

**Faculté des sciences de la motricité**

**Efficacité de la réalité virtuelle  
immersible par rapport aux  
méthodes conventionnelles  
pour la rééducation du contrôle  
postural chez les adultes ayant  
subi un AVC**

Mémoire bibliographique narratif

Auteur : Prune LECOCQ  
Promoteur : Antoine GOFFART  
Année académique : 2023-2024  
Master en kinésithérapie et réadaptation

## **REMERCIEMENTS**

Je tiens en premier lieu à remercier mon promoteur Antoine Goffart pour m'avoir guidée dans la rédaction de ce mémoire. Son implication à travers ses conseils avisés et sa réactivité ont grandement participé au bon déroulement du processus d'écriture.

Un grand merci également à mes parents et à mes amis qui m'ont soutenue tout au long de la création de ce travail.

## TABLE DES MATIÈRES

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>METHODE</b> .....	<b>9</b>
2.1	PICO .....	9
2.2	ÉQUATIONS DE RECHERCHE .....	9
2.3	CRITERES D'ELIGIBILITE .....	10
2.4	SELECTION DES ETUDES .....	11
2.5	EXTRACTION DES DONNEES .....	11
2.6	RISQUE DE BIAIS DE CHAQUE ETUDE .....	12
<b>3</b>	<b>RÉSULTATS</b> .....	<b>12</b>
3.1	SYNTHESES DES RESULTATS .....	<b>ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.</b>
3.2	PROTOCOLE D'INTERVENTION POUR LES GROUPES EXPERIMENTAUX .....	13
3.3	PROTOCOLE D'INTERVENTION DES GROUPES CONTROLES .....	14
3.4	EFFETS INDESIRABLES .....	16
3.5	OUTILS D'EVALUATION .....	16
3.6	RESULTATS (TABLEAU 1) .....	19
<b>4</b>	<b>DISCUSSION</b> .....	<b>26</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSION</b> .....	<b>33</b>
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>34</b>

## RÉSUMÉ

**Objectif :** depuis quelques années, la réalité virtuelle immersive a montré son efficacité quant à la récupération de la fonction des membres supérieurs et inférieurs ainsi que pour améliorer l'héminégligence des patients après un AVC par rapport aux méthodes conventionnelles. Le but de ce mémoire est d'étudier, à partir des données de la littérature scientifique, l'efficacité de cette méthode pour la rééducation du contrôle postural chez les adultes ayant subi un AVC par rapport aux méthodes conventionnelles.

**Méthode :** une recherche documentaire a été réalisée à partir des bases de données PudMed, La Cochrane Library, Scopus et Embase. Seuls les essais contrôlés randomisés publiés en anglais ou en français, répondant aux critères PICO et gratuits ou accessibles grâce à la faculté de l'UCLouvain ont été sélectionnés.

**Résultats :** six études ont été retenues. Elles ont inclus au total 174 participants touchés par un AVC, en phase aiguë, subaiguë ou chronique et d'une moyenne d'âge de 57 ans. Différentes techniques de réalité virtuelle immersive ont été utilisées (casque, écrans). La marche et l'équilibre dynamique et statique ont été analysés par des tests souvent différents selon les études. L'utilisation de la réalité virtuelle immersive, qu'elle soit associée ou non à de la thérapie standard, semble améliorer significativement la marche par rapport à l'application d'un traitement conventionnel. L'équilibre dynamique a été amélioré dans la moitié des cas et l'équilibre statique ne l'a été que dans une seule étude.

**Conclusion :** la réalité virtuelle immersive permettrait d'améliorer la marche par rapport aux méthodes conventionnelles, mais son efficacité n'est pas unanime concernant l'équilibre dynamique et statique. Toutefois, l'hétérogénéité des méthodes utilisées, la définition discutable du qualificatif « immersif », le nombre restreint d'articles concernant ce sujet et le faible nombre de patients inclus rendent difficile l'interprétation des résultats obtenus. D'autres études évitant ces écueils sont nécessaires.

## 1 INTRODUCTION

Les accidents vasculaires cérébraux (AVC) sont à l'origine de 11% des décès dans le monde et constituent la deuxième cause de mortalité (World Health Organization : WHO, 2020). Ils sont aussi responsables de nombreuses séquelles altérant la qualité de vie des patients.

Les AVC peuvent être de deux natures : ischémique ou hémorragique. Dans le premier cas, le plus fréquent (80% des AVC), une artère du cerveau est obstruée, tandis que dans le second cas c'est la rupture d'un vaisseau qui survient, provoquant un œdème intracérébral (Belgian Stroke Council, 2021). Dans les deux situations, les cellules nerveuses des territoires concernés ne sont plus oxygénées et finissent par mourir, provoquant alors une perte des fonctions cérébrales correspondantes.

Les conséquences d'un AVC sont nombreuses et dépendent des zones concernées : déficit moteur (80 % des cas), tonus anormal, altération de la proprioception, troubles phasiques, troubles cognitifs, etc. (Demeco et al., 2023; Shen et al., 2023). 83% des patients ayant subi un AVC souffrent d'un trouble du contrôle postural (Li et al., 2019) responsable d'une limitation parfois invalidante des activités de la vie quotidienne, avec risque de chutes et altération de leur qualité de vie. Les troubles posturaux s'expliquent par divers déficits au niveau de la sensorimotricité, des stratégies posturales, des co-activations musculaires synergiques, ainsi qu'au niveau des interactions entre ces stratégies motrices et les troubles de la cognition spatiale (hémignégligence, perception de la verticalité...) (Tasseel-Ponche et al., 2015).

La récupération neurologique relève de trois phénomènes. Le premier est la récupération spontanée des zones cérébrales qui n'étaient qu'en souffrance, dite « pénombre ischémique ». Il procède d'un phénomène d'autorégulation des collatérales vasculaires qui vont compenser l'hypoperfusion des tissus touchés. Cette récupération est amplifiée par les traitements réalisés en phase précoce comme la thrombolyse, la thrombectomie et le contrôle de la tension artérielle. Le deuxième est la plasticité cérébrale qui permet de recréer des cellules nerveuses en réponse à la répétition de tâches motrices. Celle-ci intervient lorsque les lésions sont installées et rend compte de l'importance de la rééducation. Le dernier phénomène impliqué dans la récupération est l'apparition d'effets périphériques tels que la spasticité et l'augmentation de la raideur des tendons et des tissus

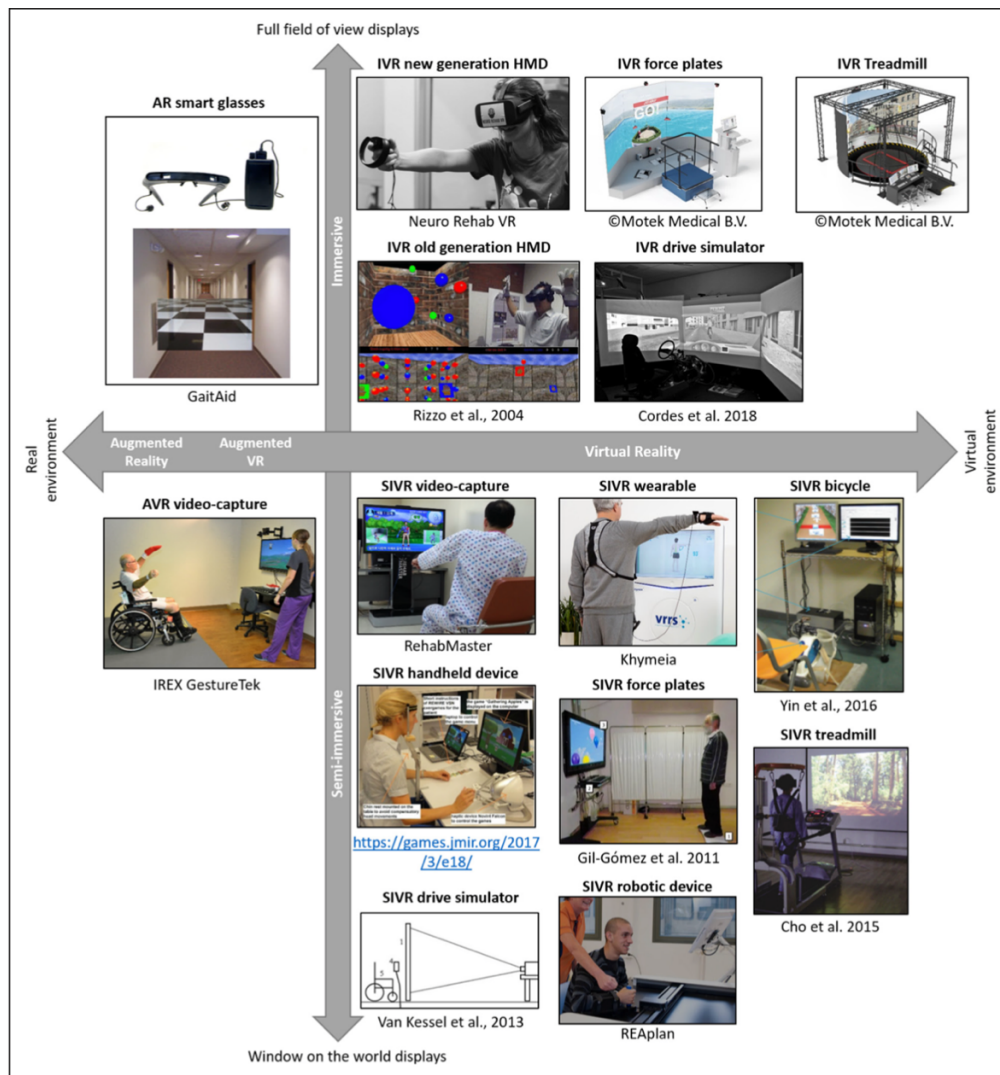
mous, qui vont influencer la récupération motrice et obliger les patients à créer des compensations pour réaliser certains mouvements. Ces mécanismes spontanés permettent une récupération qui atteindra un plateau dans les dix semaines suivant l'AVC (Kwakkel et al., 2023; Yelnik, 2022).

