



Département d'Orthophonie  
Gabriel DECROIX

# MEMOIRE

En vue de l'obtention du  
Certificat de Capacité d'Orthophoniste  
présenté par :

**Florie DONIZETTI**

soutenu publiquement en juin 2018 :

**Orthophonie et réalité virtuelle : la rééducation de  
la mémoire  
Recueil et analyse de données**

MEMOIRE dirigé par :

**Yves MARTIN**, Coordonnateur de l'espace recherche, innovation, développement, Référent métier  
du service orthophonie et neuropsychologie, CRRF L'Espoir, Lille

Lille – 2018

---

## Remerciements

J'adresse mes remerciements aux personnes qui m'ont aidée dans la réalisation de ce mémoire.

Je remercie personnellement Monsieur Yves Martin, enseignant au département d'orthophonie de Lille. Directeur de ce mémoire, il m'a guidée et m'a aidée à trouver des solutions pour avancer dans mon travail.

Ensuite, je tiens à remercier les membres du jury et plus particulièrement Madame Paula Dei Cas qui a accepté d'être ma lectrice au cours des deux années de la réalisation de ce mémoire. Je remercie également le docteur Marie-Anne Mackowiak de s'être intéressée à mon mémoire.

Je remercie également l'ensemble de l'équipe pédagogique du département d'orthophonie de Lille pour leurs précieux enseignements ainsi que pour leur travail pour mettre en application la réforme de la formation des orthophonistes.

Je voudrais également remercier mes maîtres de stage qui m'ont accueillie avec beaucoup de bienveillance pendant ma formation et ont fait mûrir ma réflexion sur la pratique orthophonique.

Je remercie très sincèrement Hélène Faisant et Marion Martin pour leur soutien, leur amitié et leurs conseils durant la rédaction de ce mémoire.

J'adresse mes sincères remerciements à Tiphaine Guigon pour ses précieuses relectures.

Enfin, je remercie ma famille et mes proches qui m'ont soutenue pendant toute la durée de mon parcours en vue d'obtenir le certificat de capacité d'orthophoniste.

---

## **Résumé :**

La réalité virtuelle s'est développée au cours de ces dernières années. Elle est désormais utilisée en thérapie dans plusieurs domaines. Ce mémoire avait pour but de chercher les intérêts et les limites de cet outil dans la rééducation de la mémoire. Une revue de la littérature a été effectuée sur PubMed, Cochrane et Cairn. 25 articles ont été identifiés. Les résultats montrent que la thérapie en réalité virtuelle améliore la mémoire des participants. De plus, la réalité virtuelle serait un outil écologique qui permettrait d'adapter les tâches au niveau de chaque patient. Elle faciliterait également le travail pluridisciplinaire. Cependant, le prix des équipements en réalité virtuelle reste élevé. La réalité virtuelle pourrait également provoquer un mal du virtuel et nécessiterait plusieurs pré-requis. Par ailleurs, de nombreux logiciels sont développés, mais ceux-ci sont difficiles à manipuler pour les professionnels et deviennent rapidement obsolètes. Enfin, ce mémoire présente plusieurs limites : les articles présentaient des biais et étaient très hétérogènes. De plus, les intérêts de la réalité virtuelle comme outil thérapeutique chez les enfants ou comme outil d'évaluation de la mémoire restent à étudier.

## **Mots-clés :**

Réalité virtuelle ; orthophonie ; mémoire ; rééducation ; revue de la littérature

## **Abstract :**

Virtual reality has developed into a therapeutic tool over the last few years. In this memoir, the assets and the limitations of that tool when it is used in memory training were searched. 25 articles were identified on PubMed, Cochrane and Cairn databases. The results show that virtual reality-based memory training improved memory performance in participants. Moreover, virtual reality is an ecologically valid tool that can adjust to the patient's level of impairment and enables interdisciplinary rehabilitation. However, equipment cost remains high and navigation in virtual environments can cause cybersickness. Furthermore, some prerequisites are needed to expose the patients to a virtual environment. In addition, many softwares are developed but they are too complicated for the speech therapists to handle and they become quickly obsolete. Finally, this memoir has some limitations. Firstly, the articles were biased and heterogeneous. Secondly, the interest of virtual reality as a rehabilitation tool in children or as an assessment tool in speech therapy still has to be explored.

## **Keywords :**

Virtual reality ; speech therapy ; memory ; rehabilitation ; literature review

---

# Table des matières

<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>Contexte théorique, buts et hypothèses.....</b>	<b>1</b>
1.Contexte théorique.....	1
1.1.Approche de la réalité virtuelle.....	1
1.1.1.Réalité virtuelle.....	1
1.1.2.Immersion et sentiment de présence.....	2
1.1.3.Utilisation thérapeutique de la réalité virtuelle.....	3
1.1.4.Réalité virtuelle et neuropsychologie.....	3
1.2.La mémoire.....	5
1.2.1.Définition.....	5
1.2.2.Processus d'acquisition et de restitution.....	5
1.2.3.Les troubles mnésiques : types et étiologies.....	6
1.2.4.Evaluation de la mémoire.....	6
1.2.5.Rééducation des troubles mnésiques.....	6
2.Buts et intérêts de ce mémoire.....	7
2.1.Buts.....	7
2.2.Intérêts.....	7
2.3.Hypothèses.....	7
<b>Méthode.....</b>	<b>7</b>
1.Recherche d'articles.....	7
1.1.Banques de données.....	7
1.2.Mots-clés.....	7
1.3.Critères d'inclusion.....	8
1.4.Critères d'exclusion.....	8
1.5.Procédure de sélection des articles.....	8
2.Analyse des données.....	9
2.1.Extraction des données.....	9
2.2.Evaluation de la qualité des études : risques de biais.....	9
<b>Résultats.....</b>	<b>10</b>
1.Résultats de la recherche.....	10
1.1.Caractéristiques générales des études.....	11
1.2.Structure des études ayant proposé un programme en RV.....	12
1.3.Matériel utilisé dans les études ayant proposé une intervention en RV.....	12
2.Résultats des études.....	13
2.1.Résultats des études pilotes, préliminaires et de faisabilité.....	13
2.2.Résultats de l'étude portant sur un cas unique.....	13
2.3.Résultats des études expérimentales.....	14
2.4.Résultats des revues de synthèse et des revues de la littérature.....	15
2.5.Résultats des études : synthèse.....	15
<b>Discussion.....</b>	<b>16</b>
1.Critique des articles : étude des biais.....	16
2.RV : intérêts pour la rééducation de la mémoire.....	18
2.1.Efficacité de la RV dans la rééducation de la mémoire.....	18
2.2.Validité écologique de la RV.....	18
2.3.Adaptabilité des tâches en RV.....	19
2.4.RV et évolution des pratiques professionnelles en orthophonie.....	20
2.5.Intérêts de la RV pour la rééducation de la mémoire dans la pratique orthophonique : synthèse.....	21
3.RV : limites et freins dans le cadre de la rééducation de la mémoire.....	21
3.1.Coût des équipements en RV.....	21

---

<u>3.2.Mal du virtuel et pré-requis.....</u>	<u>21</u>
<u>3.3.Concurrence entre les développeurs des logiciels en RV.....</u>	<u>22</u>
<u>3.4.Praticiens peu formés en programmation informatique et interfaces des logiciels peu intuitives.....</u>	<u>22</u>
<u>3.5.Limites de la RV dans la rééducation de la mémoire en orthophonie : synthèse.....</u>	<u>23</u>
<u>4.Limites de ce mémoire.....</u>	<u>23</u>
<u>4.1.Hétérogénéité des articles.....</u>	<u>23</u>
<u>4.1.1.Hétérogénéité des types d'articles.....</u>	<u>23</u>
<u>4.1.2.Hétérogénéité des protocoles de rééducation en RV.....</u>	<u>24</u>
<u>4.1.3.Hétérogénéité des populations étudiées.....</u>	<u>24</u>
<u>4.2.Sujets non traités dans ce mémoire.....</u>	<u>25</u>
<b><u>Conclusion.....</u></b>	<b><u>25</u></b>
<b><u>Bibliographie.....</u></b>	<b><u>26</u></b>
<b><u>Lille – 2018.....</u></b>	<b><u>33</u></b>
<b><u>Liste des annexes.....</u></b>	<b><u>34</u></b>
<u>Annexe n°1 : grille de lecture des articles.....</u>	<u>34</u>
<u>Annexe n°2 : outil collaboratif de Cochrane pour l'évaluation du risque de biais.....</u>	<u>34</u>
<u>Annexe n°3 : tableau d'extraction des données.....</u>	<u>34</u>
<u>Annexe n°4 : tableau d'analyse des biais.....</u>	<u>34</u>

# Introduction

L'informatique s'est considérablement développée au cours des dernières décennies. Elle fait désormais partie intégrante de notre quotidien. L'informatique a également trouvé sa place dans la pratique des orthophonistes à travers les logiciels administratifs ou encore les logiciels d'évaluation ou d'entraînement cognitif (« e-orthophoniste.com », s. d.).

L'avancée de l'informatique a également fait émerger une nouvelle technologie : la réalité virtuelle (RV). La RV permet de simuler des situations réelles dans un environnement virtuel tout en contrôlant de nombreuses variables. Les thérapeutes ont donc commencé à utiliser cet outil en évaluation ou en rééducation, et ce dans divers domaines. Ainsi, la réalité virtuelle peut être utilisée dans le traitement des phobies, dans les rééducations motrices ou encore dans des rééducations cognitives. Il existe par exemple des programmes de rééducation virtuelle adaptés aux troubles attentionnels ou aux troubles dysexécutifs, ou encore dans le domaine de la mémoire. C'est ce dernier domaine qui sera étudié ici.

De fait, le décret de compétences des orthophonistes inclut la prise en charge des troubles d'origine neurologique tels que les accidents vasculaires cérébraux, les traumatismes crâniens ou encore les maladies neurodégénératives. Ces troubles entraînent fréquemment des troubles mnésiques ayant des répercussions sur les activités de la vie quotidienne des patients. Les patients rencontrent par exemple des difficultés pour maintenir et comprendre une conversation ou pour mémoriser des informations nouvelles. La prise en charge précoce, voire préventive, de ces troubles constitue donc un enjeu majeur pour les cliniciens et pour les chercheurs (Haute Autorité de Santé, 2011).

Les thérapies en réalité virtuelle étant de plus en plus répandues, il convient de s'interroger sur leur intérêt dans le cadre de la rééducation de la mémoire. Tout d'abord, la réalité virtuelle et son utilisation en thérapie seront présentées. Ensuite, la mémoire et les troubles mnésiques pouvant être rencontrés par les patients seront définis. Ensuite, une revue de la littérature sera effectuée afin de définir si la RV constitue un outil utile pour la rééducation de la mémoire en orthophonie. Enfin, les résultats obtenus dans les articles de cette revue de la littérature seront discutés afin de présenter les avantages et les limites de cet outil.

## Contexte théorique, buts et hypothèses

### 1. Contexte théorique

#### 1.1. Approche de la réalité virtuelle

##### 1.1.1. Réalité virtuelle

Le terme de réalité virtuelle a été proposé par Jaron Lanier en 1986 sous le terme de « virtual reality ». Selon Fuchs et Moreau (2003), la réalité virtuelle se définit comme « 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 ». Les interfaces

comportementales sont des modules permettant la communication entre deux systèmes sensoriels et moteurs nécessaires à l'utilisateur pour pouvoir évoluer dans l'environnement virtuel mis à sa disposition. Ces interfaces tendent à recréer des espaces dans lesquels les bases perceptives et motrices à l'origine d'un comportement humain sont utilisées. Plus simplement : le terme de RV désigne des environnements artificiels conçus par ordinateur et qui peuvent être explorés par des sujets. Ces sujets peuvent également interagir avec les objets qui le composent, le tout dans un espace-temps virtuel (Cherniack, 2011).

