activités d'une durée totale respective de 1 heure. Le tournoi PingVR comprend 12 matchs contre l'intelligence artificielle, c'est-à-dire 3 matchs à chacun des 4 niveaux de difficulté croissante (argent, or, pro et élite). Le tournoi TT comprend un match de 6 minutes contre chacun des 11 autres participants avec une pause d'une minute entre les matchs. Des classements séparés en PingVR et TT ont été établis à partir des résultats des

matches en tenant compte du nombre de victoires/défaites et du ratio entre points marqués/concédés.

Sessions de test. Les participants ont effectué les sessions de test de PingVR et de TT dans un ordre aléatoire et au même moment de la journée (± 2 h). Les adversaires ont été groupés par niveau en fonction des classements spécifiques de PingVR et de TT, ainsi, l'adversaire pouvait être différent selon la session de test. Les participants ont reçu pour instruction de se présenter aux séances de test hydratés, en ayant pris un petit-déjeuner/déjeuner standard et en s'étant abstenus de toute activité physique, d'alcool et de caféine pendant 12 heures au préalable. Au début de chaque session, les participants ont été équipés d'un cardiofréquencemètre portable et d'un système portable d'analyse des gaz. Une fois équipés, ils se sont assis pendant 6 minutes sur une chaise, en silence et les yeux bandés, afin de recueillir leurs variables physiologiques au repos. Ensuite, les deux joueurs se sont échauffés en jouant librement pendant 5 minutes. Enfin, les participants se sont affrontés dans un match de 30 minutes en utilisant le système de points conventionnel (11 points par set).

Conditions de match. Les matchs de TT ont été réalisés en suivant les lois du tennis de table définies dans le dernier manuel de la Fédération Internationale de Tennis de Table. Pour maximiser le temps de jeu effectif, l'aire de jeu était entourée de barrières de séparation (12m \times 6m) et un seau de balles était placé près du filet. Pour standardiser le comportement entre les points, les participants avaient pour consignes de se diriger vers la balle la plus proche, qu'elle soit sur le sol ou dans le seau, et la ramasser. Pour la pratique du PingVR, nous avons utilisé le jeu virtuel Eleven Table Tennis (For Fun Labs, USA). Les sujets étaient équipés d'un casque de RV monté sur la tête et des manettes associés (Meta Quest 2, Meta, 2020). Le jeu en RV propose deux modes. Un mode solo, utilisé pour la familiarisation, permettant de jouer contre une IA à 5 niveaux de difficulté. Enfin, un mode deux joueurs, utilisé pour les matchs de tennis de table virtuel, permettant de jouer contre un adversaire humain.

Variables dépendantes : collecte et traitement des données.

Caractéristiques de jeu PingVR et TT. Les matchs de TT ont été capturés à l'aide d'un iPad Pro (A2378, Apple Inc, États-Unis) et les matchs de PingVR ont été enregistrés par le logiciel OBS studio (OBS Studio version 29.1.2, Retrieved from <https://www.obsproject.org/>). Une analyse vidéo a ensuite été effectuée pour identifier le début et la fin de chaque échange et le nombre de frappes par échange via le logiciel Dartfish (Dartfish Ltd, 2021), en utilisant la méthodologie de Zagatto et al., (2010). Le début d'un échange a été marqué comme la dernière image sur laquelle la balle est immobile sur la paume de la main libre avant d'être projetée verticalement par le serveur. La fin de l'échange a été marquée comme la première image où un let ou un point est décidé selon les règles de l'International Tennis Table Federation (ITTF). Une frappe a été marquée chaque fois que les raquettes des joueurs ont frappé la balle entre le début et la fin d'un échange. La durée de l'échange (DEc), la durée du set (DSe), le nombre de frappes par échange ($F.E^{-1}$), le nombre de frappes par minute ($F.mn^{-1}$), le temps de jeu effectif (ET), le temps de repos (TR) et le ratio effort/repos (E:R) ont été calculés à partir des enregistrements vidéo à l'aide d'un script personnalisé (MatLab, The Mathworks, Natick, États-Unis).