Une rééducation précoce des patients est fondamentale pour limiter les séquelles. Les méthodes de rééducation traditionnelle, qui reposent sur des exercices répétitifs orientés vers un but précis, nécessitent une bonne compliance des patients, sont directement liées au niveau de compétence des thérapeutes et ne permettent pas toujours de réaliser des exercices en toute sécurité dans des situations de la vie réelle (Chang et al., 2022; Zhang et al., 2023). Les méthodes traditionnelles utilisées pour améliorer l'équilibre sont basées sur l'entraînement à la marche : treadmill, body-weight-supported treadmill, robot-assisted gait training, conventional gait training, and overground walking training. Cependant, les effets de l'entraînement à la marche sur l'équilibre après un AVC sont incertains. On ne sait pas si une méthode est plus efficace qu'une autre (Lyu et al., 2023). Selon les recommandations canadiennes, le « body-weight-supported treadmill » (tapis de marche avec support du poids du corps) pourrait améliorer l'équilibre dynamique en phase subaigue d'un AVC (Stephan & Perennou, 2021). Une méta-analyse récente laisse penser que l'« overground walking training » et le « robotic-assisted gait training » n'auraient aucun effet significatif sur l'équilibre à l'inverse du tapis de marche (Nindorera et al., 2022). Dans une autre revue systématique avec méta-analyse, les auteurs concluent que les méthodes de rééducation à la marche de type « body-weight-supported treadmill » et « robot-assisted gait training » ne sont pas efficaces pour améliorer l'équilibre (Hsu et al., 2020).

Une alternative a été développée depuis quelques années : la réalité virtuelle (Demeco et al., 2023). Elle peut être définie comme « une technologie informatique qui permet aux utilisateurs d'interagir avec un environnement simulé multisensoriel et de recevoir des retours en temps réel sur les performances » (Laver et al., 2017). Il y a différents degrés de réalité virtuelle : non-immersive, semi-immersive et immersive. Dans le cas des réalités virtuelles non-immersives et semi-immersives, l'utilisateur perçoit à la fois le monde réel qui l'entoure et le monde virtuel. Il n'est donc pas complètement immergé dans l'environnement

virtuel. C'est le cas par exemple des ordinateurs et des consoles de jeux. Les résultats d'essais cliniques ont montré que la réalité virtuelle non-immersive et semi-immersive donne de meilleurs résultats que la rééducation conventionnelle sur l'équilibre et la marche chez les patients ayant eu un AVC (Cho & Lee, 2014; Lyu et al., 2023).

La réalité virtuelle immersive, quant à elle, immerge complètement l'utilisateur dans l'environnement virtuel. Ceci est rendu possible par l'association d'ordinateurs, de casques de réalité virtuelle, des capteurs de mouvements corporels, des interfaces spécialisées et d'autres outils, qui permettent à l'utilisateur d'être acteur en temps réel dans le monde virtuel généré, en bougeant naturellement avec son corps (Palacios-Navarro & Hogan, 2021). La réalité virtuelle immersive permet de proposer des exercices adaptés à chaque patient, dans un environnement stimulant et sécurisé, qui seraient trop difficiles et trop coûteux à mettre en place dans la réalité. De plus, sa forme ludique motive davantage les patients, ce qui est un élément clé pour la participation assidue au traitement ainsi qu'à l'amélioration des capacités motrices (Demeco et al., 2023). Nous essaierons, à partir des données de la littérature, de trouver la place actuelle de la réalité virtuelle immersive par rapport aux méthodes de rééducation conventionnelle dans l'amélioration des troubles posturaux chez les personnes touchées par un AVC.



Source : (Huygelier et al., 2021)

Légende : Taxonomy of mixed reality rehabilitation systems, based on the extent to which real and virtual information is mixed, the level of immersion and the main input device. AR = augmented reality, AVR = augmented virtual reality, IVR = immersive virtual reality, SIVR = semi-immersive virtual reality. HMD = head-mounted display. Permission to re-use images was provided by the original copyright owners in written format (Cho et al., 2015; Cordes et al., 2018; Gil-Gómez et al., 2011; Rizzo et al., 2004; Tobler-Ammann et al., 2017; van Kessel et al., 2013; Yin et al., 2016). The category SIVR desktop systems are not illustrated, because articles describing these systems typically do not include pictures of the hardware.

## 2 MÉTHODE

### 2.1 PICO

Méthode PICO :

Critères PICO	En français	MeSh en anglais	Synonymes en anglais
Population : patient ou problème	Accident vasculaire cérébral, AVC	Stroke	Sroke, cerebrovascular accident, brain vascular accident
Intervention	Réalité virtuelle immersive	Virtual reality exposure therapy	Immersive virtual reality, virtual reality, head-mounted- display
Comparateur	Contrôle		
Outcome : critère de jugement	Équilibre postural	Postural balance	Gait, balance, postural control, posture, postural balance

### 2.2 Équations de recherche

**Pubmed :** ("stroke"[MeSH Terms] OR "stroke"[Text Word] OR "Cerebrovascular accident"[tiab] OR "brain vascular accident"[tiab]) AND ("virtual reality exposure therapy"[MeSH Terms] OR virtual reality[Text Word] OR "immersive"[tiab] OR "head-mounted-display"[tiab] OR "immersive virtual reality"[tiab]) AND ("postural balance"[MeSH Terms] OR "gait"[tiab] OR "posture"[tiab] OR "postural control"[tiab] OR "balance"[tiab])

**Scopus :** ( "stroke" OR "stroke" OR "Cerebrovascular accident" OR "brain vascular accident" ) AND ( "virtual reality exposure therapy" OR virtual AND reality AND immersive OR "head-mounted-display" OR "immersive virtual reality" ) AND ( "postural balance" OR "gait" OR "posture" OR "postural control" OR "balance" )

**The Cochrane Library :** (stroke\* OR brain vascular accident\* OR cerebrovascular accident\*) AND («virtual reality exposure therapy» OR «immersive virtual reality» OR «virtual reality») AND (gait\* OR balance\* OR postural balance\* OR posture\* OR postural control\*)

**Embase :** ( "stroke" OR "stroke" OR "Cerebrovascular accident" OR "brain vascular accident" ) AND ( "virtual reality exposure therapy" OR virtual AND reality AND immersive OR "head-mounted-display" OR "immersive virtual reality" ) AND ( "postural balance" OR "gait" OR "posture" OR "postural control" OR "balance" )

### 2.3 Critères d'éligibilité

Les articles qui composent cette revue narrative ont été sélectionnés à partir de la méthode PICO. Les critères d'inclusion sont les suivants :

- Participants : les études prenant en charge des patients adultes, c'est-à-dire âgés de plus de 18 ans, ayant subi un accident vasculaire cérébral. Peu importe le stade ou la sévérité de l'atteinte.
- Intervention : les études portant sur la réalité virtuelle immersive. Les études portant sur la réalité virtuelle non immersive ont été exclues.
- Comparateur : les études comparant l'utilisation de la réalité virtuelle immersive à des méthodes de rééducation classiques.

- Critères de jugement : les études ayant pour objectif d'évaluer l'efficacité de la réalité virtuelle immersive sur la rééducation du contrôle postural.
- Types d'études : les articles sont des revues systématiques, des méta-analyses ou des essais contrôlés randomisés dont le texte intégral est disponible gratuitement ou via la faculté UCLouvain, en anglais ou en français.

## **2.4 Sélection des études**

La recherche des articles a été effectuée sur les bases de données PubMed, Cochrane Library, Scopus et Embase. En tout 76 publications ont été trouvées. Un premier tri a été effectué à partir des titres des articles, dont les doublons ont été supprimés. Ceci a été suivi de l'analyse des résumés puis d'une lecture plus approfondie des articles. Toute cette analyse a été effectuée sur la base des critères PICO exposés plus haut. Aucune revue systématique ou méta-analyse ne répondait à nos critères de jugement : les essais contrôlés randomisés analysés portaient à la fois sur la réalité virtuelle immersive ou non immersive, ou n'étudiaient pas l'impact sur l'équilibre postural. Finalement, afin de répondre à la question posée, nous avons rejeté les revues systématiques et méta-analyses et retenu uniquement les essais contrôlés. Après avoir éliminé les revues payantes non accessibles par la faculté de l'UCLouvain et les articles avec un score Pedro inférieur à 6, c'est au total 6 essais contrôlés randomisés qui ont été regroupés pour cette revue bibliographique narrative.

## **2.5 Extraction des données**

Les informations pertinentes des articles ont été rassemblées dans un tableau (tableau 1). Celles-ci reprennent :

- Le nom de l'auteur, l'année de publication, le pays d'origine, le score Pedro
- Les informations des participants par groupe : leur nombre, leur sexe, leur âge moyen, l'étiologie de leur AVC et le délai entre la survenue de l'AVC et le début de la rééducation.
- La description de l'outil de réalité virtuelle immersive utilisé

- La description des interventions
- Les méthodes d'évaluation
- Les résultats

## **2.6 Risque de biais de chaque étude**

La méthodologie de chaque essai contrôlé randomisé a été évaluée par l'échelle PEDro (Physiotherapy Evidence Database). Celle-ci repose sur onze critères et a été créée par des experts avec pour objectif d'aider l'utilisateur à identifier rapidement quels sont les essais cliniques réellement ou potentiellement randomisés qui sont susceptibles d'avoir une bonne validité interne et dont les informations statistiques sont suffisantes pour rendre les résultats interprétables. Un critère est relatif à la validité externe, c'est-à-dire à la possibilité de généraliser les résultats, mais celui-ci n'est pas pris en compte dans le calcul du score PEDro. Ce score est considéré comme étant de haute qualité lorsqu'il est compris entre 6 et 10 ([pedro.org.au](http://pedro.org.au), [strokeengine.ca](http://strokeengine.ca)).