En revanche, tous les jeux vidéos et autres activités sur ordinateur ne peuvent pas être considérés comme de la RV, car l'utilisateur n'y est pas acteur. Ainsi, un environnement dans lequel un sujet doit réaliser une activité cognitive mais sans y effectuer une action physique ne peut être considéré comme de la RV. Par conséquent, ces activités ne seront pas traitées dans ce mémoire. Les études en réalité augmentée (incrustation du réel dans un environnement virtuel en temps réel) ne seront également pas traitées ici.

En outre, selon Fuchs et Moreau (2003), le but de la RV serait de « permettre à une personne (ou à plusieurs) de vivre une activité sensori-motrice dans un monde artificiel, qui est soit imaginaire, soit symbolique, soit une simulation de certains aspects du monde réel ». On retrouve dans cette définition l'importance de l'implication du sujet dans l'environnement virtuel. Cela implique deux notions essentielles de la RV : l'immersion et le sentiment de présence.

### **1.1.2. Immersion et sentiment de présence**

La RV repose sur les notions d'immersion et de sentiment de présence (Lecouvey, Gonneaud, Eustache et Desgranges, 2013).

L'immersion se définit par le fait qu'au moins un des sens du sujet plongé dans l'environnement virtuel est coupé de la réalité et focalisé sur l'environnement qui lui est proposé.

Le sentiment de présence désigne une situation dans laquelle le sujet, immergé dans un environnement avec lequel il interagit, développerait une conscience virtuelle et se sentirait intégré à l'environnement virtuel.

Le degré d'immersion et le degré de sentiment de présence seraient liés : plus l'immersion est importante, plus le sujet se sentira « présent » dans l'environnement virtuel (Bohil, Alicea et Biocca, 2011). Trois systèmes d'immersion sont principalement utilisés. Il s'agit du Head-Mounted Display (HMD) ou casque de réalité virtuelle, de l'écran Powerwall et du Cave Automatic Virtual Environment (CAVE) (Tierl, Morone, Paolucci et Iosa, 2018).

Le HMD se présente sous la forme d'un casque comportant des écouteurs diffusant un fond sonore, de deux petits systèmes d'affichage placés près des yeux ainsi que d'un capteur de mouvements. Ainsi, l'affichage de l'environnement est synchronisé avec les mouvements de la tête du sujet, voire avec les mouvements de ses bras et de ses mains.

L'écran Powerwall est un système composé d'un écran large en haute résolution et de lunettes 3D combinées avec un système de tracking visuel et ultrason. Ce système permet de synchroniser l'affichage de l'environnement virtuel avec les mouvements du sujet. Il permet également au sujet d'interagir avec l'environnement virtuel en utilisant ses mains.

Le CAVE se compose de 4 à 6 écrans reliés entre eux et disposés en carré afin de projeter l'environnement virtuel sur une surface continue. Le sujet regarde les écrans avec des lunettes 3D et les mouvements de sa tête sont captés par un système de tracking afin de

synchroniser l'affichage de l'environnement en fonction de ses mouvements. Un fond sonore est diffusé grâce à des enceintes.



**Figure 1. Exemples de systèmes d'immersion : a) Head Mounted Display – b) Ecran Powerwall – c) CAVE (Tieri et al., 2018)**

De plus, la navigation dans l'environnement virtuel peut se faire grâce à plusieurs outils, comme un clavier d'ordinateur (touches fléchées), une souris, un joystick (manette utilisée dans certains jeux vidéos pour commander les déplacements) ou des capteurs de mouvements (tracking visuel, ...).

### **1.1.3. Utilisation thérapeutique de la réalité virtuelle**

Les progrès technologiques et l'avancée de la RV de ces dernières années ont amené les chercheurs à développer de nouveaux outils d'évaluation et de rééducation utilisant cette technologie. Selon Lecouvey et al. (2013), les thérapeutes ont commencé à utiliser la RV dès les années quatre-vingt-dix, notamment en psychopathologie (phobies, attaques de panique, etc). La RV était utilisée afin de désensibiliser les patients. Elle s'est montrée efficace dans le traitement de l'agoraphobie et des troubles obsessionnels compulsifs. Par la suite, la RV a également été utilisée lors de thérapies dans d'autres domaines

Plusieurs études en RV ont été menées lors de thérapies psychiatriques. Une étude a notamment décrit un outil de réhabilitation professionnelle pour des patients schizophrènes (Sohn et al., 2016). L'environnement virtuel représentait une supérette ou un supermarché dans lesquels les patients étaient à la caisse et interagissaient avec des clients virtuels. Après cette thérapie, les résultats ont démontré que les participants de l'étude s'étaient améliorés dans des tâches réelles similaires à celles auxquelles ils avaient été exposés en RV.

Par ailleurs, Czerniak et al. (2016) ont mené une étude auprès de sujets présentant une phobie du vol en avion (aérophobie). Après des simulations de vol en avion en RV, deux des trois sujets ont pu effectuer des voyages en avion alors qu'ils en avaient été incapables avant cette thérapie.

Une autre étude thérapeutique en RV menée auprès de militaires présentant un syndrome de stress post-traumatique a mis en évidence l'apport de la composante olfactive dans un environnement virtuel (Aiken et Berry, 2015).

Ces différents exemples montrent que la RV est déjà utilisée en thérapie dans des domaines autres que l'orthophonie et qu'elle permet d'améliorer les performances des patients qui y sont exposés.

### **1.1.4. Réalité virtuelle et neuropsychologie**

L'évaluation neuropsychologique a pour but de définir les fonctions lésées et les fonctions préservées des patients afin de proposer une prise en charge adaptée. Néanmoins, la



validité écologique (correspondance entre les comportements observés durant la tâche et les comportements rencontrés dans une tâche réelle) des tests neuropsychologiques classiques, aussi appelés « tests papier-crayon », est remise en cause. En effet, pour Plancher, Nicolas et Piolino (2008), ces tests sont éloignés des activités quotidiennes des patients. Ils affirment par ailleurs que les tests papier-crayon évaluent chaque fonction cognitive isolément alors qu'une tâche de la vie quotidienne peut, elle, solliciter plusieurs fonctions simultanément. Selon Plancher et al. (2008), les tests classiques ne permettraient donc pas de prédire le comportement des patients dans la vie réelle.

La validité écologique de la RV est par ailleurs citée par Fuchs et Klinger (2006), pour qui la RV permet de présenter des stimuli adaptés et dans un contexte familier pour les patients. Pour eux, la RV permet également de mesurer beaucoup plus précisément et spécifiquement les performances des patients (scores, temps...) que les tests classiques.

Certains neuropsychologues ont commencé à utiliser des programmes en RV à des fins d'évaluation ou de rééducation. Ces programmes offrent des possibilités intéressantes du fait de leur forte validité écologique (Camara Lopez et Cleeremans, 2016). Plusieurs auteurs ont ainsi étudié la corrélation de tests en RV avec des tests classiques (Man et al., 2016; Ku et al., 2003) et ont conclu que de tels outils étaient efficaces pour l'évaluation neuropsychologique. D'autres études ont également souligné l'avantage que les outils en RV présentaient comparés aux tests classiques. En effet, ces tests permettent d'évaluer simultanément plusieurs domaines cognitifs et seraient donc des outils fiables et plus rapides à administrer que les tests papier-crayon (Lamargue-Hamel et al., 2015). Les tests en RV seraient également moins fatigants pour les patients.

De plus, la RV a été utilisée dans la rééducation de l'attention, et notamment dans la rééducation du syndrome de négligence unilatérale (SNU). Dans ce domaine, des études ont conclu que la RV était un outil prometteur (Pedroli, Serino, Cipresso, Pallavicini et Riva, 2015). La RV permettrait d'entraîner les patients héminégligents en toute sécurité. En effet, les sujets peuvent naviguer dans l'environnement virtuel sans risquer de se blesser, malgré leur handicap.

Par ailleurs, des études en RV ont été menées en neuropsychologie pour la rééducation des fonctions exécutives. Dans une étude, des patients étaient exposés à un centre commercial virtuel et devaient y effectuer des achats (Jacoby et al., 2013). Les patients immergés dans ce supermarché virtuel ont obtenu des résultats significativement plus élevés dans le domaine des fonctions exécutives que le groupe contrôle rééduqué avec une méthode classique. Suite à la rééducation en RV, ces patients avaient également progressé dans des tâches de la vie quotidienne similaires aux tâches entraînées en RV.

Cependant, malgré les résultats concluants des différentes études concernant les outils de rééducation en RV, peu de cliniciens utilisent cette technologie dans la pratique. Selon Camara Lopez et Cleeremans (2016), cela pourrait s'expliquer par une méconnaissance des professionnels au sujet des nouvelles technologies. En effet, selon ces auteurs, des connaissances informatiques sont nécessaires pour pouvoir définir les différents paramètres des environnements virtuels (nombre de distracteurs, vitesse, etc.).

La RV semble donc être un outil efficace et prometteur pour l'évaluation et la rééducation des fonctions cognitives. Il convient de l'étudier davantage afin de mesurer tous les atouts qu'elle pourrait présenter, notamment dans le cadre de la rééducation de la mémoire.

## 1.2. La mémoire

La mémoire contient différentes composantes. Chacune de ces composantes peut être altérée en cas de lésions cérébrales. En effet, de nombreux patients cérébrolésés rencontrés en rééducation présentent des troubles mnésiques, et ces troubles peuvent être très variés selon la composante atteinte. Les différentes composantes de la mémoire et les mécanismes qui la sous-tendent sont décrits dans cette partie.

### 1.2.1. Définition

La mémoire se définit comme le stockage ou le souvenir d'une information. En neurosciences, elle désigne la capacité d'acquérir, de conserver et de restituer une information (Petit, 2010). Cependant, il n'existe pas qu'une seule mémoire. Ainsi, on peut distinguer cinq systèmes de mémoire (Tulving, 1991) :

- la **mémoire de travail** (ou mémoire à court terme), qui permet de retenir des informations pendant quelques secondes voire quelques dizaines de secondes ;
- la **mémoire sémantique** et la **mémoire épisodique**, deux systèmes de représentation consciente à long terme. La mémoire épisodique est elle-même divisée en deux systèmes : la mémoire autobiographique, qui regroupe les souvenirs anciens et rapportés à notre histoire personnelle, et la mémoire prospective, qui permet de mémoriser des actions à effectuer dans le futur ;
- la **mémoire procédurale**, qui permet des automatismes inconscients ;
- la **mémoire perceptive**, liée aux sens (mémoire échoïque liée à l'audition, par exemple).

Cependant, certains chercheurs incluent la mémoire sémantique, la mémoire épisodique et la mémoire procédurale dans un seul système : la mémoire à long terme (Deschamps et Moulignier, 2005). Certains distinguent également une mémoire déclarative, c'est-à-dire accessible à la conscience et verbalisable (mémoire épisodique et mémoire sémantique, par exemple) d'une mémoire non déclarative ou procédurale, qui ne serait pas verbalisable.

Anatomiquement, il n'existe pas un organe unique de la mémoire. Plusieurs structures anatomiques sont concernées, et ces structures sont également impliquées dans d'autres activités. Ces structures sont organisées en réseau. Ainsi, le circuit de Papez, décrit en 1937, relie les différentes structures anatomiques telles que l'hippocampe, le corps mamillaire, le thalamus et le cortex cingulaire.