Mesures physiologiques.

Les échanges gazeux ont été mesurés à l'aide d'un système portable automatisé d'analyse des gaz, en mode cycle par cycle (K5, Cosmed, Italie). Le système a été calibré avant chaque session selon les instructions du fabricant, en utilisant un gaz de calibration de composition connue (16 % O₂, 5 % CO₂ et équilibre N₂ ; A-860-000-004, COSMED). Le débitmètre a été calibré avec une seringue de calibration de 3 litres (C00600-01-11, COSMED). Les participants respiraient à travers un masque Hans-Rudolph couplé à une turbine. L'analyseur de gaz était placé sur le dos du participant et fixé à l'aide d'un harnais. Tous les câbles et tuyaux ont été fixés à l'aide de ruban adhésif et de sangles afin de garantir une grande amplitude de mouvement pour les bras et le haut du corps des joueurs.

La fréquence cardiaque (FC) a également été mesurée à l'aide d'un cardiofréquencemètre portable (010-12883-00, Garmin, 2019) fixé autour de la poitrine des participants. Pendant les deux sessions de test, la consommation d'oxygène (VO₂), la production de dioxyde de carbone (VCO₂), la DE et la FC ont été enregistrées et suivies en continu, du début de la période de repos à la fin du match de 30 minutes, à l'aide du logiciel Omnia (C04060-01-11 OMNIA Software, COSMED).

Les variables ont été interpolées pour fournir une valeur par seconde à l'aide d'un script personnalisé. Les valeurs de repos VO₂, VCO₂, DE, et FC (respectivement rVO₂, rVCO₂, rDE et rFC) ont été calculées comme la valeur moyenne de la dernière minute de la session de 6 minutes en position assise. Les variables physiologiques durant les matchs VO₂, VCO₂, DE et FC (respectivement mVO₂, mVCO₂, mDE et mFC) ont été obtenus en faisant la moyenne de toutes les valeurs enregistrées pendant les matchs de 30 minutes. Les variables physiologiques pendant les matchs de 30 minutes ont également été moyennées toutes les 5 minutes afin de rendre compte de leur évolution. La dépense énergétique relative (DE) a été calculée de manière standard par l'unité K5 via l'équation de Weir puis convertie en kJ/kg/h :

$$DE (kcal) = 3,9 \times VO_2 + 1,1 \times VCO_2 \text{ (équation de Weir)}$$

La FC maximale (FC_{max}) individuelle prédite par l'âge a été déterminée à l'aide de l'équation issue de l'étude de Tanaka et al., (2001) (équation 1) puis la FC a ensuite été exprimée en pourcentage de la fréquence cardiaque de réserve (%FC_r) (équation 2).

$$FC_{max} = 208 - 0,7 \times (\text{âge en année}) \text{ (équation 1)}$$

$$\%FC_r = (mFC - rFC) / (FC_{max} - rFC) \times 100 \text{ (équation 2)}$$

Expériences perceptives.

Effort perçu. Le taux d'effort perçu lors des sessions de test de Ping VR et TT a été recueilli sur chaque joueur à l'issue de chaque session de test à l'aide de la version modifiée de l'échelle de Borg CR-10 (Borg, 1982) incluant 10 grades (voir Annexe 2). L'échelle a été expliquée à chaque joueur avant tous les matchs. En effet, chaque joueur devait sélectionner un grade à partir de la question suivante : « A quel point avez-vous trouvé le match difficile en termes de sollicitation de vos ressources physiques et/ou mentales ? ».