Le score de chaque essai contrôlé randomisé a été reporté dans le tableau 1.

## **3 RÉSULTATS**

### **3.1 Données des participants**

Les essais contrôlés randomisés ont inclus au total 174 participants, dont 108 hommes et 66 femmes, d'une moyenne d'âge de 57 ans.

Quatre études avaient comme critères de sélection les accidents vasculaires cérébraux chroniques, c'est-à-dire datant de plus de six mois. Une autre étude recrutait des participants se trouvant entre deux semaines et six mois après leur AVC (de Rooij et al., 2021) et la dernière étude recrutait des participants ayant eu un AVC il a moins de six mois (Pelaez-Velez et al., 2023).

Dans quatre études, les AVC étaient de nature ischémique ou hémorragique. Dans celles de Yang et de Lee cela n'a pas été précisé.

### **3.2 Protocole d'intervention pour les groupes expérimentaux**

Dans les études de Kim et Yang, les participants des groupes expérimentaux devaient marcher sur un tapis de marche, situé devant un grand écran sur lequel étaient projetés différents scénarios en trois dimensions. Alors que les sessions de réalité virtuelle dans l'étude de Yang étaient de 20 minutes, à raison de trois fois par semaine pendant 3 semaines, celles de Kim duraient 30 minutes, également à raison de 3 fois par semaine, mais étalées sur une période de 4 semaines. De plus, dans cette dernière, les participants avaient en supplément deux sessions par jour de thérapie standard, d'une durée de 30 minutes, pendant 4 semaines.

De Rooj a procédé de la même façon, avec la particularité d'avoir utilisé le système GRAIL (Gait Real-time Analysis Interactive Lab) qui analyse en temps réel la marche de l'utilisateur.

Les séances duraient 30 minutes, à raison de deux fois par semaine pendant 6 semaines.

Tandis que Kim et Yang ont utilisé des mises en situations telles que marcher sur un chemin, franchir des obstacles, marcher en pente ou encore traverser la rue, De Rooj ne précise pas le type d'environnements virtuels projetés à l'écran. Il parle d'une variété d'applications de rééducation, c'est-à-dire différents environnements de réalité virtuelle, avec des objectifs différents selon l'objectif thérapeutique (équilibre, double tâche...). Dans les trois études, le degré de difficulté pouvait être modifié afin d'être ajusté au mieux aux différents participants.

Lee et al ont utilisé ou associé une rééducation basée sur la réalité virtuelle immersive à une rééducation standard. Pour la première, un casque de réalité virtuelle permettait aux participants de voir de façon simultanée les exercices de rééducation posturale à réaliser ainsi que leur position réelle. Ils avaient trois sessions de 30 minutes par semaine, pendant quatre semaines. Trois étapes devaient être respectées : six exercices en position allongée, puis quatre exercices en position assise et finalement six exercices en position debout.

A cela s'ajoutait une session de 30 minutes par jour de rééducation standard pendant quatre semaines.

Pelaez-Velez et al ont également suivi ce format. Cinq fois par semaine, durant une heure, avaient lieu des séances de rééducation standard. A cela s'ajoutaient

trois séances de réalité virtuelle par semaine. Les séances de rééducation conventionnelle étaient les mêmes que pour le groupe contrôle et seront expliquées plus bas. Lors des séances de réalité virtuelle, les participants munis d'un casque et de capteurs au niveau des mains devaient jouer à trois jeux. Ces derniers consistaient à : couper du bois, pagayer pour faire avancer une barque et monter à un arbre. Tout au long des exercices les patients devaient rester debout. Des objectifs étaient fixés pour chaque patient par les thérapeutes. Ils consistaient à réaliser une tâche en un temps imparti (couper un certain nombre de bûches, pagayer un certain nombre de mètres et monter à l'arbre sur une hauteur donnée).

Finalement, Cho et al ont utilisé la méthode TBRVR (treadmill training based real-world video recording). Celle-ci consiste à projeter six vidéos de 10 minutes filmées dans différents endroits (piste d'athlétisme, rue en plein jour...), alors que le participant marche sur un tapis de marche. Chaque semaine une vidéo différente était diffusée trois fois de suite, à raison de 30 minutes par jour, trois fois par semaine durant six semaines. Le degré de difficulté était croissant de semaine en semaine (sol sec, sol mouillé, en plein jour, le soir...).

En plus de l'entraînement de réalité virtuelle, les participants avaient un entraînement commun au groupe contrôle. Celui-ci se déroulait cinq fois par semaine pendant six semaines. L'entraînement sera décrit dans la section suivante.

### **3.3 Protocole d'intervention des groupes contrôles**

Le groupe contrôle de l'étude de Yang et al devait marcher sur un tapis de marche en réalisant différentes tâches : lever les jambes pour simuler le passage d'obstacles, marcher en pente descente et ascendante et marcher rapidement. Cela à raison de trois sessions de 20 minutes par semaine pendant trois semaines.

Dans l'étude de Kim et al, deux groupes comparatifs ont été créés : le groupe CA (Community Ambulation training) et le groupe contrôle. Le premier devait marcher dans différents endroits sur des sols à pente et à stabilité variables ainsi que dans les escaliers. Une aide humaine était présente du côté parétique pour garantir la sécurité des participants. Chaque séance durait 30 minutes à raison de trois sessions par semaine pendant un mois. À cela s'ajoutait comme entraînement

commun aux deux groupes deux sessions de 30 minutes de thérapie standard par jour pendant un mois.

Le groupe contrôle de Lee et al a suivi une rééducation standard à raison d'une session de 30 minutes par jour pendant quatre semaines.

Les séances d'entraînement du groupe contrôle de l'étude de De Rooij associaient 10-15 minutes de « conventional treadmill training », soit de la marche sur tapis, à 15 minutes d'exercices fonctionnels de marche. Ces derniers étaient au nombre de six : marcher sur un step, marcher et ramasser différents objets posés au sol, marcher sur des surfaces non planes, marcher en slalom, marcher dans des cerceaux et enfin marcher par-dessus un bâton fixé entre deux pylônes. Le thérapeute choisissait les exercices pour chaque session. Ils étaient individualisés en adaptant le nombre de répétitions, la distance, la hauteur et le nombre de doubles tâches par exemple. Les participants suivaient deux séances de 30 minutes par semaine pendant six semaines.

Dans l'étude de Pelaez-Velez et al, le groupe contrôle devait participer à une heure de thérapie standard cinq fois par semaine. Celle-ci consistait en du renforcement des membres supérieurs et inférieurs, de la kinésithérapie active et activo-passive, des exercices aérobies, de la marche et du passage d'obstacles entre des barres parallèles, des sauts, des circuits avec différentes tâches et différentes surfaces, des exercices de motricité fine et de transferts de poids. Ces exercices ont été réalisés dans différentes positions (debout, quadrupédie...)

Finalement, le groupe contrôle de l'étude de Cho et al combinait un entraînement propre à un entraînement commun avec groupe expérimental. L'entraînement spécifique au groupe contrôle consistait à marcher sur un tapis de marche 30 minutes par jour, trois fois par semaines pendant six semaines. L'entraînement commun aux deux groupes quant à lui était réalisé cinq fois par semaine pendant six semaines. Il consistait en trois types de thérapies : un traitement neurodéveloppemental avec facilitation neuromusculaire proprioceptive, des exercices fonctionnels pour le membre supérieur et de la stimulation électrique

fonctionnelle appliquée au membre inférieur. Les deux premiers types de thérapie avaient lieu 30 minutes par jour et la dernière 20 minutes par jour.

### **3.4 Effets indésirables**

Aucune étude n'a parlé d'effets indésirables sauf celle de De Rooij. Dans cette dernière, l'auteur affirme qu'aucun effet indésirable sérieux n'a été reporté durant l'étude. Au sein du groupe expérimental ont été relevés : trois risques de chute, vertiges (un participant), de la fatigue (trois participants), de la raideur musculaire ou de la douleur dans les jambes (quatre participants). Dans le groupe contrôle ont été cités : trois risques de chute, un mal de tête, une augmentation du clonus au niveau du pied, des difficultés à respirer (un participant), des vertiges (quatre participants), de la fatigue (quatre participants) et de la douleur dans les jambes ou dans le dos (trois participants). Certains de ces effets ont conduit à prendre des pauses ou à arrêter précocement la session, mais aucun n'a conduit à l'arrêt de l'intervention.

### **3.5 Outils d'évaluation**

Les outils d'évaluation dans ces essais étaient très variables. Voici une liste exhaustive de ces derniers accompagnés de leur définition.

- **ABC** (Activities-specific balance confidence scale) : est un questionnaire à remplir par le patient lui-même. Le but est d'évaluer le niveau de confiance ressenti quant à la réalisation de 16 activités ambulatoires sur une échelle de 0 (pas confiant) à 100 (confiance absolue). Le version chinoise de cette échelle a été utilisée dans cette étude. (Yang, Kim)

- **TUG** : le Timed Up and Go est un test de rendement physique général utilisé pour évaluer la mobilité, l'équilibre et le rendement locomoteur chez les personnes âgées avec des troubles d'équilibre.