### 1.2.2. Processus d'acquisition et de restitution

D'après Deschamps et Moulignier (2005), l'acquisition et la restitution des informations se font à travers quatre processus. Tout d'abord, l'encodage, qui est un enregistrement d'une information, et dont la qualité conditionne la qualité du rappel. Ensuite, le stockage de l'information enregistrée. Ce stockage peut être plus ou moins profond. Puis, la récupération : l'information stockée est récupérée pour être restituée ou utilisée. La récupération est considérée comme meilleure lorsqu'elle se fait en rappel libre. Enfin, l'oubli : cette composante est essentielle. Elle permet d'éliminer les données non pertinentes et de ne garder en mémoire que les informations essentielles.

### **1.2.3. Les troubles mnésiques : types et étiologies**

Parmi les troubles mnésiques, on distingue les troubles pathologiques et permanents des troubles pathologiques transitoires, qui sont décrits dans l'article de Deschamps et Moulignier (2005).

Dans les pathologies permanentes de la mémoire, on peut retrouver les maladies neurodégénératives telles que les démences de type Alzheimer ou la maladie de Parkinson. On retrouve aussi les pathologies traumatiques (traumatisme crânien) ou vasculaires (accident vasculaire cérébral).

Dans les pathologies transitoires de la mémoire, on retrouve les amnésies de causes iatrogènes (prise de benzodiazépines, anesthésie générale...).

### **1.2.4. Evaluation de la mémoire**

Différents outils permettent d'évaluer la plainte mnésique des patients ainsi que le fonctionnement de leur mémoire en elle-même.

Parmi ces outils, on retrouve des questionnaires des plaintes mnésiques ainsi que des questionnaires qui visent à évaluer la connaissance que les patients ont de leur propre mémoire, comme par exemple le Questionnaire d'auto-évaluation de la mémoire (Van der Linden, Wijns, Von Frenkell, Coyette et Seron, 1989).

D'autre part, afin d'étudier la mémoire elle-même et ses différentes composantes, les cliniciens disposent de différentes épreuves et batteries. Ainsi, la mémoire sémantique peut être évaluée grâce au test d'apprentissage de la mémoire verbale du California Verbal Learning Test (Delis, Kramer, Kaplan, & Ober, 2000), adapté en français par B. Deweer. Les empans de chiffres évaluent la mémoire de travail. La mémoire sémantique peut être évaluée grâce au Test des pyramides et des palmiers ou Pyramid and Palm Tree Test (Howard & Patterson, 1992).

### **1.2.5. Rééducation des troubles mnésiques**

Dans leur article sur la mémoire et ses troubles, Deschamps et Moulignier (2005) mentionnent plusieurs méthodes utilisées en rééducation. Ils s'agit principalement de méthodes de mémorisation comme les procédés mnémotechniques. Cependant, d'après les auteurs, ces méthodes ne sont pas forcément pratiques dans la vie quotidienne des patients. De plus, les aides externes sont beaucoup utilisées en rééducation (agenda, moyen d'accès à l'information stockée en mémoire comme une alarme, par exemple). Ces aides peuvent aussi être utilisées spontanément par les patients. On note que pour ces auteurs, le contexte d'apprentissage de ces méthodes est primordial : il doit être au plus proche de la situation réelle.

Par ailleurs, quatre grandes approches de rééducation cognitive seraient utilisées actuellement (Seron, Rossetti, Vallat-Azouvi, Pradat-Diehl et Azouvi, 2008). Tout d'abord, l'approche pragmatique qui s'appuie sur les conditions générales d'existence des patients afin de leur permettre de garder leur autonomie. Ensuite, une approche s'appuyant sur l'informatique et sur le recours aux prothèses mentales. Puis, une approche s'appuyant sur le fonctionnement exécutif et les troubles du comportement chez les sujets frontaux et qui vise à améliorer les capacités de planification et la résolution de problèmes. Enfin, l'accroissement du nombre de sujets porteurs de démences ainsi que la détection de plus en plus précoce des démences a mené les chercheurs et les cliniciens à développer une autre approche. Celle-ci

visé le maintien des compétences cognitives du patient ainsi que son bien-être et celui de ses proches.

## **2. Buts et intérêts de ce mémoire**

### **2.1. Buts**

La RV est déjà utilisée dans de nombreux domaines tels que la psychiatrie ou la neuropsychologie. De plus, la RV peut être utilisée à des fins d'évaluation ou de rééducation. Ainsi, le but de ce mémoire sera de déterminer si cet outil peut également être utilisé dans la rééducation de la mémoire chez des patients adultes en orthophonie.

Ce mémoire aura aussi pour but de définir l'intérêt et la place de la RV en orthophonie dans le cadre de la rééducation des fonctions mnésiques à travers une revue de la littérature. Pour cela, une collecte d'informations dans la littérature scientifique sera réalisée. Les différentes études décrivant l'utilisation de la RV dans le cadre de la rééducation de la mémoire seront analysées. Ainsi, les principaux intérêts et les limites de cet outil dans le cadre de la rééducation de la mémoire seront définis.

### **2.2. Intérêts**

L'intérêt de ce mémoire sera de synthétiser les données de la littérature afin d'en extraire les principaux atouts que la RV présente pour la rééducation de la mémoire en orthophonie. Les éventuels obstacles qui pourraient s'opposer à son utilisation dans la pratique clinique des orthophonistes seront également présentés.

### **2.3. Hypothèses**

Plusieurs hypothèses seront vérifiées. La première hypothèse est que la RV est un outil thérapeutique efficace. La deuxième hypothèse est que la RV permet une meilleure maîtrise de la tâche proposée (durée, nombre de distracteurs, etc.). La troisième hypothèse est que la RV nécessite que le thérapeute et que le patient aient des connaissances préalables en informatique. Enfin, la dernière hypothèse est que le coût financier des dispositifs nécessaires à l'utilisation de la RV pourra représenter un obstacle à leur utilisation.

## **Méthode**

### **1. Recherche d'articles**

#### **1.1. Banques de données**

La recherche d'articles se fera à partir des sites de référence PUBMED, COCHRANE et CAIRN. Lorsqu'un article référencé sur ces banques de données ne sera pas disponible en intégralité, cet article sera recherché sur GoogleScholar. Les auteurs pourront également être contactés afin de leur demander un accès à leur article.

#### **1.2. Mots-clés**

Les mots-clés de la recherche seront :  
- « Réalité Virtuelle » OR « Virtual Reality »

- « Mémoire » OR « Memory »
- « Fonctions Cognitives » OR « Cognitive Functions ». Ce mot-clé a été ajouté car certaines études portent sur la rééducation des fonction cognitives de manière globale et incluent donc une rééducation de la mémoire
- « Rééducation » OR « Reeducation » OR « Rehabilitation »
- « Evaluation » OR « Assessment ». Ce mot-clé a été ajouté car certaines études traitent conjointement de l'évaluation et de la rééducation
- « Neuropsychologie » OR « Neuropsychology »
- « Orthophonie » OR « Speech Therapy »

Dans la présente recherche, les mots-clés seront utilisés de la manière suivante : (réalité virtuelle OR virtual reality OR VR) AND (fonctions cognitives OR cognitive functions OR mémoire OR memory) AND (rééducation OR reeducation OR rehabilitation OR évaluation OR assessment).

### **1.3. Critères d'inclusion**

Les critères d'inclusion sont :

- le titre de l'article contient au moins les mots-clés : « réalité virtuelle » AND/OR « virtual reality » AND/OR « mémoire » AND/OR « memory » AND/OR « fonctions cognitives » AND/OR « cognitive functions » ;
- l'article est cité sur un site de référence, avec en priorité PUBMED et COCHRANE : afin de garantir le sérieux des données utilisées ;
- l'article est cité dans d'autres articles eux-mêmes référencés dans PUBMED et COCHRANE, ou est cité par des auteurs reconnus : afin de garantir la fiabilité de ces données.

### **1.4. Critères d'exclusion**

Les critères d'exclusion sont :

- l'article a été publié avant 2000 : afin de ne recueillir que des informations récentes (les études ou ouvrages antérieurs à l'année 2000) ;
- l'article a été publié dans une langue autre que le français ou l'anglais : car nous ne possédons pas un niveau de langue suffisant pour comprendre des articles écrits dans d'autres langues que celles-ci ;
- l'article traite de la rééducation d'enfants ou d'adolescents : car leur fonctionnement cérébral diffère de celui des adultes ;
- l'article traite exclusivement de fonctions cognitives autres que la mémoire (par exemple : les fonctions exécutives ou la négligence). Elles seront abordées dans d'autres mémoires réalisés en parallèle avec celui-ci par Hélène Faisant et Marion Martin.

### **1.5. Procédure de sélection des articles**

La sélection des articles se fera de la manière suivante : les titres des articles seront lus. Les articles dont le titre contient au moins un mot-clé parmi « réalité virtuelle » ou « virtual reality » ; « mémoire » ou « memory » ; « fonctions cognitives » ou « cognitive functions » ; « rééducation » ou « rehabilitation » seront sélectionnés. Lors de cette étape, la sélection sera large afin de garantir que toutes les études pouvant répondre à la problématique de ce mémoire sont sélectionnées. Ensuite, les résumés des articles sélectionnés seront lus afin de garantir que les articles traitent effectivement de la réalité virtuelle dans le cadre de la

rééducation de la mémoire. Les études qui ne sont pas menées en réalité virtuelle ou encore les études qui traitent des fonctions cognitives mais dont aucun résultat ne concerne les fonctions mnésiques seront ainsi éliminées. Les études qui traitent de l'évaluation de la mémoire en RV mais pas de la rééducation seront également rejetées.

Suite à cela, les doublons de la recherche seront éliminés. Les articles restants seront lus en intégralité.

Lors de la lecture, les articles cités en bibliographie et qui correspondent à la problématique de ce mémoire seront inclus. Pour cela, la méthodologie suivie sera la même que celle décrite pour la recherche initiale : le titre de l'article sera lu, puis son résumé. L'article sera ajouté à la revue de la littérature s'il correspond à la problématique de ce mémoire et s'il respecte les critères d'inclusion et d'exclusion décrits plus haut.

## 2. Analyse des données

### 2.1. Extraction des données

Les articles lus en intégralité seront analysés à l'aide d'une grille de lecture. Cette grille est présentée dans l'annexe n°1.

La grille de lecture reprendra :

- les caractéristiques de chaque article : titre, auteur, année de publication, source de publication (banque de données et revue dont l'article est issu), type d'étude, mesure des résultats (p-valeur), moment où les mesures ont été recueillies (avant, pendant ou après l'intervention) et conclusions des auteurs ;
- les caractéristiques de l'intervention : outil(s) décrit(s), durée et intensité de l'intervention, et présence ou absence d'un entraînement en RV permettant aux participants de s'habituer aux environnements virtuels avant de commencer la thérapie ;
- les caractéristiques des patients : nombre de sujets, âge des sujets, pathologie des sujets.

### 2.2. Evaluation de la qualité des études : risques de biais

Afin d'évaluer la fiabilité des études lues, les risques de biais qu'elles comportent seront analysés. Les critères utilisés pour cette analyse seront issus du guide d'évaluation du risque de biais proposé par Cochrane (« Table 8.5.d: Criteria for judging risk of bias », s. d.). Ce guide est présenté dans l'annexe n°2.