Plaisir perçu. Le niveau de plaisir perçu lors des sessions de test de PingVR et TT a été évalué sur chaque joueur à l'issue de chaque session de test à l'aide de la version courte du questionnaire Physical Activity Enjoyment Scale (S-PACES ; *Chen et al., 2021*). Il s'agissait pour les participants d'exprimer leur degré d'accord ou de désaccord, via une échelle de Likert en 5 points, avec 4 affirmations décrivant le plaisir perçu lors des matchs en PingVR et TT. Les scores individuels de plaisir perçu correspondent à la moyenne des scores aux 4 items (voir Annexe 3).

Analyse statistique

Les données sont exprimées en moyenne \pm écart-type et leur distribution normale a d'abord été vérifiée à l'aide du test de Shapiro-Wilk et de diagrammes Quantile-Quantile (QQ plots). Toutes les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel statistique en libre accès Jamovi (*The jamovi project (2022). jamovi (Version 2.3) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>*). Le seuil de signification a été fixé à $p < 0,05$. Des T-tests pour échantillons appariés (Paired Samples T-test) ont été utilisés pour comparer les valeurs de mFC, mDE, scores de plaisir et d'effort perçu ainsi que les caractéristiques de jeu entre le PingVR et le tennis de table. Dans notre étude les échantillons sont appariés car on compare la fréquence cardiaque, la dépense énergétique ainsi que les scores d'effort et de plaisir perçu d'un même individu, dans deux activités distinctes : le tennis de table et le PingVR. Lorsqu'un test de normalité échouait, nous avons utilisé un test de Wilcoxon signé-rangé. De plus, nous avons réalisé des analyses de variance à deux facteurs sur mesures répétées (2-way Repeated Measures ANOVA) avec comme facteurs intra-sujet le Temps (5min, 10min, 15min, 20min, 25min, 30min) et la modalité de pratique (PingVR / Tennis de table). L'objectif était d'analyser à la fois les effets principaux de chaque facteur et leur interaction sur la dépense énergétique et la fréquence cardiaque. Lorsqu'un test de normalité échouait, nous avons utilisé un test non paramétrique de Friedman.

Résultats

La mise en place du protocole et la collecte des données s'effectueront du 12 au 30 juin 2023 et les résultats seront disponibles ultérieurement

Discussion

Les objectifs de cette étude étaient de quantifier et comparer les réponses aiguës ainsi que les réponses perceptives lors de la pratique de PingVR par rapport au tennis de table. De plus, le second objectif était de comparer les caractéristiques de jeu du PingVR par rapport au tennis de table. Pour se faire, nous avons émis plusieurs hypothèses. Tout d'abord, nous avons supposé que la pratique du PingVR induit une demande physiologique et une dépense énergétique inférieures à celles du TT. Dans un second temps, nous avons émis l'hypothèse selon laquelle le PingVR induit une perception de l'effort inférieur au tennis de table, mais un plaisir perçu supérieur. Enfin, nous avons supposé que les caractéristiques de jeu du PingVR étaient différentes par rapport au tennis de table en raison du temps de pause entre chaque échange (TR) inférieur qui induirait un nombre de frappes par minute ($F \cdot mn^{-1}$), un temps de jeu effectif (ET) et un ratio effort/repos (E:R) supérieur par rapport au TT.

Bien que nous n'ayons pas encore de résultats sur lesquels discuter, nous pouvons d'ores et déjà mentionner certaines limites de notre étude. En effet, le poids supplémentaire lié au port d'un analyseur de gaz portable, en plus d'un masque facial restreignant la visibilité, génère un stress supplémentaire pour les joueurs ce qui peut mener à des valeurs biaisées (*Zagatto et al, 2017*). De plus, cela dénature inévitablement la manière de jouer.

Enfin, à l'avenir, il serait intéressant de mener d'autres études pour évaluer la demande énergétique au PingVR en mesurant l'énergie mécanique qui peut être plus pertinente dans le sens où elle est une conséquence directe et instantanée de la demande physiologique et métabolique contrairement aux échanges gazeux (*Ferrandez et al., 2021*). Cela pourrait se matérialiser par le port d'accéléromètres, en utilisant l'accélérométrie qui est une méthode non invasive, peu coûteuse, et moins contraignante que la calorimétrie indirecte en termes d'amplitude de mouvements.