Il consiste à se lever d'une chaise, marcher trois mètres, faire demi-tour et refaire trois mètres jusqu'à regagner la chaise pour s'y rasseoir. Le patient peut utiliser son

aide technique habituelle si besoin. Il réalise un premier passage pour bien comprendre l'exercice, fait une pause, puis fait le test final qui sera évalué. Au-delà de 14 secondes, les patients ayant subi un AVC risquent significativement de chuter (Andersson et al., 2006).

(Kim, Lee, De Rooij, Cho)

- **BBS** (berg balance scale) : est une échelle d'évaluation de l'équilibre statique et dynamique, constitué de 14 items, avec un total de 56 points. (Lee, Cho)

- **Mini-best-test** : est une grille d'évaluation de 14 items avec quatre catégories évaluant les paramètres suivants : les ajustements posturaux anticipatoires, le contrôle postural réactif, l'orientation sensorielle et la marche dynamique. (De Rooij)

- **Falls efficacy scale international** : est une échelle qui évalue la peur de faire une chute. (De Rooij)

- **GAITRite** : le tapis GAITRite est un système d'analyse de la marche. Il est instrumenté de capteurs qui permettent de mesurer les pressions sous chaque pied et par conséquent de quantifier les paramètres spatiotemporels de la marche (Bilney et al., 2003). (Kim, Lee, Cho).

- **10MWT** : le 10 minutes walking test évalue la vitesse de marche. Il consiste à marcher le plus vite possible sur 12 mètres dans un couloir, en utilisant l'aide technique habituelle. Pour éviter les phénomènes d'accélération et de décélération, le premier et le dernier mètre ne sont pas pris en compte. Pour obtenir la vitesse de marche il convient de diviser le nombre de mètres parcourus par le temps en secondes. (Yang)

- **400MWT** : le 400 metres walking test évalue les limitations de mobilité au sein d'une commune. Il consiste à marcher à un rythme confortable sur 400 mètres dans une commune et comprend : traverser la rue, monter et descendre la rampe/le trottoir, et passer des obstacles. Le temps mis pour réaliser ce test est multiplié par un facteur correspondant au niveau d'aide à la marche utilisé. (Yang)

- **WAQ** : le Walking Ability Questionnaire évalue la mobilité des patients sur la base de 19 activités ambulatoires réalisées à la maison (8 activités) et dans la commune (11 activités). La mobilité est classée comme suit : indépendante, supervisée, assistée, chaise-roulante et non capable, avec comme scores respectifs 4, 3, 2, 1 et 0. Le maximum pouvant être atteint est de 76, qui traduit une excellente capacité de marche. (Yang)
- **6MWT** : le test de six minutes de marche a pour but d'effectuer la plus grande distance possible en six minutes. Le participant doit marcher rapidement, il est toutefois possible de ralentir ou de faire des pauses si nécessaire. (Kim, De Rooij)
- **USER-P** : the Utrecht Scale for Evaluation of Rehabilitation-Participation évalue la restriction de participation dans la vie de tout le jour sur la base de 11 items. 0 étant le score minimum et 100 le score maximum traduisant l'absence de restriction de participation.
- **Daniels and Worthingham Scale** : est une échelle de force des membres supérieurs et inférieurs. (Peláez-Vélez)
- **Modified Ashworth Scale** : est une échelle de spasticité. (Peláez-Vélez)
- **Motricity Index** : teste la fonctionnalité des membres. (Peláez-Vélez)
- **Tinetti Balance Scale** : est un ensemble d'items qui testent l'équilibre statique et dynamique dans le but d'évaluer le risque de chute chez le sujet âgé. (Peláez-Vélez)
- The functional Ambulation Classification of the Hospital of Sagunto (**CFMHS**) : évalue le niveau fonctionnel de la marche. (Peláez-Vélez)
- **Stroke impact scale-16** (De Rooij)
- **Fatigue severity scale** (De Rooij)

- **Hospital anxiety and depression scale** (De Rooij)

### **3.6 Résultats (tableau 1)**

Les études de Yang, Kim et De Rooij ont comme point commun d'utiliser dans leur groupe expérimental un tapis de marche et une projection de scénarios 3D sur un écran. Seule l'étude de De Rooij n'a montré aucune différence significative entre le groupe expérimental et le groupe contrôle. Yang a montré une amélioration significative du groupe expérimental quant aux aptitudes de marche par rapport au groupe contrôle (10MWT, 400MWT, WAQ), mais pas concernant l'équilibre, que ce soit en au sein même du groupe expérimental ou en comparaison au groupe contrôle (ABC). Kim lui, a mis en lumière le fait que la réalité virtuelle immersive a permis d'améliorer significativement l'équilibre (ABC, TUG), mais pas le périmètre de marche (6MWT). Ce dernier a en revanche été amélioré par le groupe CA (Community Ambulation), dont l'entraînement consistait à marcher en situations réelles (escaliers, surfaces plus ou moins stables), par rapport au groupe contrôle. Il est intéressant de souligner qu'aucune différence significative n'a été relevée entre le groupe VRCA (VR treadmill based Community Ambulation group) et CA.

L'étude Lee et al a utilisé un casque de réalité virtuelle (HMD : head-mounted-display) pour montrer aux participants les exercices de contrôle postural. Ces derniers pouvaient alors comparer simultanément l'exercice demandé à leur position réelle. De plus, des séances de thérapie conventionnelle ont été ajoutées aux séances de réalité virtuelle.

L'équilibre (TUG, BBS) et la fonction de la marche (GAITRite system) ont été évalués. Aucune différence significative entre le groupe expérimental et le groupe contrôle n'a été relevée concernant l'équilibre. En revanche, la vitesse de marche, la longueur de pas et de foulée ont été significativement améliorées par rapport à un traitement standard seul.

L'étude menée par Cho et al a utilisé un tapis de marche, associé à la projection de vidéos de six scènes extérieures réelles sur un écran. Celle-ci a cherché à

évaluer l'équilibre statique et dynamique, ainsi que la capacité de marche (plateforme de force, BBS, TUG, GAITRite). Les deux groupes se sont améliorés de façon significative au niveau de l'équilibre dynamique et de la marche, mais le groupe expérimental s'est amélioré significativement plus que le groupe contrôle. L'équilibre statique n'a été amélioré par aucun des groupes.

Pour finir, l'étude de Pelaez-Vélez a montré que la combinaison de la thérapie conventionnelle et de la réalité virtuelle immersive basée sur l'utilisation de jeux vidéo thérapeutiques via un casque de réalité virtuelle, est plus efficace pour rééduquer l'équilibre, le contrôle du tronc, la marche et la fonctionnalité de la marche (BBS, Tinetti Balance Scale, CFLHS, motricity index, trunk control).

**Tableau 1.**

<b>Étude</b>	<b>Participants</b>	<b>Outil de RV</b>	<b>Interventions</b>	<b>Mesures</b>	<b>Résultats</b>
<p><b>Yang 2008</b> Taiwan Score Pedro : 6/10</p>	<p>N = 20 AVC chronique (&gt;6 mois)</p> <p><b>Groupe expérimental :</b> n = 11 5H, 6F Age moyen 55,45 ans Étiologie AVC : ?</p> <p><b>Groupe contrôle :</b> n = 9 5H, 4F Age moyen 60,89 ans Étiologie AVC : ?</p>	<p>Projection d'un environnement virtuel sur trois grands écrans de 239cm+ sorties auditives + tapis de marche.</p>	<p>9 sessions de 20 minutes, 3x/semaine, pendant 3 semaines.</p> <p><b>Groupe expérimental :</b> marcher sur un tapis de marche avec quatre scénarios projetés sur un écran (marcher sur un chemin ; traverser la rue ; obstacles à franchir ; promenade dans un parc). Différents degrés de difficulté (vitesse de marche, taille des obstacles, type de surface du sol, augmenter le nombre de prises de décision pour éviter les obstacles).</p> <p><b>Groupe contrôle :</b> marcher sur un tapis de marche en réalisant différentes tâches : lever les jambes pour simuler le fait de passer au-dessus d'un obstacle, marcher en pente descendante et ascendante, marcher vite</p>	<p>- <b>10MWT</b> : vitesse de marche ; - <b>400MWT</b> : test de marche en communauté - <b>WAQ</b> : capacité de marche - <b>ABC</b> : confiance en termes d'équilibre</p>	<p>Le groupe expérimental a des résultats significativement meilleurs pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- la vitesse de marche (10MWT) en post-training</li> <li>- community walking time (400MWT) post-training</li> <li>- WAQ score en follow-up.</li> </ul> <p>La réalité virtuelle immersive permet d'améliorer davantage la vitesse de marche, la marche en communauté et la mobilité que la thérapie standard.</p>
<p><b>Kim 2016</b> Corée Score Pedro : 7/10</p>	<p>N = 27 AVC chronique (&gt;6 mois)</p> <p><b>Groupe VRCA</b> (VR training based community ambulation). n = 10 4H, 6F Age moyen : 56,20 ans AVC : 6 hémorragiques + 4 ischémiques</p>	<p>Ordinateur contenant le programme de VR + projecteur + écran de 2100x1800mm 3 m devant le participant + tapis de marche</p>	<p><b>Groupe VRCA</b> 30 min/session ; 3 sessions/semaine ; pendant 4 semaines. Marche 5 min par scénario (marcher sur un trottoir, marcher sur le sol, marcher en côte, passer des obstacles), 2 minutes de pause entre chaque. Port d'une ceinture de sécurité. Possibilité de tenir une barre de sécurité ou de porter une orthèse de cheville.</p>	<p>- <b>TUG</b> : équilibre dynamique - <b>ABC scale</b> : confiance en son équilibre lors de la marche en communauté - <b>6MWT</b> : vitesse de marche - <b>GAITrite</b> : mesure les aptitudes spatio-temporelles de marche</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ABC : VRCA et CA &gt; contrôle</li> <li>- 6MWT : CA &gt; contrôle</li> <li>- TUG : VRCA &gt; contrôle</li> </ul> <p>Pas de différence significative entre VRCA et CA concernant TUG, 6MWT et ABC.</p> <p>Associer une thérapie conventionnelle à de la réalité virtuelle immersive ou à de la marche en communauté permet</p>