L'analyse portera sur le risque de :

- **biais de sélection** : ce biais survient lorsque les sujets d'une étude ne sont pas comparables. Afin d'évaluer le risque de biais de sélection, il conviendra de vérifier que les sujets ont tous été sélectionnés selon les mêmes critères d'inclusion et d'exclusion. Les groupes analysés devront également être statistiquement comparables ;
- **biais de confusion** : ce biais survient lorsque des facteurs confondants, comme l'évolution spontanée des patients ou l'effet placebo, ne sont pas pris en compte. Afin d'évaluer le risque de biais de confusion, il conviendra de s'assurer que l'étude comprend un groupe contrôle. De plus, les auteurs devront également avoir eu recours à une randomisation (assignation aléatoire au groupe test ou au groupe contrôle) afin de constituer le groupe test et le groupe contrôle ;
- **biais de détection** : ce biais survient lorsque les performances du groupe test et du groupe contrôle ne sont pas évaluées de la même manière. Dans ce cas-là, un groupe risque donc d'être surestimé ou sous-estimé en fonction du traitement qu'il aura reçu. Afin d'évaluer le

risque de biais de détection, il conviendra de vérifier que les auteurs ont administré les mêmes tests à tous les groupes et que les différentes mesures réalisées ont été analysées et comparées avec des tests statistiques ;

- **biais d'attrition** : ce biais survient lorsque des patients randomisés sont écartés de l'étude au cours de l'intervention (perdus de vue, sujets décédés, etc). Afin d'éviter le biais d'attrition, il conviendra de vérifier que tous les sujets inclus dans l'étude sont présents dans l'analyse (même nombre de sujets inclus que de patients analysés) ;

- **biais de publication des résultats** : ce biais survient lorsque les auteurs ne publient pas toutes les données analysées. Afin d'évaluer le risque de biais de publication des résultats, il conviendra de vérifier que le protocole de l'étude est disponible et détaillé. Tous les résultats publiés devront par ailleurs correspondre aux données analysées et à la problématique de l'étude. Ils devront également faire l'objet d'une analyse par les auteurs.

Chaque risque de biais sera évalué selon les critères développés ci-dessus. Le risque de biais sera défini ainsi :

- risque de biais « faible » : tous les critères sont respectés pour un type de biais donné ;
- risque de biais « élevé » : au moins un critère n'est pas respecté pour un type de biais donné ;
- risque de biais « imprécis » : impossibilité de définir si le critère a été respecté ou non ;
- risque de biais non évaluable : au moins un critère n'est pas pertinent dans l'analyse du risque de biais (ex : le critère de comparaison à un groupe contrôle dans l'analyse du risque de biais d'une étude de cas unique).

## Résultats

### 1. Résultats de la recherche

Suite à la recherche sur PubMed, Cochrane et Cairn, 849 articles ont été identifiés. Ces articles ont été sélectionnés selon les critères d'inclusion et d'exclusion définis précédemment. La sélection initiale comprenait un total de 22 articles. La lecture de ces 22 articles a permis d'ajouter 3 articles cités en bibliographie et qui respectaient les critères de sélection. La sélection finale comprend donc 25 articles. La procédure de sélection des articles est détaillée dans la Figure 2.

En raison de la grande diversité des études, il n'est pas pertinent de procéder à une analyse statistique des résultats. Une analyse descriptive des résultats obtenus sera néanmoins proposée.

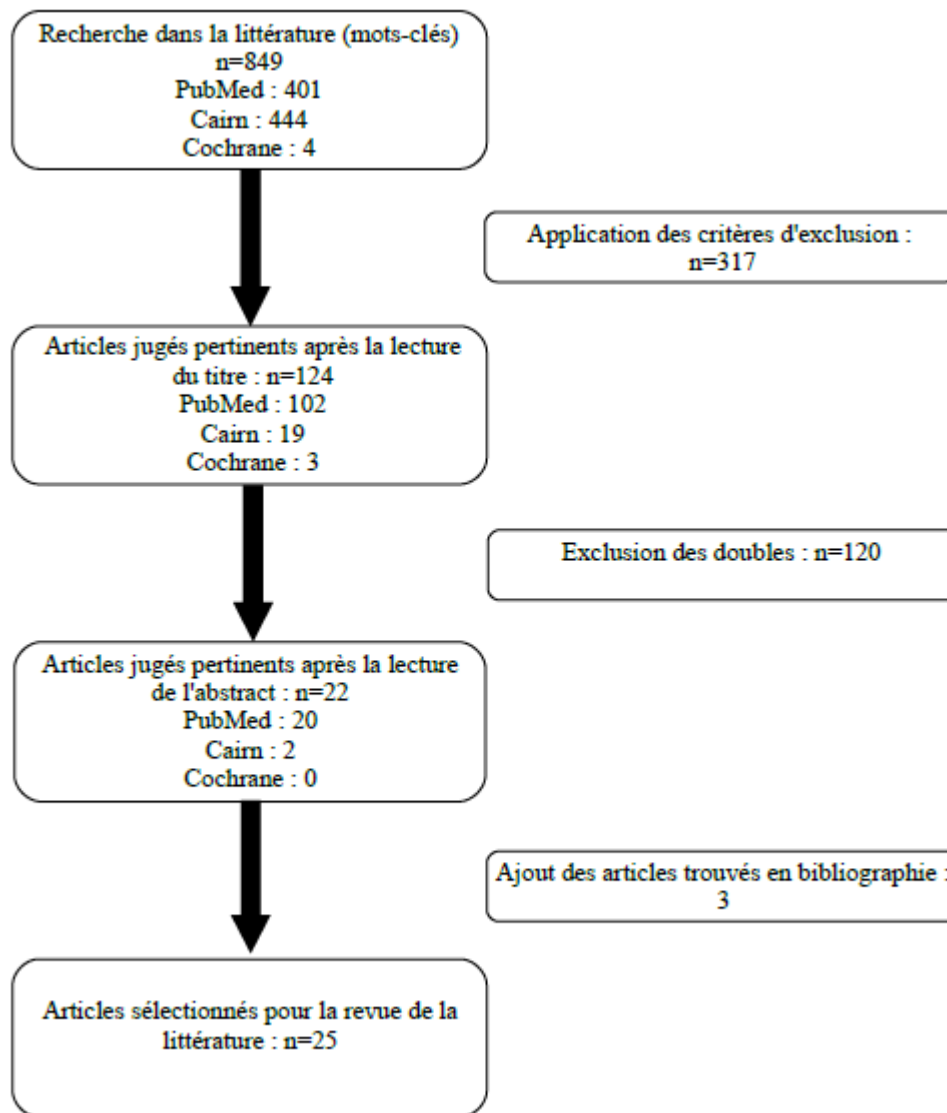


Figure 2. Tableau de sélection des articles

## 1.1. Caractéristiques générales des études

La description détaillée des articles de la recherche est présentée dans l'annexe n°3.

Parmi les articles sélectionnés, neuf étaient des études pilotes et des études préliminaires et de faisabilité. Une étude portait sur un cas unique. Huit étaient des études expérimentales. Par ailleurs, sept des articles identifiés étaient des revues de la littérature.

Sur les vingt-cinq études trouvées, dix-sept traitaient de la rééducation des fonctions mnésiques parmi d'autres fonctions cognitives et huit études présentaient des protocoles de rééducation des fonctions mnésiques seules. Parmi ces huit études, deux études traitaient de la mémoire prospective (Mathews, Mitrovic, Ohlsson, Holland et McKinley, 2016; Yip et Man, 2013), deux études traitaient de la mémoire visuospatiale (Caglio et al., 2012; Lloyd, Riley et Powell, 2009) et une étude traitait de la mémoire épisodique (Sauzéron, N'Kaoua, Pala, Taillade et Guitton, 2016). Les trois autres études traitaient des fonctions mnésiques dans leur globalité (Man, Chung et Lee, 2012; Optale et al., 2010; Spreij, Visser-Meily, van Heugten et Nijboer, 2014).

Par ailleurs, les populations étudiées dans les articles étaient très hétérogènes. Ainsi, onze articles étudiaient des patients ayant subi un accident vasculaire cérébral et six études



traitaient de patients ayant subi un traumatisme crânien. Ces deux types de pathologies étaient parfois étudiées conjointement afin d'évaluer plus globalement l'effet de la thérapie sur des patients présentant des lésions cérébrales acquises (Yip et Man, 2009). Deux études portaient sur des sujets épileptiques (Grewe et al., 2013; Grewe et al., 2014), deux études traitaient de patients schizophrènes (Chan, Ngai, Leung et Wong, 2009; Tsang et Man, 2013) et trois articles étudiaient des patients présentant des pathologies neurodégénératives (maladie d'Alzheimer ou déficit cognitif léger). Trois études ne mentionnaient pas le type de pathologie des sujets analysés.

En outre, les âges des sujets analysés dans ces études étaient extrêmement variables, allant de 22 ans (Sauzéron et al., 2016) à 80 ans (Man et al., 2012; Optale et al., 2010).

## **1.2. Structure des études ayant proposé un programme en RV**

Parmi les dix-huit études ayant proposé un programme en RV, dix-sept ont évalué les performances des participants avant et après l'intervention. De plus, cinq d'entre elles ont proposé une évaluation à distance de l'arrêt du programme. Ces évaluations ont pu avoir lieu une semaine après l'arrêt de la thérapie (Yip et Man, 2013), un mois après l'arrêt de la thérapie (Mathews et al., 2016) ou encore deux mois après l'arrêt de la thérapie (Caglio et al., 2012).

Par ailleurs, sur les dix-huit études ayant proposé un programme en RV, sept ont proposé un entraînement préalable afin de permettre aux sujets de se familiariser avec la RV (souris, joystick,...) et d'évaluer le risque de mal du virtuel (ou « cybersickness », c'est-à-dire un inconfort, des maux de tête voire des nausées suite à l'exposition à un environnement virtuel). Les onze autres études n'ont pas proposé d'entraînement préalable.

## **1.3. Matériel utilisé dans les études ayant proposé une intervention en RV**

Pour afficher l'environnement virtuel, six études ont utilisé un ordinateur. Quatre études ont utilisé un écran télévisuel. De plus, trois auteurs ont rapporté avoir utilisé un écran large et deux études ont utilisé OctaVis, un système permettant d'afficher l'environnement virtuel à 360° (Grewe et al., 2013; Grewe et al., 2014). Le casque de réalité virtuelle (HMD) n'a été utilisé que dans une étude (Optale et al., 2010).

Ensuite, pour naviguer dans les environnements virtuels, sept études ont proposé l'utilisation d'un joystick. Deux études ont proposé l'utilisation de la souris et trois études ont proposé l'utilisation d'un clavier d'ordinateur. Par ailleurs, six études ont utilisé un système de tracking afin de pouvoir ajuster l'affichage de l'environnement virtuel en fonction des déplacements des participants.

De plus, plusieurs logiciels ont été utilisés pour générer les environnements virtuels. On peut notamment citer Virtools (Optale et al., 2010; Sauzéron et al., 2016; Yip et Man, 2009, 2013) ou Unity 3D (Cameirão, Faria, Paulino, Alves, et Bermúdez i Badia, 2016; Faria, Andrade, Soares, et Badia, 2016; Gamito et al., 2015; Mathews et al., 2016). Deux études ont eu recours à IREX (Interactive Rehabilitation Exercise System). Les environnements proposés étaient principalement des villes virtuelles dans lesquelles les sujets devaient mémoriser un itinéraire (Lloyd, Riley, et Powell, 2009 ; Caglio et al., 2012 ; Grewe et al., 2013) ou des centres commerciaux virtuels dans lesquels les participants devaient réaliser des achats (Man et al., 2012). Certaines études proposaient également des maisons virtuelles dans lesquelles les sujets devaient mémoriser un certain nombre de tâches à effectuer, comme par exemple allumer la télévision ou sortir un plat du four (Mathews et al., 2016).