D'un point de vue scientifique, les futurs résultats de la présente étude fourniront une base intéressante pour la FFTT et aussi potentiellement pour la Fédération Française de Cyclisme, la Fédération Française de Vol en Planeur ainsi que toute autre fédération intéressée par « l'active gaming », qui pourront initier de futures recherches afin de promouvoir le développement de leur e-discipline respective. De plus, nos résultats présenteront potentiellement un intérêt pour le secteur de la santé, en orientant le développement de « l'active gaming » en tant que forme alternative d'activité physique chez tous type de population (saine et/ou pathologique), avec des potentielles avantages tant sur le plan physique que psychologique.

Conclusion et mise en perspective

En conclusion, les résultats attendus de cette étude permettront de quantifier la dépense énergétique, la demande physiologique et les réponses perceptives au PingVR chez des adultes évoluant en milieu écologique. De plus, nous pourrions comparer ces résultats avec ceux obtenus lors de la pratique de tennis de table. Enfin, en parallèle, les résultats attendus permettront d'objectiver les caractéristiques de jeu en PingVR en les comparant à celles du tennis de table.

D'un point de vue scientifique, cette étude ouvre la voie sur de nouvelles perspectives et recherches à mener sur lesquelles la FFTT porte des intérêts. En effet, suite à une réunion avec Stéphane Lelong (directeur pôle développement – FFTT) et Samuel Rattier (Project Manager PingVR – FFTT), il a été suggéré qu'une autre étude sur la dépense énergétique en fonction du niveau pourrait être pertinente par exemple. De manière générale, cette étude pourrait également susciter l'intérêt des deux autres fédérations titulaires d'une délégation pour promouvoir leur e-discipline respective (cyclisme et vol en planeur), ainsi que d'autres organismes de recherche et chercheurs qui voient à travers la réalité virtuelle un moyen de lutter contre l'inactivité physique, la sédentarité, ou encore un moyen thérapeutique chez des sujets pathologiques.

D'un point de vue professionnel, cette étude est susceptible d'intéresser les différents acteurs du secteur de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée. En effet, en quête d'une nouvelle impulsion, le secteur de la réalité étendue mise sur les JOP 2024 pour la promotion et le développement des sports virtuels. Cette étude s'inscrit donc dans cette perspective qui a d'ores et déjà débuté avec les « Olympics Esports Series », une compétition mondiale de sports et simulations virtuels en partenariat avec le CIO, qui se déroulera du 22 au 25 juin à Singapour.

Les acteurs impliqués dans cette étude sont les expérimentateurs chargés de mener la recherche et les sportifs qui participent à l'étude. Ces deux entités sont exposées à différents risques et bénéfices liés à leur participation.

En ce qui concerne les expérimentateurs, un nombre limité est suffisant pour mener à bien cette étude et les critères d'inclusion facilitent le recrutement des volontaires. En revanche, les expérimentateurs doivent assumer la responsabilité de mettre en place et de superviser le protocole expérimental. Ces tâches exigent une planification précise, une coordination efficace avec l'ensemble des acteurs impliqués, ainsi qu'une expertise concernant l'utilisation des outils de recueil de données et des logiciels de traitement des données. De plus, l'utilisation de systèmes portables d'analyse de gaz nécessite et l'utilisation de casques de réalité virtuelle induit un coût financier important.

Quant aux sportifs, ils ont l'opportunité de découvrir une nouvelle e-discipline sans prérequis spécifiques. En effet, toute personne ne présentant pas de contre-indications à la pratique physique et n'étant pas sujette à la cinétose est éligible pour participer à l'étude. De plus, la participation à l'étude présente peu de risque sur l'intégrité physique et mentale des sportifs. Cependant, les sportifs doivent se rendre disponibles sur plusieurs semaines afin de respecter les quatre visites requises par le protocole expérimental et respecter certaines consignes avant chaque session de test.