<p><b>Lee 2014</b> Corée Score Pedro 7/10</p>	<p><b>Groupe CA</b> (community ambulation training). n = 10 5H, 5F Age moyen : 52 ans Étiologie AVC : 3 hémorragiques + 7 ischémiques</p> <p><b>Groupe contrôle</b> n = 7 5H, 2F Age moyen 48,71 ans Étiologie AVC : 6 hémorragiques + 1 ischémique</p>	<p>Casque de réalité virtuelle (HDM). Le participant pouvait voir à la fois l'exercice à réaliser et sa position en temps réel.</p>	<p>+ general physical therapy : 2 sessions/jour ; 30 min/session ; 4 semaines</p> <p><b>Groupe CA</b> 30 min/session ; 3 sessions/sem ; 4 semaines. Marcher sur le sol, marcher dans les escaliers, marcher en pente, marcher sur une surface instable de 570m. Aide humaine côté parétique pour la sécurité.</p> <p>+ general physical therapy : 2 sessions/jour ; 30 min/session ; 4 semaines</p> <p><b>Groupe contrôle</b> (general physical therapy). 2 sessions/jour ; 30 min/session ; 4 semaines</p> <p><b>Groupe expérimental</b> : - Rééducation standard ; 1 session de 30 min par jour ; pendant 4 semaines. - RA (réalité augmentée) 3 sessions de 30 min par semaine ; pendant 4 semaines ; en 3 étapes : 1/ 6 exercices en position allongée 2/ 4 exercices en position assise 3/ 6 exercices en position debout</p> <p><b>Groupe contrôle</b> : rééducation standard 30 min/j ; 4 semaines.</p>	<p>-<b>TUG, BBS</b> : équilibre dynamique -<b>GAITRITE</b> : fonction de la marche (vitesse, cadence, longueur de pas, longueur des foulées)</p>	<p>d'améliorer significativement l'équilibre dynamique par rapport à l'utilisation d'un traitement standard seul.</p>
<p>L'association de la réalité virtuelle immersive à un traitement standard permet d'améliorer significativement les variables de la marche (<b>vitesse, longueur de pas et de foulée</b>) par rapport à un traitement standard seul.</p> <p><b>TUG et BBS : pas d'effet significatif</b></p>					

<p><b>De Rooij 2021</b> Pays Bas Score Pedro : 8/10</p>	<p>Temps écoulé depuis l'AVC : entre 2 semaines et 6 mois</p> <p><b>Groupe VRT :</b> N = 28 Sexe : 18H, 10F Age moyen : 65 ans Étiologie AVC : 24 ischémiques + 4 hémorragiques</p> <p><b>Groupe contrôle :</b> N = 24 Sexe : 18H, 6F Age moyen : 61 ans Étiologie AVC : 20 ischémiques + 4 hémorragiques</p>	<p><b>GRAIL</b> (gait real-time analysis interactive lab) = tapis de marche + détecteur de mouvements + écran semi-cylindrique de 180° pour projeter l'environnement virtuel en 3D ; harnais de sécurité</p>	<p>Chaque groupe : 2x30 min /semaine ; 6 semaines.</p> <p><b>Groupe expérimental :</b> marche sur tapis. Le degré de difficulté pouvait être modifié en ajustant la durée, la vitesse de marche, le tanguage et le balancement du tapis roulant, accélération et décélération, quantité de tâches simultanées, fréquence et position des contraintes environnementales (obstacles), la quantité et le type de feedback en temps réel.</p> <p><b>Groupe contrôle :</b> conventional treadmill training (10-15 min) + fonctional gait exercises (15 min).</p>	<p>- participation : USER-P - fréquence et satisfaction : sous-échelles du USER-P - stroke impact scale-16 - fatigue severity scale - anxiety and depression : hospital anxiety and depression scale - falls efficacy scale international - stroke specific quality of life scale - <b>TUG</b> : mobilité fonctionnelle - <b>6MWT</b> : capacité de marche - <b>Mini-best-test</b> : équilibre dynamique - Activité de la vie quotidienne mesurée avec un accéléromètre triaxial.</p>	<p>Pas de différence statistique significative entre les deux groupes.</p> <p>La participation s'est davantage améliorée dans le groupe VRT mais pas de façon significative.</p>
<p><b>Cho 2014</b> Corée Score Pedro : 8/10</p>	<p>AVC chroniques (&gt;6 mois)</p> <p><b>Groupe expérimental :</b> N = 15 Age moyen = 65,86 ans Sexe : 7H, 8F</p>	<p>Tapis de marche + enregistrement vidéo de 6 scènes réelles + haut-parleurs + écran de 170x200</p>	<p><b>Groupe expérimental :</b> TBRVR (treadmill training based real-world video recording) 30 min/j ; 3x/sem ; 6 semaines. 6 scènes de 10 min, une scène par semaine, repassée 3x par séance.</p>	<p>- <b>Plateforme de force</b> : équilibre statique - <b>BBS + TUG</b> : équilibre dynamique - <b>GAITrite</b> : capacité de marche</p>	<p>Les 2 groupes ont montré une amélioration significative de l'équilibre dynamique et de la marche. Toutefois l'amélioration de la marche et de l'équilibre dynamique est plus marquée dans le groupe expérimental.</p>

<p><b>Pelaéz-Vélez 2023</b> Espagne Score Pedro : 6/10</p>	<p>Étiologie AVC : 10 ischémiques + 5 hémorragiques <b>Groupe contrôle :</b> N = 15 Age moyen = 63,53 ans Sexe : 11H, 4F Étiologie AVC : 10 ischémiques + 5 hémorragiques</p>	<p>Casque de réalité virtuelle, caméra pour détecter les mouvements du patient, software « Blexer » (générateur d'environnement virtuel créé pour la rééducation), jeu vidéo « phiby's adventure ».</p>	<p>Harnais de sécurité + système de sécurité qui arrête le tapis de marche. <b>Groupe contrôle :</b> treadmill walking training 30 min/j, 3x/sem, 6 semaines <b>Entraînement commun :</b> 5x/sem ; pendant 6 semaines - Traitement neurodéveloppemental et facilitation neuromusculaire proprioceptive (30 min/j). - Occupational therapy (exercices fonctionnels pour le membre supérieur) (30 min/j) - Functional electrical stimulation appliqué au MI 20min/j</p>	<p>L'équilibre statique n'a été amélioré par aucun des groupes. L'équilibre dynamique peut être amélioré par une thérapie standard mais davantage avec de la réalité virtuelle immersive.</p>	
	<p>N = 24 AVC ischémique ou hémorragique &lt; 6 mois <b>Groupe expérimental :</b> N = 12 Sexe : 9H, 3F Age moyen : 51,91 <b>Groupe contrôle :</b> N = 12 Sexe : 7H, 5F Age moyen : 59,58 ans</p>	<p><b>Groupe expérimental :</b> - 1h de thérapie standard 5x/semaine - VR 3x/semaine, 6 semaines VR : Phiby's adventure, composé de 4 mini jeux. Seuls trois ont été utilisés compte tenu de la difficulté du 4<sup>ème</sup>. Tous les jeux sont réalisés en position debout. Avec le bras droit ou gauche, le patient doit diriger le personnage dans trois mini jeux : couper du bois, pagayer pour faire avancer un bateau et monter dans un arbre. Pour finir les jeux, les patients devaient atteindre un objectif (nombre de buches à couper, périmètre à réaliser</p>	<p><b>Tinetti Balance Scale :</b> équilibre dynamique, marche - <b>BBS :</b> équilibre statique - <b>CFMHS :</b> niveau fonctionnel de la marche - <b>Dantels and Worthingham Scale :</b> force musculaire - <b>Modified Ashworth Scale :</b> spasticité - <b>Motricity index :</b> fonctionnalité</p>	<p>Différence significative concernant - motricity index (fonctionnalité) - trunk control - Tinetti (équilibre et marche) - Berg (équilibre) Pour le groupe expérimental. Mais pas concernant la force musculaire et la spasticité. La combinaison de la thérapie conventionnelle avec de la réalité virtuelle immersive est plus efficace que l'utilisation de la thérapie conventionnelle seule</p>	



Références des essais contrôlés randomisés : (Cho & Lee, 2014; de Rooij et al., 2021; Kim et al., 2016; Lee et al., 2014; Pelaez-Velez et al., 2023; Yang et al., 2008)

#### **4 DISCUSSION**

Ce mémoire a pour but de clarifier la place de la réalité virtuelle immersive par rapport aux thérapies standard dans le cadre de la rééducation du contrôle postural chez les adultes ayant subi un AVC.