Ainsi, un matériel diversifié a été utilisé dans l'ensemble des différentes études. Cette diversité se retrouve au niveau des interfaces utilisées et des logiciels proposés pour la conception des tâches en RV.

## **2. Résultats des études**

La plupart des articles lus ont rapporté l'efficacité de la RV dans le cadre de la rééducation de la mémoire. Les résultats obtenus par les différentes études seront décrits ci-dessous.

### **2.1. Résultats des études pilotes, préliminaires et de faisabilité**

Neuf études entrent dans la catégorie des études pilotes, préliminaires et de faisabilité. Parmi ces études, trois ont proposé un programme rééduquant la mémoire seule chez des patients avec un trouble neurocognitif mineur ou encore chez des patients épileptiques (P. Grewe et al., 2014; Man et al., 2012; Optale et al., 2010). Ces trois études ont démontré une amélioration des performances des sujets après la rééducation, notamment en mémoire épisodique. La RV était par ailleurs bien tolérée par les sujets âgés de 80 ans (Man et al., 2012).

Six études ont proposé une thérapie cognitive intégrant un entraînement de la mémoire (Cameirão et al., 2016; Chan et al., 2009; Grewe et al., 2013; Maier, Bañuelos, Ballester, Duarte et Verschure, 2017; Monteiro-Junior et al., 2017; Yip et Man, 2009). Parmi ces études, cinq ont mis en évidence une amélioration des performances des sujets suite à l'entraînement en RV. Une seule étude (Monteiro-Junior et al., 2017) a rapporté des améliorations plus modérées, notamment dans le domaine de la mémoire sémantique. Par ailleurs, Maier et al. (2017) ont mené une étude auprès de patients post-AVC en phase chronique. Leur but était de démontrer l'utilité de traiter conjointement les différentes fonctions cognitives atteintes. Les résultats préliminaires ont montré que le programme de RV utilisé (Rehabilitation Gaming System) était capable d'identifier les difficultés cognitives des patients et de s'y adapter pendant la réalisation d'une tâche.

Ainsi, huit de ces études ont démontré une amélioration des performances mnésiques des participants suite à une rééducation en RV. La RV est bien tolérée par les sujets, même les plus âgés. De plus, des auteurs ont mis au point un système capable de détecter les difficultés cognitives des patients et de les prendre en compte afin de s'adapter à leurs difficultés en temps réel.

### **2.2. Résultats de l'étude portant sur un cas unique**

Parmi les articles identifiés pour cette revue de la littérature, un seul portait sur l'analyse d'un cas unique (Caglio et al., 2012). Le patient était un homme de 24 ans victime d'un traumatisme crânien et exposé à un programme de navigation en RV trois fois par semaine pendant quinze semaines. Le patient devait explorer une ville virtuelle et couper les arbres et les poteaux qu'il rencontrait sur son chemin. Le but était que le patient mémorise la ville virtuelle de manière implicite alors qu'il était occupé à une autre tâche. Deux mois après la fin de l'étude, les imageries en IRM fonctionnelle ont mis en évidence une activation plus étendue dans les régions hippocampiques et parahippocampiques. De même, les tests neuropsychologiques ont mis en évidence une amélioration de la mémoire visuospatiale. En revanche, le rappel immédiat ne s'était pas amélioré.

Cette étude a donc permis de démontrer qu'une tâche de navigation en RV pratiquée de manière intensive pouvait améliorer les fonctions mnésiques d'un patient cérébrolésé.

### **2.3. Résultats des études expérimentales**

Parmi les articles identifiés dans cette revue de la littérature, huit portaient sur des études expérimentales.

Lloyd et al. (2009) ont développé une tâche en RV afin de rééduquer la mémoire visuospatiale de patients cérébrolésés. Dans cette étude, les participants naviguaient dans une ville virtuelle créée avec le logiciel Driv3r et devaient mémoriser un chemin selon deux conditions différentes : en apprentissage sans erreur ou en apprentissage avec erreur. Les auteurs ont observé un effet positif de l'apprentissage sans erreur en réalité virtuelle. Cette étude ne proposait pas d'entraînement préalable en RV.

Deux études ont observé une amélioration de la mémoire prospective suite à un entraînement en RV chez des patients cérébrolésés (Mathews et al., 2016; Yip & Man, 2013). Lors d'une évaluation réalisée une semaine après la fin du programme, Yip et Man (2013) ont également observé un transfert des apprentissages à des tâches réelles similaires aux tâches entraînées en RV (retirer un plat du micro-ondes après cinq minutes, par exemple). En revanche, Mathews et al. (2016) ont rapporté que les participants avaient trouvé le joystick difficile à manipuler, bien qu'ils aient apprécié l'environnement virtuel. Aucune de ces études ne proposait d'entraînement préalable en RV.

Ensuite, Sauzéron et al. (2016) ont étudié l'effet d'une thérapie en RV sur la mémoire épisodique. Dans cette étude, les auteurs ont proposé un entraînement préalable pendant lequel les participants pouvaient se familiariser avec le programme en RV. Ensuite, les sujets ont réalisé une tâche de navigation dans un appartement virtuel. Ils étaient répartis dans différents groupes : un groupe d'adultes jeunes (22,28 ans) et un groupe d'adultes âgés (66,70 ans), chaque groupe étant divisé en deux sous-groupes (condition « active », dans laquelle les sujets contrôlaient leurs déplacements et condition « passive » dans laquelle les sujets étaient guidés par les thérapeutes), soit quatre groupes de quinze participants chacun. A la fin de l'étude, les auteurs ont observé que les sujets jeunes avaient mieux mémorisé les différents objets de l'appartement virtuel dans la condition « active ». Au contraire, les sujets âgés avaient réalisé plus de fausses reconnaissances dans cette condition.

Les quatre autres articles portaient sur des programmes qui incluaient la rééducation de la mémoire parmi la rééducation d'autres fonctions cognitives telles que l'attention ou les fonctions exécutives (Faria et al., 2016; Gamito et al., 2015; Kim, Chun, Kim, et Park, 2011; Tsang et Man, 2013). Ces études portaient sur des patients qui ne présentaient pas les mêmes pathologies (AVC, schizophrénie). Toutes ont mis en évidence une amélioration significative de la mémoire après leurs interventions. Par ailleurs, Tsang et Man (2013) ont rapporté que des participants avaient présenté un mal du virtuel à la suite de leur étude. Les sujets avaient bénéficié d'un entraînement préalable de cinq à dix minutes afin de se familiariser avec l'environnement virtuel. De plus, ces auteurs ont signalé que des connaissances en programmation informatique étaient nécessaires afin de proposer une tâche virtuelle adaptée aux patients. Au contraire, Faria et collaborateurs (2016) ont observé que les participants avaient réussi à s'adapter à l'environnement virtuel. Les participants n'avaient pas bénéficié d'un entraînement préalable pour s'habituer au matériel de navigation.

Pour résumer, les huit études expérimentales ont rapporté une amélioration de la mémoire des sujets suite à l'entraînement en RV et une étude a mis en évidence un transfert

des apprentissages à des tâches de la vie quotidienne une semaine après l'arrêt de la rééducation. Néanmoins, des auteurs ont rapporté que les sujets de leur étude avaient présenté un mal du virtuel suite à l'exposition à un environnement en RV. De plus, une étude a souligné qu'il était important d'avoir des connaissances en programmation informatique afin de pouvoir adapter le niveau de la tâche virtuelle aux patients.

## **2.4. Résultats des revues de synthèse et des revues de la littérature**

Parmi les 25 études identifiées pour ce mémoire, 7 étaient des revues de synthèse, des revues de la littérature ou encore des revues d'experts.

Deux études étaient des revues de la littérature portant sur la rééducation de la mémoire ou des fonctions cognitives (dont la mémoire) de patients cérébrolésés. Spreij et al. (2014) ont passé en revue l'ensemble des méthodes de rééducation disponibles pour rééduquer les troubles de la mémoire après une lésion cérébrale acquise. De leur côté, Shin et Kim, (2015) ont étudié l'intérêt de la RV pour la rééducation des troubles des fonctions cognitives consécutives à une lésion cérébrale. Dans ces deux articles, les auteurs ont conclu que la RV pouvait être efficace dans la rééducation de la mémoire. Cependant, Spreij et al. (2014) ont souligné que seuls trois articles de leur revue de la littérature portaient sur des programmes en RV. De plus, Shin et Kim (2015) ont conclu que la RV était efficace à la fois pour l'évaluation et pour la rééducation des fonctions cognitives et que sa validité écologique en faisait un outil plus efficace que les thérapies classiques.

Les autres auteurs ont proposé une réflexion plus globale sur les thérapies cognitives en RV (García-Betances, Jiménez-Mixco, Arredondo et Cabrera-Umpiérrez, 2015; Jollivet, Fortier, Besnard, Gall, et Allain, 2018; Le Gall et Allain, 2001; Morganti, 2004; Tieri et al., 2018). D'après eux, la RV pourrait être utilisée pour restaurer ou pour réorganiser les fonctions mnésiques. Elle permettrait un travail plus spécifique et un recueil de données instantané. De plus, sa grande validité écologique en ferait selon eux un outil permettant le transfert des apprentissages à des activités de la vie quotidienne. En revanche, Jollivet et al. (2018) ont souligné le coût financier des équipements nécessaires pour proposer des environnements en RV. Ces auteurs ont rapporté que les installations (ordinateurs, interfaces) et les logiciels pouvaient coûter plusieurs milliers d'euros (3500€ à 8000€ pour un équipement informatique basique). Néanmoins, d'après eux, ce coût pourrait être réduit en proposant des tâches moins immersives et en utilisant des logiciels open source comme NeuroVR (« Neuro VR 2.0 », s. d.). En outre, selon cette équipe, des connaissances en programmation informatique seraient nécessaires afin de pouvoir proposer des environnements virtuels adaptés aux patients et pour pouvoir analyser les nombreuses données recueillies par les logiciels. Or, Jollivet et al. (2018) ont rapporté que la plupart des thérapeutes ne sont pas suffisamment formés dans ce domaine.

Ainsi, ces revues de la littérature et ces revues d'experts ont mis en avant l'efficacité de la RV. Elles ont souligné l'intérêt que sa validité écologique présente pour la généralisation et le transfert des apprentissages. Les auteurs ont toutefois constaté que les installations nécessaires pouvaient être très coûteuses et compliquées à maîtriser pour la majorité des cliniciens, peu compétents en programmation informatique.

## **2.5. Résultats des études : synthèse**

Pour conclure, tous les articles lus dans cette revue de la littérature ont observé un effet positif de la réalité virtuelle dans le cadre de la rééducation de la mémoire.

Parmi les études, quatre ont démontré que les programmes en RV étaient plus efficaces que les traitements traditionnels. En revanche, deux études n'ont pas trouvé de différence significative entre l'efficacité de la RV et les thérapies classiques et deux études n'ont pas pu conclure à une efficacité de la RV dans le cadre de la rééducation de la mémoire. De plus, cinq études ont réévalué les sujets après l'arrêt de l'intervention.

Parmi les études ayant démontré une efficacité de la RV pour la rééducation de la mémoire, six ont observé un transfert des apprentissages à des tâches réelles. De même, cinq études ont démontré la validité écologique de la rééducation virtuelle.