Bibliographie

Abbiss, C.R., Peiffer, J.J., Meeusen, R. and Skorski, S., 2015. Role of ratings of perceived exertion during self-paced exercise: what are we actually measuring?. *Sports medicine*, 45, pp.1235-1243.

Ainsworth, B.E., Haskell, W.L., Herrmann, S.D., Meckes, N., Bassett Jr, D.R., Tudor-Locke, C., Greer, J.L., Vezina, J., Whitt-Glover, M.C. and Leon, A.S., 2011. 2011 Compendium of Physical Activities: a second update of codes and MET values. *Medicine & science in sports & exercise*, 43(8), pp.1575-1581.

Borg, G.A., 1982. Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine & science in sports & exercise*.

Chen, C., Weyland, S., Fritsch, J., Woll, A., Niessner, C., Burchartz, A., Schmidt, S.C. and Jekauc, D., 2021. A short version of the physical activity enjoyment scale: development and psychometric properties. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(21), p.11035.

Farrow, M., Lutteroth, C., Rouse, P.C. and Bilzon, J.L., 2019. Virtual-reality exergaming improves performance during high-intensity interval training. *European journal of sport science*, 19(6), pp.719-727.

Ferrandez, C., Marsan, T., Poulet, Y., Rouch, P., Thoreux, P. and Sauret, C., 2021. Physiology, biomechanics and injuries in table tennis: A systematic review. *Science & Sports*, 36(2), pp.95-104.

Gallardo, M.P.C., de la Fuente, F.P., Moreno-Azze, A. and Páez, L.C., 2023. Physiological demands of racket sports: a systematic review. *Frontiers in Psychology*, 14.

Gomez, D.H., Bagley, J.R., Bolter, N., Kern, M. and Lee, C.M., 2018. Metabolic cost and exercise intensity during active virtual reality gaming. *Games for health journal*, 7(5), pp.310-316.

Halperin, I. and Emanuel, A., 2020. Rating of perceived effort: methodological concerns and future directions. *Sports Medicine*, 50, pp.679-687.

Johansen, J.M., Schutte, K.V.D.I. and Bratland-Sanda, S., 2023. Large Estimate Variations in Assessed Energy Expenditure and Physical Activity Levels during Active Virtual Reality Gaming: A Short Report. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(2), p.1548.

Kim, H.J., Lee, J.W., Choi, G., Huh, J. and Han, D.H., 2023. Differences in Brain Activity and Body Movements Between Virtual Reality and Offline Exercise: Randomized Crossover Trial. *JMIR Serious Games*, 11, p.e40421.

Martin, C., Favier-Ambrosini, B., Mousset, K., Brault, S., Zouhal, H. and Prioux, J., 2015. Influence of playing style on the physiological responses of offensive players in table tennis. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 55(12), pp.1517-1523.

Mazeas, A., Duclos, M., Pereira, B. and Chalabaev, A., 2022. Evaluating the effectiveness of gamification on physical activity: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Medical Internet Research*, 24(1), p.e26779.

Michalski, S.C., Szpak, A., Saredakis, D., Ross, T.J., Billingham, M. and Loetscher, T., 2019. Getting your game on: Using virtual reality to improve real table tennis skills. *PloS one*, 14(9), p.e0222351.

Milioni, F., Leite, J.V.D.M., Beneke, R., De Poli, R.A.B., Papoti, M. and Zagatto, A.M., 2018. Table tennis playing styles require specific energy systems demands. *PLoS One*, 13(7), p.e0199985.

Ndahimana, D. and Kim, E.K., 2017. Measurement methods for physical activity and energy expenditure: a review. *Clinical nutrition research*, 6(2), pp.68-80.