La réalité virtuelle dérive d'un milieu récréatif pour servir de moyen d'entraînement à divers corps de métiers : simulation de vol pour les pilotes ou encore entraînement procédural pour les chirurgiens. Au sein du milieu thérapeutique, cela a été utilisé, entre autres, en vue de traiter les phobies et le stress post-traumatique, mais également pour la rééducation des patients ayant subi un AVC (Laver et al., 2017). De nombreuses études ont alors montré que la rééducation basée sur la réalité virtuelle était plus efficace que la thérapie conventionnelle pour améliorer la fonction des membres, l'équilibre, la mobilité et la marche et la fonction dans la vie de tous les jours chez ces patients (Garay-Sanchez et al., 2021; Zhang et al., 2023). En effet, le plaisir ressenti à travers cette méthode est plus grand que lors d'une rééducation traditionnelle de par son aspect plus récréatif et varié. Cela augmente la motivation et l'implication des patients, ce qui permet d'augmenter un facteur clé de la rééducation : l'intensité du traitement. De plus, la réalisation de tâches spécifiques fonctionnelles dans un environnement stimulant avec des feedbacks constructifs permet d'améliorer la plasticité neuronale. Il est intéressant d'ajouter que les programmes d'entraînement et la difficulté peuvent être facilement adaptés à chaque patient (Zhang et al., 2023).

Les avancées technologiques ont permis plus récemment d'utiliser plus spécifiquement la réalité virtuelle immersive dans un cadre thérapeutique. Celle-ci ayant la capacité d'immerger totalement le participant dans un environnement virtuel, elle facilite grandement les aptitudes de concentration de ce dernier. C'est

un aspect important à prendre en compte puisque les altérations cognitives les plus importantes liées à l'AVC sont des problèmes de concentration, de traitement visuel, de langage, de mémoire, de raisonnement et des fonctions exécutives supérieures (Garay-Sánchez et al., 2023). Un autre aspect intéressant de la réalité virtuelle immersive est la sensation de présence ressentie. En effet, un sujet immergé dans un monde virtuel agit comme s'il faisait partie du monde réel, provoquant alors des réactions physiologiques et émotionnelles du même ordre (Demeco et al., 2023). Cette méthode a semblé, lors des premiers essais, significativement plus efficace que les méthodes de rééducation conventionnelle en termes de récupération de la fonction des membres supérieurs et inférieurs ainsi que pour améliorer l'héminégligence des patients après un AVC, mais aussi sur l'équilibre des personnes âgées et celles atteintes de sclérose en plaques (Corbetta et al., 2015; Garay-Sanchez et al., 2021; Ogun et al., 2019; Peruzzi et al., 2016; Zahedian-Nasab et al., 2021). La revue systématique de Garay Sanchez en 2021 a montré que les réalités virtuelles non immersives et immersives étaient efficaces pour améliorer l'équilibre dynamique, mais pas l'équilibre statique, par rapport aux méthodes conventionnelles. Nous nous sommes attardés spécifiquement sur la place de la réalité virtuelle immersive dans la rééducation du contrôle postural par rapport aux méthodes conventionnelles chez les adultes ayant subi un AVC.

Les essais qui étudient l'effet de la réalité virtuelle immersive sur le contrôle postural après un AVC sont rares, la majorité étant dédiés à la réalité virtuelle sans distinction et le plus souvent non immersive. Cela pourrait s'expliquer par le fait que la réalité virtuelle non immersive est une technologie plus ancienne, donc plus répandue et plus accessible en termes de coût, donc plus utilisée. Aussi, pour répondre aux objectifs fixés dans ce mémoire, seuls six essais contrôlés randomisés ont été finalement sélectionnés. Ils ont chacun analysé l'effet de la réalité virtuelle immersive sur l'équilibre, la majorité se focalisant sur l'aspect dynamique de celui-ci notamment à travers la marche. Seules deux études ont également analysé l'aspect statique de l'équilibre (Cho & Lee, 2014; Pelaez-Velez et al., 2023).

Les méthodes de réalité virtuelle immersive utilisées sont assez hétérogènes et peuvent soulever la question du respect du critère « immersif ». Pour rappel, la réalité virtuelle est dite immersive lorsqu'elle immerge complètement l'utilisateur dans l'environnement généré. Cela est réalisable via des casques, des lunettes, ou via des projections sur de larges écrans incurvés ou sur plusieurs murs d'une pièce, permettant d'avoir un large champ de vision (Huygelier et al., 2021; Palacios-Navarro & Hogan, 2021). Toutes les études de ce mémoire respectent bien cette définition. Toutefois il semble clair que seuls le casque ou les lunettes permettent d'être complètement immergé dans l'environnement projeté, le participant ne pouvant rien voir d'autre. L'expérience est alors au plus proche du réel. Au contraire, marcher sur un tapis devant de larges écrans qui projettent un environnement virtuel et qui permettent d'avoir un assez large champ de vision permet toujours au participant d'avoir conscience que cela se déroule dans une pièce réelle, ce qui casse l'aspect immersif. On pourrait alors plutôt dire que c'est une méthode semi-immersive. Cette différence de degré d'immersion pose donc problème dans la comparaison des résultats et dans les conclusions à tirer quant à la méthode étudiée.

Au-delà de cela, certaines études ont utilisé des méthodes intéressantes ; Cho a par exemple choisi d'utiliser des vidéos d'endroits réels, contrairement à Yang, Kim et De Rooij qui ont généré un environnement virtuel. Cela apporte une vraie richesse puisque l'utilisateur peut vraiment se projeter dans la vie réelle. Ainsi l'aspect immersif tant recherché est accentué et le participant peut s'exercer d'ores-et-déjà dans les situations qu'il va rencontrer, mais graduellement, à son rythme, en toute sécurité. En effet, marcher à l'extérieur peut être stressant pour les patients puisqu'ils doivent faire attention aux divers obstacles et aux changements de directions par exemple. La présence de gens dans cet environnement peut être un facteur de stress supplémentaire : ils marchent rapidement et ne perçoivent pas toujours les personnes en situation de handicap. Ces dernières doivent alors redoubler d'attention pour considérer à la fois le lieu dans lequel ils sont et les passants, voire les véhicules. Il est alors essentiel d'entraîner les patients à marcher sereinement et de façon progressive dans des environnements variés et représentatifs de la vie réelle afin qu'ils y soient préparés au mieux et qu'ils puissent se sentir assez en confiance. L'étude de Cho

allie bien le fait de s'entraîner dans un environnement « réel » et de façon progressive, en prenant en compte les passants et les véhicules. La limite de ce type de vidéo reste le manque d'interactivité entre les participants et les passants par exemple. Toutefois c'est une première approche intéressante pour intégrer le fait qu'il faille y faire attention. L'étude de Yang, contrairement à celle de Cho, projette un environnement qui d'une part est généré par ordinateur et qui d'autre part, selon les images fournies, n'inclue pas de passants. Différentes situations sont utilisées et différents facteurs de progression ont été mis en place tels que la variation de la vitesse, la taille et le nombre d'obstacles, le sens et le degré de la pente. L'inclinaison de la pente et la vitesse de marche sont adaptées aux scénarios et également au niveau du patient. C'est ce que l'on retrouve également dans l'étude de De Rooij en termes de moyen de progression. Le mouvement des jambes est également capté par un système électromagnétique afin de détecter les collisions avec les obstacles virtuels et des sorties auditives appuient l'aspect immersif. Ceci permet au patient de percevoir les différentes sensations qu'implique de marcher sur des terrains variés, mais permet également d'avoir une réelle interaction avec les obstacles et fournit des feedbacks au patient afin qu'il se corrige en temps réel. C'est une réelle source d'apprentissage réalisée en toute sécurité grâce au thérapeute qui veille à ce qu'il n'y ait pas de chute. Toutefois cette expérience n'est peut-être pas assez complète dans la mesure où tous les éléments perturbateurs de la vie réelle n'y sont pas intégrés. Ce qui aurait pu être une clé pour une progression plus marquée. Kim a également projeté différentes situations de marche sous forme d'environnements virtuels avec des sorties auditives et des « feedback cognitifs », mais n'a pas joint de photos ou de description détaillée de leur contenu, dont par exemple la présence de passants, de véhicules ou d'autres facteurs perturbateurs. Il est alors difficile de juger la qualité de la méthode. Par exemple, il est indiqué que la vitesse de marche était augmentée en fonction de la progression du patient, tandis qu'elle était à la fois adaptée à la progression du patient et au scénario dans l'étude de Yang. Si l'on s'en tient toutefois au peu d'informations fournies par l'article, on pourrait dire que la façon de faire de Yang est plus complète concernant ce point. Lee, quant à lui, a utilisé un casque de réalité virtuelle pour montrer des exercices de contrôle postural à réaliser. C'est un aspect intéressant puisque la majorité des études utilise des mises en situation à l'extérieur, ce qui nous permet d'avoir un autre

point de vue en termes de méthode de rééducation. Finalement, l'étude de Pelaez-Velez se détache des autres en ayant pris le pari d'utiliser un jeu vidéo créé pour la rééducation. Dans cette étude le participant est complètement immergé puisqu'il utilise un casque. Il joue à des jeux qui, certes ne sont pas des mises en situations réelles, mais qui allient des mouvements fonctionnels et mettent à l'épreuve la quantité et la rapidité d'exécution de façon très ludique et motivante.

Concernant les effets secondaires liés à la méthode immersive, seule l'étude de De Rooij en a fait mention. Aucun effet secondaire sérieux n'a été reporté. Les effets reportés dans l'étude étaient similaires lors des sessions de réalité virtuelle et des séances de thérapie standard : risque de chute, fatigue, douleurs dans les membres ou dans le dos, étourdissement... Certains effets ont mené à prendre des pauses ou à arrêter les séances prématurément, mais aucun n'a conduit à l'arrêt du programme d'intervention.