De plus, parmi les articles lus, cinq ont démontré que les sujets s'adaptaient bien aux tâches en RV. En effet, les auteurs ont rapporté que même les sujets âgés réussissaient à naviguer dans les environnements virtuels et que les patients avaient jugé cet outil motivant pour les séances de rééducation. Une étude a également montré que la thérapie en RV pouvait être proposée même aux patients n'ayant aucune connaissance préalable en informatique.

Enfin, des auteurs ont rapporté certaines difficultés rencontrées dans leurs études. Une première difficulté mentionnée par les auteurs est le mal du virtuel. Ainsi, trois études ont rapporté que les sujets avaient présenté des maux de tête ou des nausées suite à une exposition à un environnement virtuel. Ensuite, des difficultés étaient liées à l'élaboration des tâches en RV. Selon certains auteurs, les logiciels de RV étaient coûteux et difficiles à maîtriser pour les thérapeutes, peu compétents en développement informatique. Les thérapeutes pouvaient donc difficilement exploiter tout le potentiel de la RV.

## **Discussion**

Le but de ce mémoire était de rechercher l'intérêt et la place de la RV en orthophonie dans le cadre de la rééducation des fonctions mnésiques, ainsi que ses limites dans la pratique professionnelle des orthophonistes. Dans ce but, une revue de la littérature a été réalisée. 25 articles traitant de cette problématique ont été identifiés et ont apporté des éléments de réponses à cette problématique.

La plupart des études suggèrent que la RV est efficace dans le cadre de la rééducation de la mémoire. De plus, les auteurs ont rapporté que la RV permettait de développer des programmes de rééducation ayant une forte validité écologique, ce qui facilitait le transfert des apprentissages à des tâches réelles (Grewe et al., 2014; Le Gall et Allain, 2001; Yip et Man, 2009 et 2013).

Les articles lus dans ce mémoire seront critiqués ci-dessous. Ensuite, les conclusions des auteurs concernant les atouts et les freins à l'utilisation de la RV dans la rééducation de la mémoire seront synthétisées et mises en lien avec la pratique clinique des orthophonistes.

### **1. Critique des articles : étude des biais**

Lors de la lecture des articles, le risque de biais a été analysé afin d'évaluer la qualité des études et la fiabilité des conclusions des auteurs. Les résultats de cette analyse détaillée sont présentés dans l'annexe n°4.

Tout d'abord, cette analyse avait pour but d'évaluer le risque de biais des études interventionnelles. De ce fait, les sept articles présentant des revues de la littérature, des revues de synthèse et des revues d'experts n'étaient pas concernés par cette évaluation. De même, l'étude portant sur un cas unique n'était pas analysable étant donné que les critères

d'évaluation utilisés ici s'appliquaient uniquement aux études proposant un traitement à un ensemble de participants (par exemple : les critères portant sur la comparabilité statistique du groupe test et du groupe contrôle ou encore le critère portant sur la randomisation des sujets dans un groupe test et un groupe contrôle n'étaient pas pertinents dans ce cas-là).

Ainsi, le risque de biais n'a été analysé que dans les études ayant proposé un programme de rééducation à plusieurs participants. De ce fait, seules les études pilotes, les études préliminaires et les études de faisabilité ainsi que les études expérimentales ont été analysées, soit un ensemble de dix-sept articles.

Parmi ces dix-sept articles, sept études respectaient les critères d'évaluation (Chan Christopher L. F. et al., 2009; Faria et al., 2016; Gamito et al., 2015; Kim et al., 2011; Man et al., 2012; Optale et al., 2010; Yip et Man, 2013). Elles comportaient donc un risque de biais faible. Par conséquent, leurs résultats peuvent être considérés comme fiables. Toutes ces études laissaient supposer que les fonctions mnésiques des participants s'étaient améliorées après l'intervention en RV. Ces études suggèrent donc que la RV peut être un outil thérapeutique efficace dans le cadre de la rééducation de la mémoire, notamment la mémoire épisodique (Man et al., 2012) et la mémoire prospective (Yip & Man, 2013). L'étude de Yip et Man (2013) a par ailleurs suggéré que les apprentissages réalisés en RV pouvaient être transférés à des tâches réelles une semaine après l'arrêt de la thérapie. De plus, dans leur étude, Faria et al. (2016) ont observé des progrès plus marqués dans le groupe de patients post-AVC exposé à une thérapie en RV que dans le groupe contrôle exposé à une thérapie cognitive classique. Ces auteurs ont également rapporté que les sujets s'étaient bien adaptés à l'environnement virtuel, même sans connaissances informatiques ou sans entraînement préalable.

Trois études expérimentales comportaient des risques de biais élevés car les participants n'avaient pas été comparés à un groupe contrôle (Lloyd et al., 2009; Mathews et al., 2016) ou que certains sujets inclus dans l'étude n'étaient pas retrouvés dans les analyses statistiques (Lloyd et al., 2009; Tsang et Man, 2013). Ces études concluaient à une amélioration des fonctions mnésiques suite à l'entraînement en RV. Mathews et al. (2016) ont également rapporté que les patients avaient eu des difficultés pour manipuler le joystick. Cependant, ces résultats sont à nuancer en raison du risque de biais que comportaient les études.

Deux études présentaient un risque de biais imprécis car il n'était pas possible de s'assurer que les différents groupes de participants étaient comparables (Sauzéon et al., 2016) ou parce que les méthodes d'évaluation des participants étaient imprécises (Maier et al., 2017). Ces études suggéraient également que la RV était un outil efficace dans le cadre de la rééducation de la mémoire. Ces conclusions sont donc à nuancer compte tenu du risque de biais que comportaient les études.

Enfin, cinq études présentaient des risques de biais non évaluables (Cameirão et al., 2016; Grewe et al., 2014; Grewe et al., 2013; Monteiro-Junior et al., 2017; Yip et Man, 2009). Il s'agissait d'études pilotes ou d'études de faisabilité qui n'avaient pas sélectionné leurs participants de manière rigoureuse. De plus, il est important de prendre en compte le fait que les études pilotes et les études de faisabilité ont simplement pour but de démontrer l'intérêt et la faisabilité d'une expérimentation auprès d'une population donnée. A ce titre, leur méthodologie est souvent moins méticuleuse que celle des études expérimentales (nombre de participants moins élevé, thérapie moins intensive, ...) et leur niveau de preuve est inférieur à celui des études expérimentales ou des revues de la littérature. Les résultats de ce type d'études doivent donc être interprétés avec précaution. Parmi les cinq études citées plus haut,

quatre mettaient en avant l'efficacité thérapeutique de la RV dans la rééducation de la mémoire. En revanche, dans l'étude de Monteiro-Junior et al. (2017), les participants n'avaient pas progressé en mémoire de travail et leurs progrès en mémoire épisodique étaient modérés.

Pour résumer, parmi les dix-sept études ayant proposé un programme thérapeutique en RV afin de rééduquer la mémoire, seules sept études ne présentaient pas de biais selon les critères d'évaluation définis plus haut. Les autres études présentaient des risques de biais élevés (n= 3) ou imprécis (n= 2). Cinq études présentaient des risques de biais non évaluables du fait de leur structure (études de faisabilité). Cependant, malgré les risques de biais recensés ci-dessus, il est à noter que presque toutes les études suggèrent que les thérapies en RV ont amélioré les performances mnésiques des participants. Cela tendrait à valider l'hypothèse selon laquelle la RV serait un outil efficace pour rééduquer mémoire.

## **2. RV : intérêts pour la rééducation de la mémoire**

### **2.1. Efficacité de la RV dans la rééducation de la mémoire**

Comme le montrent les articles de cette revue de la littérature, la rééducation en RV peut améliorer la mémoire des patients. En effet, parmi les 25 articles identifiés, 23 articles ont observé une amélioration significative de la mémoire. Seuls deux articles ont rapporté une amélioration plus nuancée dans le domaine de la mémoire (Caglio et al., 2012; Monteiro-Junior et al., 2017). Les autres auteurs ont tous rapporté que les thérapies en RV avaient des effets bénéfiques sur les fonctions mnésiques des patients, que ce soit la mémoire prospective (Mathews et al., 2016; Yip et Man, 2013), la mémoire visuospatiale (Lloyd et al., 2009) ou encore la mémoire épisodique (Sauzçon et al., 2016). De plus, les thérapies en RV qui proposent des tâches cognitives plus globales peuvent également améliorer la mémoire (Faria et al., 2016; Gamito et al., 2015; Grewe et al., 2013; Kim et al., 2011). Cela indique que la RV peut être utilisée dans des tâches de généralisation. C'est par exemple ce qu'ont proposé Mathews et al. (2016) dans leur étude. Les patients ont d'abord appris des procédés mnémotechniques avant d'être exposés à une tâche en RV. Suite à ce protocole de rééducation, les auteurs ont observé une amélioration de la mémoire prospective des participants.

### **2.2. Validité écologique de la RV**

Les études analysées dans cette revue de la littérature montrent que la RV possède une grande validité écologique. Les environnements virtuels ressemblent aux environnements réels et permettent aux participants de réaliser des tâches qui ressemblent à celles de la vie quotidienne. Dans certaines tâches, les patients peuvent par exemple acheter des articles dans des supermarchés virtuels ou réaliser des activités domestiques (par exemple : enlever un plat du four). Ces tâches ressemblent à des situations connues des patients et seraient donc plus motivantes et auraient plus de sens pour eux que les exercices de type papier-crayon. Ainsi, il serait plus motivant pour le patient de devoir mémoriser quels articles acheter dans une supérette que de devoir mémoriser des mots ou des phrases et de les répéter. En étant davantage motivés, les patients deviendraient plus acteurs de leur prise en charge. De plus, entraîner les patients sur des tâches proches de la vie réelle faciliterait le transfert des apprentissages. Ce type d'entraînement rendrait donc la rééducation plus efficace que les tâches papier-crayon dont la validité écologique est faible.

Ensuite, la validité écologique des tâches virtuelles permettrait de prédire fidèlement les réactions que les patients pourraient avoir dans leur vie quotidienne. Ainsi, les thérapeutes

pourraient évaluer les progrès des patients ou observer des comportements de mise en danger qui ne sont pas observables dans les tâches classiques. En effet, les séances de rééducation se déroulent classiquement dans un bureau et pendant une durée réduite (30 à 45 minutes). Dans ces conditions, il est difficile de mettre en scène des situations de la vie quotidienne car les séances sont trop courtes et qu'il est compliqué d'organiser de telles tâches dans un bureau. En revanche, cela est possible avec la RV. Lors d'une tâche virtuelle, les thérapeutes peuvent observer si les patients se souviennent des procédures et des tâches à effectuer sans pour autant les mettre en danger. Par exemple, les patients pourront être immergés dans une tâche de navigation spatiale dans une ville virtuelle sans risquer de se perdre. On pourra également leur proposer une tâche de cuisine sans qu'ils risquent de se brûler s'ils oublient d'éteindre les plaques chauffantes de l'environnement virtuel.

En résumé, la validité écologique de la RV permettrait de proposer un entraînement motivant qui faciliterait le transfert des apprentissages à des activités de la vie quotidienne. En entraînant les patients à des tâches virtuelles, les thérapeutes pourraient également évaluer la progression des patients et détecter quelles situations de la vie courante restent problématiques pour eux sans pour autant les mettre en danger.