Neumann, D.L., Moffitt, R.L., Thomas, P.R., Loveday, K., Watling, D.P., Lombard, C.L., Antonova, S. and Tremeer, M.A., 2018. A systematic review of the application of interactive virtual reality to sport. *Virtual Reality*, 22, pp.183-198.

Nor, N., Sunar, M. and Kapi, A., 2019. A review of gamification in Virtual Reality (VR) sport. *EAI Endorsed Transactions on Creative Technologies*, 6(21).

Ortiz-Delatorre, J., Durk, R.P., Esparza, A., Ruiz, A., Doaz, M.J., Kern, M. and Bagley, J.R., 2021, December. Estimating Energy Expenditure During Active Virtual Reality Gaming. In *Innovation in Physical Activity and Sport: Selected Papers from the 1st International Virtual Conference on Technology in Physical Activity and Sport* (pp. 66-73). Cham: Springer International Publishing.

Perrin, T., Faure, C., Nay, K., Cattozzo, G., Sorel, A., Kulpa, R. and Kerhervé, H.A., 2019. Virtual reality gaming elevates heart rate but not energy expenditure compared to conventional exercise in adult males. *International journal of environmental research and public health*, 16(22), p.4406.

Shieh, S.C., Chou, J.P. and Kao, Y.H., 2010. Energy expenditure and cardiorespiratory responses during training and simulated table tennis match. *International Journal of Table Tennis Sciences*, 6, pp.186-189.

Sperlich, B., Koehler, K., Holmberg, H.C., Zinner, C. and Mester, J., 2011. Table tennis: Cardiorespiratory and metabolic analysis of match and exercise in elite junior national players. *International journal of sports physiology and performance*, 6(2), pp.234-242.

Zagatto, A.M., Kondric, M., Knechtle, B., Nikolaidis, P.T. and Sperlich, B., 2017. Energetic demand and physical conditioning of table tennis players. A study review. *Journal of Sports Sciences*, 36(7), pp.724-731.

Zagatto, A.M., Morel, E.A. and Gobatto, C.A., 2010. Physiological responses and characteristics of table tennis matches determined in official tournaments. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(4), pp.942-949.

Annexes

Annexe 1

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

Titre du projet : Analyse comparative des réponses aigues et des caractéristiques de jeu entre le tennis de table en réalité virtuelle (PingVR) et le tennis de table conventionnel

Chercheurs titulaires responsables scientifiques du projet : Mathieu Plautard, Samuel Souffoy

Etudiants impliqués dans le projet : Hugo Rabesona (M1 – Sciences du Numérique et du Sport)

Lieu de recherche : CREPS des Pays de la Loire

Je soussigné : (Nom, Prénom)

accepte librement et volontairement de participer à l'étude intitulée :

« Analyse comparative des réponses aigues et des caractéristiques de jeu entre le tennis de table en réalité virtuelle (PingVR) et le tennis de table conventionnel »

organisée par le PRN SI du CREPS des Pays de la Loire et qui est proposée par Mathieu Plautard (mathieu.plautard@creps-pdl.sports.gouv.fr), Hugo Rabesona (hugo.rabesona@creps-pdl.sports.gouv.fr) et Samuel Souffoy (samuel.souffoy@creps-pdl.sports.gouv.fr)

Je certifie avoir lu et compris la note d'information qui m'a été remise. Je déclare :

- Que j'ai eu la possibilité de poser toutes les questions que je souhaitais aux responsables de l'étude,
- Qu'il m'a expliqué l'objectif, la méthode et la durée de l'étude, les risques potentiels et les contraintes liées à ma participation à cette étude.
- Qu'il m'a fait connaître mon droit de refuser de participer et en cas de désaccord de retirer mon consentement à tout moment.

Les informations relatives à l'étude recueillies sont traitées confidentiellement.