Parmi les six essais contrôlés randomisés sélectionnés, deux ont comparé l'utilisation de la réalité virtuelle immersive à la thérapie conventionnelle (de Rooij et al., 2021; Yang et al., 2008) et quatre ont comparé la combinaison de la réalité virtuelle immersive et de la thérapie conventionnelle à la thérapie conventionnelle (Cho & Lee, 2014; Kim et al., 2016; Lee et al., 2014; Pelaez-Velez et al., 2023). Si l'on choisit un autre angle de vue, quatre études ont utilisé un tapis de marche couplé à une projection sur grand écran (Cho & Lee, 2014; de Rooij et al., 2021; Kim et al., 2016; Yang et al., 2008) et deux ont utilisé un casque (Lee et al., 2014; Pelaez-Velez et al., 2023). Si l'on résume les résultats décrits plus haut dans ce mémoire de façon plus détaillée, l'utilisation de la réalité virtuelle immersive, qu'elle soit associée ou non à de la thérapie standard, permet d'améliorer significativement la marche par rapport à l'application d'un traitement conventionnel. L'équilibre dynamique a été amélioré dans la moitié des cas (Cho & Lee, 2014; Kim et al., 2016; Pelaez-Velez et al., 2023) et l'équilibre statique ne l'a été que dans une seule étude (Pelaez-Velez et al., 2023).

Toutefois, de nombreux facteurs empêchent la généralisation de ces conclusions. Dans un premier temps, comme avancé plus haut, les méthodes de réalité virtuelle considérées comme immersives selon des définitions établies ne permettent pas

toutes d'immerger complètement le participant dans l'environnement généré. De ce fait les résultats obtenus ne peuvent pas s'appliquer de façon certaine à l'effet d'une méthode pleinement immersive.

Dans un deuxième temps, la méthodologie d'évaluation de l'équilibre postural est très hétérogène entre les études. Il est alors difficile de comparer de façon claire et objective d'une part l'effet des différents traitements proposés et d'autre part l'effet de la réalité virtuelle immersive par rapport aux méthodes conventionnelles. Aucune étude n'a permis d'établir de consensus sur les tests à réaliser pour évaluer l'équilibre post-AVC. En 2005, D.Pérennou et al. ont analysé l'intérêt clinique et les propriétés métrologiques des principaux outils d'évaluation posturale pour les pathologies neurologiques et gériatriques. Ils en ont conclu que le BBS ne répondait pas aux critères requis pour devenir le gold standard en termes d'échelle d'évaluation de l'équilibre. Le TUG, lui, est l'un des outils le plus approprié pour évaluer l'équilibre des personnes âgées, mais pas les personnes ayant été touchées par un AVC. En effet l'évaluation posturale de ces dernières repose essentiellement sur le PASS, la posturographie et la perception de la verticale. Il existe de très nombreux outils pour l'évaluation posturale mais un outil ne s'impose pas encore dans la littérature (Pérennou, 2012).

Une revue systématique de 2020 a évalué les meilleurs outils d'évaluation de l'équilibre statique et dynamique post-AVC. Elle a constaté que cinq tests offraient une analyse psychométrique complète : la plateforme de force pour l'équilibre debout, le « five-step test », le « sideways step test », la longueur de pas et les « turn tests ». De plus, les tests d'équilibre dynamique ont de meilleures propriétés psychométriques et de meilleurs scores d'utilité clinique que les tests d'équilibre statique, mais pour évaluer pleinement l'équilibre après un AVC, il faut effectuer les deux types de tests (Bruyneel & Dube, 2021).

Ensuite, toutes les études sélectionnées se sont basées sur de petits échantillons et ont choisi leurs participants sur la base de critères d'inclusions bien précis, différents selon les études. On pouvait entre autres retrouver : absence de comorbidités, absence de déficits visuels et auditifs, capacité de marcher plus de dix mètres sans aide, pas de médicaments pouvant affecter l'équilibre etc. Aussi, le stade de la pathologie n'a pas fait l'unanimité : quatre études ont choisi des personnes ayant eu un AVC « il y a au moins six mois », contre « il y a moins de six mois » et « entre deux semaines et six mois » dans deux études (de Rooij et al.,

2021; Pelaez-Velez et al., 2023). Par conséquent les résultats ne peuvent pas être appliqués à tout type de patient ayant subi un AVC.

Finalement, en plus des choix divergents concernant le type de réalité virtuelle à utiliser, les études varient en termes de fréquence, de durée et d'association ou non du traitement virtuel avec une thérapie standard. En effet, Kim, Lee, Cho et Pelaez-Velez ont associé la réalité virtuelle immersive à un traitement standard tandis que Yang et De Rooij ont uniquement utilisé la réalité virtuelle immersive. La durée des études varie entre trois semaines (Yang et al., 2008), quatre semaines (Kim et al., 2016; Lee et al., 2014) et six semaines (Cho & Lee, 2014; de Rooij et al., 2021; Pelaez-Velez et al., 2023). Une fréquence de trois sessions par semaine a été choisie dans toutes les études sauf dans celle De Rooij qui a mis en place deux sessions par semaine. Concernant la durée de ces sessions, elle varie entre vingt et trente minutes et n'est pas claire dans l'étude de Pelaez-Velez.

À ce jour, la littérature ne semble pas avoir établi de recommandations à ce sujet. On pourrait alors se baser sur ce qui est recommandé pour la réalité virtuelle non immersive. Deux revues systématiques portant sur l'effet de la réalité virtuelle sur l'équilibre chez les personnes atteintes d'un AVC préconisent des interventions longues, c'est-à-dire entre cinq et huit semaines, avec une fréquence de trois à cinq jours par semaine, à raison de quarante-cinq minutes par jour. Le type de réalité virtuelle n'est pas précisé mais la plupart des études utilisées correspondent majoritairement à un type non-immersif (Shen et al., 2023; Zhang et al., 2023). Sur cette base, on peut dire que la durée des sessions des essais de ce mémoire ne sont pas assez longues, que la fréquence est raisonnable et que la durée totale des études est respectée pour la moitié d'entre elles. Les conditions ne sont donc pas optimales pour obtenir les meilleurs résultats possibles.

Par conséquent les résultats obtenus ne sont ni généralisables ni ne font l'unanimité quant à l'efficacité de l'utilisation de la réalité virtuelle immersive pour la rééducation du contrôle postural après un AVC. Pour y apporter une réponse claire, il serait intéressant de réaliser de futures études plus homogènes en termes de critères d'inclusion, de durée et de fréquence de traitement, de test d'évaluation, ainsi qu'en termes de type de réalité virtuelle immersive. En effet il conviendrait de se baser sur une définition peut être plus restrictive de l'aspect immersif qui pourrait se cantonner aux casques et aux lunettes et exclure l'utilisation d'écrans.

## 5 CONCLUSION

Sur la base de six essais contrôlés randomisés, ayant inclus seulement 174 patients, l'utilisation de la réalité virtuelle immersive, qu'elle soit associée ou non à la thérapie standard, semble améliorer significativement la marche par rapport à l'application d'un traitement conventionnel, mais les résultats sont variables et non univoques en termes de contrôle postural : l'équilibre dynamique a été amélioré dans la moitié des cas et l'équilibre statique ne l'a été que dans une seule étude.

Il faut souligner toutefois que l'hétérogénéité des méthodes utilisées (type de réalité virtuelle immersive, durée et fréquence de traitement, tests d'évaluation posturale), la définition discutable du qualificatif « immersif », le nombre restreint d'articles concernant ce sujet et le faible nombre de patients inclus, rendent l'interprétation de ces études délicate. Il est donc difficile d'établir clairement et objectivement l'effet de la réalité virtuelle immersive sur la rééducation du contrôle postural chez les adultes ayant subi un AVC.

Il serait intéressant pour de futures études que seuls des casques de réalité virtuelle soient utilisés et que des méthodes d'immersion au plus proches du réel puissent être comparées. Pour ce faire il conviendrait de prendre en compte ces différents paramètres : vitesse de marche ; nombre, types et prévisibilité des obstacles et des éléments perturbateurs (gens, véhicules) ; et le type de lieux. Ainsi les participants pourraient à leur rythme et en toute sécurité appréhender à nouveau la complexité du monde. Il conviendrait également de recourir à des tests d'évaluation de l'équilibre standardisés et de se baser sur les recommandations faites pour la réalité virtuelle non immersive en termes de durée et de fréquence de traitement.

## 6 BIBLIOGRAPHIE

### Bibliographie

- Andersson, A. G., Kamwendo, K., Seiger, A., & Appelros, P. (2006). How to identify potential fallers in a stroke unit: validity indexes of 4 test methods. *J Rehabil Med*, 38(3), 186-191. <https://doi.org/10.1080/16501970500478023>
- Bilney, B., Morris, M., & Webster, K. (2003). Concurrent related validity of the GAITRite® walkway system for quantification of the spatial and temporal parameters of gait. *Gait & Posture*, 17(1), 68-74. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0966-6362\(02\)00053-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0966-6362(02)00053-X)
- Bruyneel, A. V., & Dube, F. (2021). Best Quantitative Tools for Assessing Static and Dynamic Standing Balance after Stroke: A Systematic Review. *Physiother Can*, 73(4), 329-340. <https://doi.org/10.3138/ptc-2020-0005>
- Chang, H., Song, Y., & Cen, X. (2022). Effectiveness of Augmented Reality for Lower Limb Rehabilitation: A Systematic Review. *Appl Bionics Biomech*, 2022, 4047845. <https://doi.org/10.1155/2022/4047845>
- Cho, K. H., & Lee, W. H. (2014). Effect of treadmill training based real-world video recording on balance and gait in chronic stroke patients: a randomized controlled trial. *Gait Posture*, 39(1), 523-528. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2013.09.003>
- Corbetta, D., Imeri, F., & Gatti, R. (2015). Rehabilitation that incorporates virtual reality is more effective than standard rehabilitation for improving walking speed, balance and mobility after stroke: a systematic review. *J Physiother*, 61(3), 117-124. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2015.05.017>
- de Rooij, I. J. M., van de Port, I. G. L., Punt, M., Abbink-van Moorsel, P. J. M., Kortsmid, M., van Eijk, R. P. A., Visser-Meily, J. M. A., & Meijer, J. G. (2021). Effect of Virtual Reality Gait Training on Participation in Survivors of Subacute Stroke: A Randomized Controlled Trial. *Phys Ther*, 101(5). <https://doi.org/10.1093/ptj/pzab051>
- Demeco, A., Zola, L., Frizziero, A., Martini, C., Palumbo, A., Foresti, R., Buccino, G., & Costantino, C. (2023). Immersive Virtual Reality in Post-Stroke Rehabilitation: A Systematic Review. *Sensors (Basel)*, 23(3). <https://doi.org/10.3390/s23031712>
- Garay-Sánchez, A., Marcén-Román, Y., Ferrando-Margelí, M., Franco-Sierra, M. Á., & Suarez-Serrano, C. (2023). Effect of Physiotherapy Treatment with Immersive Virtual Reality in Subjects with Stroke: A Protocol for a Randomized Controlled Trial [Article]. *Healthcare (Switzerland)*, 11(9), Article 1335. <https://doi.org/10.3390/healthcare11091335>