### **2.3. Adaptabilité des tâches en RV**

Plusieurs articles de cette revue de la littérature mentionnaient la possibilité d'adapter la tâche aux difficultés des patients. Cet aspect a beaucoup été discuté dans les revues de synthèse et les revues d'experts (Jollivet et al., 2018; Morganti, 2004). Il serait ainsi possible de faire varier plusieurs paramètres de l'environnement virtuel afin de proposer une tâche adaptée aux difficultés spécifiques de chaque patient. Ce serait par exemple le cas pour la durée des épreuves. Il serait en effet possible d'écourter ou d'allonger la durée d'une tâche en fonction des capacités attentionnelles et de la fatigabilité d'un patient donné afin d'optimiser la prise en charge. De même, la RV permettrait de donner des feedbacks immédiats aux patients lors de la tâche, comme des signaux auditifs ou des alertes visuelles, afin de les renseigner sur leurs performances. De ce fait, les comportements adaptés seraient renforcés tandis que les comportements inadaptés seraient inhibés.

Ensuite, le contrôle des différents paramètres ainsi que la présentation de feedbacks permettraient un apprentissage sans erreur. En effet, il serait possible de paramétrer une tâche afin d'éliminer toutes les sources de difficulté et de distraction. Le paramétrage de la tâche pourrait aussi influencer les comportements des patients afin de leur éviter de se tromper pendant la tâche et de réaliser un apprentissage sans erreur. L'apprentissage sans erreur est particulièrement intéressant dans le cadre de la rééducation de la mémoire, puisqu'il permet aux patients d'encoder uniquement des informations correctes. Eviter aux patients de commettre des erreurs pendant l'apprentissage d'une procédure ou d'un itinéraire diminuerait ainsi le risque d'engrammer des informations incorrectes. Cela réduirait donc le risque de récupérer une information erronée lors d'une tâche de rappel.

Par ailleurs, il serait possible d'adapter la durée des tâches virtuelles. Ainsi, une tâche virtuelle imitant une situation de vie quotidienne pourrait être plus courte que la tâche réelle qu'elle imite sans perdre sa validité écologique (ex : raccourcir virtuellement la durée de cuisson d'un plat pour réduire le temps de préparation dans une tâche virtuelle de cuisine). Ce gain de temps offrirait la possibilité de proposer plusieurs fois une même tâche au cours d'une séance afin de l'entraîner plus intensivement, ce qui est difficile à réaliser avec des tâches réelles. En effet, proposer une tâche réelle à un patient demande un temps de préparation dont



les cliniciens ne disposent pas toujours, sans compter le temps nécessaire à la réalisation de la tâche réelle en elle-même. La RV permettrait de proposer une tâche dans un environnement déjà disponible et accessible et dont les paramètres pourraient être programmés à l'avance. Ainsi, la durée de la tâche et le nombre de distracteurs pourraient être contrôlés par le thérapeute. De même, la navigation dans un environnement virtuel pourrait être proposée dans un bureau et ne nécessiterait donc pas de déplacer le patient. Cette qualité serait très pratique, notamment dans la rééducation de patients amnésiques ayant des troubles moteurs associés.

Pour résumer, la RV permettrait donc de faire varier plus facilement les paramètres d'une tâche. Ainsi, la durée de la tâche et sa complexité (nombre de distracteurs, nombre d'items à rappeler) pourraient être définis à l'avance par le thérapeute. Cela permettrait de proposer des tâches adaptées à chaque patient. Les tâches, plus courtes, pourraient également être proposées plusieurs fois au cours d'une même séance, ce qui est plus compliqué à faire avec une tâche réelle. Enfin, la RV permettrait d'éviter une perte de temps en proposant des tâches qui ne nécessiteraient pas le déplacement des patients.

## **2.4. RV et évolution des pratiques professionnelles en orthophonie**

Les conclusions des auteurs conduisent à penser que la RV s'inscrit dans l'évolution des pratiques professionnelles en orthophonie de ces dernières années. En effet, en créant des tâches faisant travailler plusieurs domaines, la RV permettrait de travailler en pluridisciplinarité (García-Betances et al., 2015). Ainsi, il serait tout à fait possible de proposer une tâche de rééducation motrice qui travaillerait également les fonctions cognitives (Monteiro-Junior et al., 2017).

De plus, le recueil des données est informatisé et automatique. Il permettrait donc de recueillir un grand nombre de mesures quant aux performances des sujets dans une tâche donnée. Ainsi, il serait possible de proposer une tâche à un patient au début de la rééducation et de mesurer plusieurs paramètres (temps, nombre d'erreurs...) afin d'établir une ligne de base. Le patient réaliserait de nouveau cette tâche après quelques séances de rééducation afin de comparer ses performances et de mesurer l'efficacité de la rééducation sur une tâche écologique. Cela permettrait de réaliser des évaluations régulières et d'adapter le traitement à l'évolution du patient.

Ensuite, la RV permettrait la rééducation à distance. En effet, certaines plateformes informatisées proposent un accès aux patients depuis leur domicile (Jollivet et al., 2018). Actuellement, les patients sont suivis une à deux fois par semaine, pendant des séances de 30 à 45 minutes. Avec la rééducation à distance, les patients pourraient réaliser une tâche quotidiennement. Les logiciels enregistreraient les performances des patients et les orthophonistes pourraient ainsi observer leur évolution et adapter les tâches à distance. L'entraînement proposé serait alors plus intensif et donc potentiellement plus efficace.

Ainsi, la RV s'inscrit dans l'évolution des pratiques professionnelles en orthophonie : elle facilite le travail pluridisciplinaire et le recueil de données réalisé automatiquement permet d'élaborer des lignes de base sur des tâches écologiques. De plus, grâce à la RV, il est possible de proposer une rééducation à distance contrôlable par les thérapeutes, ce qui permet de proposer une rééducation plus intensive.

## **2.5. Intérêts de la RV pour la rééducation de la mémoire dans la pratique orthophonique : synthèse**

La RV possède de nombreux atouts qui en feraient un outil précieux pour la rééducation de la mémoire dans la pratique clinique. C'est un outil dont l'efficacité a été démontrée par plusieurs auteurs. De plus, sa grande validité écologique en fait un outil motivant et plus intéressant pour les patients que les tâches papier crayon. La RV facilite également le transfert des apprentissages à des situations de la vie réelle. De plus, la RV permet aux thérapeutes d'avoir un contrôle total de la tâche proposée. Cela représente un grand intérêt pour proposer des tâches adaptées spécifiquement à chaque patient, mais aussi pour proposer des tâches plus courtes et nécessitant moins de préparatifs qu'une tâche réelle équivalente. La RV permet également de proposer des tâches écologiques à des patients ne pouvant pas réaliser une tâche réelle, en cas de troubles moteurs associés, par exemple. La RV permet aussi de travailler en pluridisciplinarité et d'élaborer des lignes de bases sur des tâches écologiques, ce qui permettrait d'élaborer un projet thérapeutique davantage en lien avec les capacités des patients dans leur vie quotidienne. La RV permettrait enfin de proposer une rééducation quotidienne car certains logiciels permettent aux patients d'accéder depuis leur domicile à des tâches configurées par leur thérapeute.

## **3. RV : limites et freins dans le cadre de la rééducation de la mémoire**

### **3.1. Coût des équipements en RV**

Malgré l'efficacité de la RV dans la rééducation de la mémoire, plusieurs freins à son utilisation dans la pratique clinique peuvent être notés. Tout d'abord, des auteurs ont rapporté que le coût des équipements nécessaires à la RV pouvait être élevé (Jollivet et al., 2018). Selon eux, le prix d'un équipement informatique basique serait compris entre 3500 et 8000 euros. Il faudrait ajouter à cela le prix des logiciels, dont le coût de développement peut atteindre plusieurs dizaines ou centaines de milliers d'euros. Néanmoins, ce coût pourrait être réduit en choisissant d'utiliser des plateformes opensources telles que NeuroVR. De plus, les études suggèrent que la rééducation en RV pourrait être efficace même dans des environnements non immersifs (Man et al., 2012; Tsang & Man, 2013; Yip et Man, 2009, 2013). Il serait donc possible de limiter le coût des équipements en proposant uniquement des environnements non immersifs. De plus, les systèmes non immersifs seraient moins coûteux et plus faciles à mettre en place que les systèmes immersifs tels que le système CAVE.

### **3.2. Mal du virtuel et pré-requis**

Dans les articles passés en revue dans ce mémoire, plusieurs participants ont présenté un mal du virtuel ou ont eu des difficultés à s'adapter à la RV (Mathews et al., 2016; Tsang et Man, 2013). D'après les auteurs, ce risque pourrait toutefois être contourné en proposant des tâches de courte durée ou dans des environnements non immersifs. Proposer un entraînement préalable aux patients pourrait également leur permettre de s'habituer à la RV et limiter le risque de migraines ou de nausées. Néanmoins, ce risque semble non négligeable chez les patients ayant subi un traumatisme crânien ou un accident vasculaire cérébral. En effet, ces patients peuvent présenter des troubles visuels ou des troubles oculomoteurs associés qui

augmenteraient le risque de développer un mal du virtuel. Il conviendrait alors d'évaluer ce risque avant de proposer une thérapie en RV à un patient. De plus, si un trouble dysexécutif est associé, ces patients pourraient avoir des difficultés à s'habituer à une tâche nouvelle et être facilement distractibles. Cela pourrait empêcher les patients d'apprendre à naviguer dans l'environnement virtuel.

Par ailleurs, un trouble dysexécutif et une trop grande distractibilité pourraient également gêner la rééducation de la mémoire. En effet, la mémorisation d'une information passe par un mécanisme d'encodage. Pour que l'encodage soit effectif, les patients doivent disposer de capacités attentionnelles suffisantes pour percevoir l'information à mémoriser. Ils doivent également être capables d'inhiber des stimuli non pertinents présents dans l'environnement virtuel. Un travail spécifique de rééducation de l'attention et des fonctions exécutives devrait éventuellement être proposé en amont d'une rééducation des fonctions mnésiques.

Ainsi, le risque du mal du virtuel ou encore le manque de certains pré-requis limiteront le nombre de patients auxquels les orthophonistes pourront proposer une rééducation en RV.

### **3.3. Concurrence entre les développeurs des logiciels en RV**

La RV est en plein essor et bénéficie d'une grande popularité auprès du public. De ce fait, les concepteurs se livrent une rude concurrence et développent sans cesse de nouveaux logiciels. De nombreux logiciels sont donc disponibles sur le marché, ce qui s'est reflété dans la diversité du matériel utilisé dans les articles étudiés dans ce mémoire. Néanmoins, cette abondance de nouveaux programmes présenterait un inconvénient : les programmes développés seraient rapidement délaissés par les concepteurs au profit de nouveaux logiciels développés afin de faire face à la concurrence. Par conséquent, les programmes commercialisés deviendraient vite obsolètes (Jollivet et al., 2018). Ainsi, il deviendrait difficile pour les praticiens de choisir un programme adapté et fonctionnel parmi l'abondance de logiciels disponibles. De plus, les thérapeutes pourraient être dissuadés d'investir dans un outil s'ils savent que celui-ci sera rapidement surpassé par un nouveau logiciel plus performant quelques mois plus tard.