J'accepte que les données enregistrées à l'occasion de cette recherche puissent faire l'objet d'un traitement informatisé anonyme. J'ai bien noté que les droits d'accès, de rectification, d'opposition et de limitation du traitement des données prévus par la loi informatique et libertés du 6 janvier 1978 modifiée s'exercent à tout moment auprès du médecin qui me suit dans le cadre de la recherche et qui connaît mon identité ou du délégué de protection des données du promoteur dont les coordonnées sont mentionnées dans la note d'information qui m'a été remise.

Signature du participant adulte	Signature du responsable de l'étude
Nom :	Nom :
Prénom :	Prénom :
Date :	Date :

Signature :	Signature :
-------------	-------------

*Certifie avoir pleinement expliqué à la personne signataire le but, les modalités ainsi que les risques potentiels de la recherche. Je m'engage à faire respecter les termes de ce consentement.

Annexe 2

Echelle de Borg modifiée (CR-10)

Échelle de Borg modifiée (0-10)	Perception de l'effort*
0	Rien du tout
0,5	Très très facile
1	Très facile
2	Facile
3	Moyen
4	Un peu difficile
5	Difficile
6	
7	Très difficile
8	
9	Très très difficile
10	

Annexe 3

Questionnaire s-PACES – 4 ITEMS

Item 1 : J'ai apprécié l'activité

Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Ni en désaccord ni d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord
1	2	3	4	5

Item 2 : J'ai trouvé l'activité amusante

Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Ni en désaccord ni d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord
1	2	3	4	5

Item 3 : L'activité est très plaisante

Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Ni en désaccord ni d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord
1	2	3	4	5

Item 4 : L'activité fait du bien (se sentir bien / être de bonne humeur)

Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Ni en désaccord ni d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord
1	2	3	4	5

Annexe 4 – Fiche de recrutement



MINISTÈRE
DES SPORTS
ET DES JEUX OLYMPIQUES
ET PARALYMPIQUES

*Sport
Espoir
Parce que*

Pôle Ressources National
Sport-Innovations (PRN SI)

Dans le cadre d'un protocole de recherche, le PRN SI vous invite à participer à notre étude. Le protocole a pour but d'étudier et de comparer la dépense énergétique et psycho-physiologique au tennis de table virtuel (PingVR) par rapport au tennis de table conventionnel (TT). Le second objectif est de comparer les caractéristiques de jeu entre le PingVR et le TT.

Le protocole :

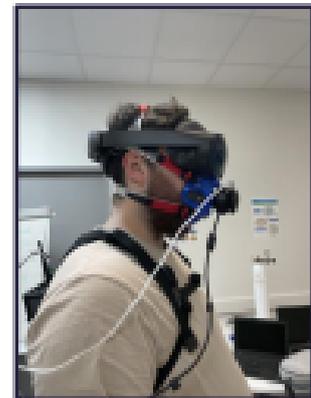
12 au 16 juin	19 au 23 juin	26 au 30 juin
-Phase de familiarisation au PingVR	-Test PingVR	-Test PingVR
	et/ou	et/ou
-Phase de familiarisation au TT	-Test TT	-Test TT
-Début des tests en PingVR/TT		

Les mesures :

- Mesure de la dépense énergétique
- Mesure de la fréquence cardiaque au repos et durant les activités
- Mesure du plaisir et de l'effort ressenti durant les activités
- Analyse vidéo des activités

*Durant les phases de test vous serez équipé d'un système portable d'analyse des gaz ainsi que d'une ceinture cardiofréquence-mètre. Lors de la pratique du PingVR, vous serez équipé d'un casque de réalité virtuelle.