- Garay-Sanchez, A., Suarez-Serrano, C., Ferrando-Margeli, M., Jimenez-Rejano, J. J., & Marcen-Roman, Y. (2021). Effects of Immersive and Non-Immersive Virtual Reality on the Static and Dynamic Balance of Stroke Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med*, *10*(19). <https://doi.org/10.3390/jcm10194473>
- Hsu, C. Y., Cheng, Y. H., Lai, C. H., & Lin, Y. N. (2020). Clinical non-superiority of technology-assisted gait training with body weight support in patients with subacute stroke: A meta-analysis. *Ann Phys Rehabil Med*, *63*(6), 535-542. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2019.09.009>
- Huygelier, H., Mattheus, E., Abeele, V. V., van Ee, R., & Gillebert, C. R. (2021). The Use of the Term Virtual Reality in Post-Stroke Rehabilitation: A Scoping Review and Commentary. *Psychol Belg*, *61*(1), 145-162. <https://doi.org/10.5334/pb.1033>
- Kim, N., Lee, B., Kim, Y., & Min, W. (2016). Effects of Virtual Reality Treadmill Training on Community Balance Confidence and Gait in People Post-Stroke: a randomized controlled trial.
- Kwakkel, G., Stinear, C., Essers, B., Munoz-Novoa, M., Branscheidt, M., Cabanas-Valdes, R., Lakicevic, S., Lampropoulou, S., Luft, A. R., Marque, P., Moore, S. A., Solomon, J. M., Swinnen, E., Turolla, A., Alt Murphy, M., & Verheyden, G. (2023). Motor rehabilitation after stroke: European Stroke Organisation (ESO) consensus-based definition and guiding framework. *Eur Stroke J*, *8*(4), 880-894. <https://doi.org/10.1177/23969873231191304>
- Laver, K. E., Lange, B., George, S., Deutsch, J. E., Saposnik, G., & Crotty, M. (2017). Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane Database Syst Rev*, *11*(11), CD008349. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008349.pub4>
- Lee, C.-H., Kim, Y., & Lee, B.-H. (2014). Augmented reality-based postural control training improves gait function in patients with stroke: Randomized controlled trial. *Hong Kong Physiotherapy Journal*, *32*(2), 51-57. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.hkpj.2014.04.002>
- Li, J., Zhong, D., Ye, J., He, M., Liu, X., Zheng, H., Jin, R., & Zhang, S. L. (2019). Rehabilitation for balance impairment in patients after stroke: a protocol of a systematic review and network meta-analysis. *BMJ Open*, *9*(7), e026844. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2018-026844>
- Lyu, T., Yan, K., Lyu, J., Zhao, X., Wang, R., Zhang, C., Liu, M., Xiong, C., Liu, C., & Wei, Y. (2023). Comparative efficacy of gait training for balance outcomes in patients with stroke: A systematic review and network meta-analysis. *Front Neurol*, *14*, 1093779. <https://doi.org/10.3389/fneur.2023.1093779>

- Nindorera, F., Nduwimana, I., Thonnard, J. L., & Kossi, O. (2022). Effectiveness of walking training on balance, motor functions, activity, participation and quality of life in people with chronic stroke: a systematic review with meta-analysis and meta-regression of recent randomized controlled trials. *Disabil Rehabil*, 44(15), 3760-3771. <https://doi.org/10.1080/09638288.2021.1894247>
- Ogun, M. N., Kurul, R., Yasar, M. F., Turkoglu, S. A., Avci, S., & Yildiz, N. (2019). Effect of Leap Motion-based 3D Immersive Virtual Reality Usage on Upper Extremity Function in Ischemic Stroke Patients. *Arq Neuropsiquiatr*, 77(10), 681-688. <https://doi.org/10.1590/0004-282X20190129>
- Palacios-Navarro, G., & Hogan, N. (2021). Head-Mounted Display-Based Therapies for Adults Post-Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sensors (Basel)*, 21(4). <https://doi.org/10.3390/s21041111>
- Pelaez-Velez, F. J., Eckert, M., Gacto-Sanchez, M., & Martinez-Carrasco, A. (2023). Use of Virtual Reality and Videogames in the Physiotherapy Treatment of Stroke Patients: A Pilot Randomized Controlled Trial. *Int J Environ Res Public Health*, 20(6). <https://doi.org/10.3390/ijerph20064747>
- Pérennou, D. (2012). Physiologie et physiopathologie du contrôle postural. *La Lettre de médecine physique et de réadaptation*, 28. <https://doi.org/10.1007/s11659-012-0316-1>
- Peruzzi, A., Cereatti, A., Della Croce, U., & Mirelman, A. (2016). Effects of a virtual reality and treadmill training on gait of subjects with multiple sclerosis: a pilot study. *Mult Scler Relat Disord*, 5, 91-96. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2015.11.002>
- Shen, J., Gu, X., Yao, Y., Li, L., Shi, M., Li, H., Sun, Y., Bai, H., Li, Y., & Fu, J. (2023). Effects of Virtual Reality-Based Exercise on Balance in Patients With Stroke: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Phys Med Rehabil*, 102(4), 316-322. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000002096>
- Stephan, K. M., & Pérennou, D. (2021). Mobility After Stroke: Relearning to Walk. In T. Platz (Ed.), *Clinical Pathways in Stroke Rehabilitation: Evidence-based Clinical Practice Recommendations* (pp. 123-147). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-58505-1\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-58505-1_8)
- Tasseel-Ponche, S., Yelnik, A. P., & Bonan, I. V. (2015). Motor strategies of postural control after hemispheric stroke. *Neurophysiol Clin*, 45(4-5), 327-333. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2015.09.003>
- Yang, Y. R., Tsai, M. P., Chuang, T. Y., Sung, W. H., & Wang, R. Y. (2008). Virtual reality-based training improves community ambulation in

individuals with stroke: a randomized controlled trial. *Gait Posture*, 28(2), 201-206. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2007.11.007>

Yelnik, A. (2022). Récupération de la motricité après accident vasculaire cérébral. Facteurs pronostiques et rééducation. *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine*, 206(5), 594-603.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.banm.2022.02.016>

Zahedian-Nasab, N., Jaber, A., Shirazi, F., & Kavousipor, S. (2021). Effect of virtual reality exercises on balance and fall in elderly people with fall risk: a randomized controlled trial. *BMC Geriatr*, 21(1), 509.  
<https://doi.org/10.1186/s12877-021-02462-w>

Zhang, B., Wong, K. P., & Qin, J. (2023). Effects of Virtual Reality on the Limb Motor Function, Balance, Gait, and Daily Function of Patients with Stroke: Systematic Review. *Medicina (Kaunas)*, 59(4).  
<https://doi.org/10.3390/medicina59040813>

World Health Organization : WHO. (2020, 9 décembre). *The top 10 causes of death*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>

**Résumé :** **Objectif :** étudier, à partir des données de la littérature, l'efficacité de la réalité virtuelle immersive par rapport aux méthodes conventionnelles sur l'amélioration du contrôle postural après un AVC. **Méthode :** une recherche documentaire a été réalisée à partir de PudMed, The Cochrane Library, Scopus et Embase. Seuls les essais contrôlés randomisés publiés en anglais ou en français, répondant aux critères PICO et gratuits ou accessibles grâce à la faculté de l'UCLouvain ont été sélectionnés. **Résultats :** six études ont été retenues, ayant inclus au total 174 adultes, d'âge moyen 57 ans, en phase aiguë, subaiguë ou chronique d'un AVC. Les techniques de réalité virtuelle immersive utilisées ont été différentes selon les études, ainsi que les tests permettant l'analyse de la marche et l'équilibre. La réalité virtuelle immersive, qu'elle soit associée ou non à de la thérapie standard, semble améliorer significativement la marche par rapport au traitement conventionnel. L'équilibre dynamique a été amélioré dans la moitié des cas et l'équilibre statique ne l'a été que dans une seule étude. **Conclusion :** l'efficacité de la réalité virtuelle immersive est très inconstante sur les troubles de l'équilibre après un AVC. Toutefois, l'hétérogénéité des méthodes utilisées, la définition discutable du qualificatif « immersif », le nombre restreint d'articles concernant ce sujet et le faible nombre de patients inclus rendent difficile l'interprétation des résultats obtenus.