*Un questionnaire vous sera également distribué en amont afin de recueillir vos données personnelles (âge, taille, poids, expérience au TT/PingVR, volume d'activité physique hebdomadaire)



Critères d'inclusions :

- Vous ne souffrez pas de cybercinétose (mal des transports, crises d'anxiété, migraines, troubles de l'équilibre)
- Vous êtes disponibles sur l'ensemble des semaines indiquées ci-dessus
- Vous ne disposez pas de contre-indications à la pratique physique

Si vous êtes volontaires et que vous correspondez aux critères d'inclusions ou si vous avez des remarques/questions, vous pouvez contacter les responsables de l'étude :

hugo.rabesona@creps-pdl.sports.gouv.fr / 06 84 70 11 84

samuel.souffroy@creps-pdl.sports.gouv.fr / 06 12 16 51 10

Merci de nous faire part au plus vite de votre disponibilité !

Annexe 5 – Questionnaire recueil informations anthropométriques

Questionnaire						
					<i>Choisir parmi les valeurs proposées ci-dessous</i>	
Sexe (M/F)	Age	Taille (cm)	Poids (kg)	Nombre d'heure d'AP/semaine	Nombre d'heure de tennis de table	Nombre d'heure de PingVR

<i>Nombre d'heure de tennis de table / PingVR</i>
0-50 heure(s)
50 – 100 heures
> 100 heures

Résumé - Abstract

Titre : Analyse comparative des réponses aiguës et des caractéristiques de jeu entre le tennis de table en réalité virtuelle (PingVR) et le tennis de table conventionnel

Problématique : Quel est l'impact de la pratique du PingVR sur les réponses aiguës et les caractéristiques de jeu par rapport au tennis de table conventionnel ?

Méthodologie : Nous avons mesuré la dépense énergétique (DE), la fréquence cardiaque (FC) et évalué l'effort perçu ainsi que plaisir perçu chez douze adultes en bonne santé (âge : $33,7 \pm 11,2$ ans) effectuant deux tests dans un ordre aléatoire : PingVR, tennis de table conventionnel (TT). Pour ce faire, nous avons utilisé un système portable d'analyse des gaz couplé à une ceinture thoracique ainsi que des échelles de perception de l'effort et de plaisir. De plus, les sessions de test ont été filmées à l'aide d'une tablette et d'un logiciel de capture d'écran afin de quantifier les caractéristiques de jeu. Les valeurs des variables physiologiques, les scores des réponses perceptives ont été comparés individuellement entre le PingVR et le tennis de table conventionnel ainsi que les caractéristiques de jeu.

Discussion / Conclusion et perspectives : La méthodologie utilisée est susceptible de biaiser certains futurs résultats. Néanmoins, ils pourront permettre de comparer le PingVR et le tennis de table d'un point de vue quantitatif et qualitatif. En outre, ils ouvrent de nouvelles perspectives pour les secteurs souhaitant promouvoir le développement la pratique sportive en réalité virtuelle.

Mots-clés : PingVR, tennis de table, jeu de fitness, réalité virtuelle, dépense énergétique, fréquence cardiaque

Title : Comparative analysis of acute responses and game features between table tennis in virtual reality (PingVR) and conventional table tennis.

Issue : What is the impact of PingVR practice on acute responses and game features compared with conventional table tennis ?

Methods : We measured energy expenditure (EE), heart rate (HR) and assessed perceived effort and pleasure in twelve healthy adults (age: $33,7 \pm 11,2$ years) performing two tests in random order : PingVR conventional table tennis (TT). To do this, we used a portable gas analysis system coupled to a chest belt, as well as effort perception and pleasure scales. In addition, the test sessions were filmed using a tablet and screen capture software to quantify game features. Values of physiological variables and perceptual response scores were compared individually between PingVR and conventional table tennis, as well as game features.

Discussion / Conclusion and prospects : The methodology used may bias some future results. Nevertheless, they will enable to compare PingVR and conventional table tennis from a quantitative and qualitative point of view. Furthermore, they open up new prospects for sectors wishing to promote the development of virtual reality sports.

Keywords : PingVR, tennis table, active gaming, virtual reality, energy expenditure, heart rate