### **3.4. Praticiens peu formés en programmation informatique et interfaces des logiciels peu intuitives**

Le frein principal qui émerge de cette revue de la littérature est que les interfaces et les logiciels qui existent actuellement semblent trop compliqués à utiliser pour les cliniciens. En effet, la RV permet de créer des environnements virtuels variés et des tâches adaptées spécifiquement à chaque patient, mais cela requiert des connaissances en programmation informatique (Jollivet et al., 2018; Tsang & Man, 2013). Ces connaissances seraient nécessaires pour savoir quels critères faire varier pour adapter une tâche (durée de la tâche, nombre de distracteurs, feedbacks...) mais surtout pour savoir comment paramétrer le logiciel pour parvenir à créer la tâche attendue. Or, les articles analysés ici suggèrent que les interfaces des logiciels disponibles ne seraient pas intuitives. Cela pourrait rebuter les cliniciens, peu habitués à la programmation informatique. Le même problème se poserait pour l'analyse des données. En effet, les logiciels en RV permettent de recueillir automatiquement un grand nombre de données utiles pour évaluer les performances et la progression des patients. Néanmoins, les praticiens non formés pourraient rencontrer des difficultés pour interpréter ces données dans les logiciels actuellement disponibles sur le marché. Les

orthophonistes devraient donc se former pour pouvoir paramétrer les tâches virtuelles et pour apprendre à interpréter les recueils de données des logiciels. Or, cet apprentissage serait très chronophage pour les cliniciens.

De plus, la plupart des logiciels cités dans les articles analysés ici sont disponibles uniquement en anglais. C'est par exemple le cas de la plateforme open-source NeuroVR qui, si elle propose des environnements virtuels gratuits, n'est pas disponible en français.

### **3.5. Limites de la RV dans la rééducation de la mémoire en orthophonie : synthèse**

La RV semble être un outil thérapeutique efficace d'une grande validité écologique qui permet de transférer les apprentissages à des tâches réelles. Cependant, les logiciels actuellement disponibles restent coûteux et compliqués à manipuler pour des professionnels non formés à la programmation informatique. Par ailleurs, la majorité des logiciels de rééducation en RV ne sont disponibles qu'en anglais. En outre, le nombre de pré-requis nécessaires et le risque du mal du virtuel réduisent le nombre de patients qui pourraient bénéficier de cet outil. Ces arguments constituent des freins importants à l'utilisation de la RV dans la pratique des orthophonistes. Des essais thérapeutiques et des améliorations dans l'élaboration des logiciels en RV semblent encore nécessaires pour pouvoir proposer des protocoles de rééducation adaptés et utilisables dans la pratique clinique.

## **4. Limites de ce mémoire**

### **4.1. Hétérogénéité des articles**

#### **4.1.1. Hétérogénéité des types d'articles**

Cette revue de la littérature portait sur 25 articles. Ces articles présentaient une grande hétérogénéité. En effet, les articles étaient de plusieurs types : des revues de la littérature, des études expérimentales, des études pilotes, etc. Or, ces différents articles ne fournissent pas tous le même niveau de preuve. Ainsi, une étude de faisabilité ayant pour but de démontrer qu'une expérimentation est possible auprès d'une population donnée n'aura pas le même impact qu'une étude expérimentale visant à démontrer l'efficacité d'un traitement. Pareillement, les résultats des revues de la littérature sont plus fiables que les résultats d'une seule étude expérimentale. En effet, les revues de la littérature synthétisent les données de plusieurs études afin de répondre à une question préétablie et présentent donc moins de risque de biais.

De plus, des articles qui ne traitaient pas exclusivement de la rééducation de la mémoire ont été inclus dans cette revue de la littérature. Ainsi, certaines études traitaient plus largement de la rééducation des fonctions cognitives en RV lorsque ces études abordaient également les fonctions mnésiques. Le but était de réaliser une revue de la littérature la plus exhaustive possible dans le cadre de la rééducation de la mémoire. La lecture de ces articles a permis de constater que la RV pouvait être un outil thérapeutique efficace pour des fonctions cognitives autres que la mémoire (l'attention, les fonctions exécutives). Cela a aussi montré que rééduquer les fonctions cognitives dans leur globalité dans des tâches en RV pouvait améliorer plusieurs fonctions cognitives simultanément (Gamito et al., 2015; Kim et al., 2011;

Tsang et Man, 2013). Il sera donc intéressant de prendre en compte ces données dans la rééducation des patients.

#### **4.1.2. Hétérogénéité des protocoles de rééducation en RV**

Les protocoles présentés dans les études étaient très hétérogènes. Ainsi, les entraînements pouvaient ne durer qu'une séance (Cameirão et al., 2016; Monteiro-Junior et al., 2017) ou bien 2 séances par semaine pendant 4 semaines (Mathews et al., 2016) ou encore 2 à 3 fois par semaine pendant 6 mois (Optale et al., 2010). De même, les durées des séances étaient extrêmement variables (entre 15 minutes et 90 minutes). Qui plus est, certains auteurs prévoyaient quelques minutes voire une séance entière afin de permettre aux participants de se familiariser avec la RV alors que d'autres ne proposaient pas cet entraînement préliminaire.

De plus, les logiciels et interfaces utilisés dans les études étaient très différents. En effet, certains auteurs ont proposé des interfaces non spécifiques à la RV, comme par exemple un ordinateur avec une souris ou les touches fléchées du clavier pour permettre la navigation dans l'environnement virtuel. D'autres, en revanche, ont utilisé des systèmes plus complexes, comme le système OctaVis qui immergeait les participants dans un environnement virtuel affiché à 360°. De plus, de nombreux logiciels et plateformes de développement ont été utilisés afin de créer les tâches virtuelles. On peut par exemple citer Virtools et Driv3r, ou encore Unity 3D.

Cette grande hétérogénéité ne permet pas d'observer une reproductibilité des résultats pour un protocole donné. Il sera donc compliqué d'extraire des recommandations spécifiques pour la rééducation de la mémoire en RV à l'issue de cette revue de la littérature. Par ailleurs, bien que les auteurs suggèrent que leurs programmes en RV permettent une amélioration de la mémoire, les critères ayant motivé leur choix pour un outil plutôt que pour un autre n'étaient pas renseignés. Le coût des logiciels était-il pris en compte ? Quel budget prévoir pour l'installation d'un système OctaVis ? Les auteurs n'ont pas développé ces questions qui sont pourtant essentielles pour aider les orthophonistes à adopter la RV dans leur pratique clinique.

#### **4.1.3. Hétérogénéité des populations étudiées**

Les populations étudiées variaient également en fonction des études. Tout d'abord, le nombre de sujets étudiés était variable, allant de l'étude d'un cas unique (Caglio et al., 2012) à des études portant sur des groupes de 10 participants (Gamito et al., 2015) ou encore des groupes de 25 participants (Tsang et Man, 2013).

De plus, certains auteurs ont proposé des protocoles de rééducation à des patients schizophrènes tandis que d'autres ont étudié l'effet d'un programme en RV auprès de patients épileptiques. Des patients cérébrolésés (traumatisme crânien, AVC) ont également été étudiés, de même que des patients présentant des pathologies neurodégénératives (déficit cognitif léger, par exemple). D'autres auteurs n'ont pas indiqué le type de pathologie que présentaient les participants (Monteiro-Junior et al., 2017). De ce fait, le niveau de preuve de ces études reste limité. D'autres études similaires devraient être menées afin de s'assurer de la reproductibilité des résultats. Toutefois, la diversité des pathologies étudiées peut être intéressante car elle permet de montrer que la thérapie en RV peut être proposée à des patients ayant des profils très hétérogènes.

De même, les participants des études avaient des âges très différents, allant de 22 ans à 80 ans. Cela a toutefois permis de montrer que si les sujets jeunes s'accoutument facilement aux environnements virtuels, les sujets âgés peuvent également rapidement se familiariser

avec cette technologie. Ce constat est intéressant et va à l'encontre d'une des hypothèses formulées au début de ce mémoire.

Pour résumer, les articles présentaient une grande variabilité au niveau de leurs structures, de leurs protocoles de rééducation, du matériel utilisé et des participants étudiés. Ainsi, bien que cette revue de la littérature conduise à conclure que la RV est un outil thérapeutique utile et efficace dans le domaine de la mémoire, il est compliqué d'en extraire des recommandations de pratique précises pour la clinique en termes de matériel, de tâches et d'intensité de la thérapie.

## **4.2. Sujets non traités dans ce mémoire**

Ce mémoire se focalisait sur la rééducation des fonctions mnésiques chez les adultes. Les études traitant de ce sujet chez les enfants ou les adolescents n'ont pas été incluses dans cette revue de la littérature. En effet, le cerveau des enfants et des adolescents est encore en développement et les mécanismes de plasticité cérébrale sont donc différents de ceux d'un cerveau adulte. Il pourrait donc être intéressant de réaliser une revue de la littérature sur la rééducation de la mémoire ou d'autres fonctions cognitives chez les enfants dans un futur mémoire.

Ensuite, la recherche d'articles s'est uniquement faite sur des banques de données réputées : PubMed, Cochrane et Cairn. Ces banques de données indexent des études validées par un processus de revue par les pairs. Elles ont donc permis de trouver des études sérieuses aux résultats fiables. Néanmoins, ce critère a pu limiter le nombre d'articles trouvés et analysés dans ce mémoire.

De même, seules les études disponibles en anglais et en français ont été sélectionnées pour cette revue de la littérature. Il est donc possible que des études publiées dans d'autres langues n'aient pas été traitées dans ce mémoire.

L'efficacité de la RV dans le cadre de l'évaluation de la mémoire n'a pas été abordée ici. Or, cette revue de la littérature a montré la validité écologique de la RV. Il est donc possible que l'évaluation en RV présente un grand intérêt clinique. En effet, une épreuve en RV permettrait d'évaluer les patients dans une situation proche de la vie quotidienne. Ainsi, les cliniciens pourraient observer quelles tâches sont compliquées pour les patients avec une plus grande précision qu'une tâche classique comme un empan de chiffres. Les tâches en RV pourraient également mettre en évidence les stratégies de compensation mises en place par les patients. Ainsi, la RV pourrait permettre d'élaborer un projet thérapeutique davantage en lien avec le quotidien des patients. L'évaluation dans une tâche en RV pourrait également être moins anxiogène pour les patients. En effet, les épreuves papier crayon peuvent renvoyer à des situations d'évaluation scolaire ou confronter les patients à leurs difficultés. Au contraire, les patients démontrent un intérêt pour la RV et trouvent les tâches virtuelles motivantes. Ces tâches mettraient donc les patients en confiance et éviteraient de les placer en situation d'échec. Il conviendra de vérifier ces hypothèses dans de futurs travaux avant d'intégrer ces outils à la pratique clinique des orthophonistes.

## **Conclusion**

Ce mémoire avait pour but d'identifier les intérêts et les limites de la RV dans le cadre de la rééducation de la mémoire. Une revue de la littérature a été réalisée sur PubMed, Cochrane et Cairn en vue de répondre à ces questions. Une hypothèse était que la RV était un

outil efficace pour la rééducation de la mémoire. Une autre hypothèse était que la RV pouvait permettre une meilleure maîtrise de la tâche proposée, mais que des connaissances préalables en informatique étaient nécessaires pour pouvoir utiliser cet outil. Enfin, une dernière hypothèse était que le coût des équipements en RV pouvait représenter un obstacle à l'utilisation de la RV.

25 articles ont été identifiés et analysés afin de vérifier ces hypothèses. Les conclusions de ces articles ont mis en évidence une amélioration de la mémoire des participants après une rééducation en réalité virtuelle. Des effets positifs de ces thérapies ont ainsi été rapportés en mémoire prospective, en mémoire visuospatiale et en mémoire épisodique. Ces résultats valident la première hypothèse et indiquent qu'une rééducation en RV peut améliorer les capacités mnésiques des patients.

De plus, suite à la lecture des articles, les principaux intérêts de la RV ont été relevés. En effet, la RV semble être un outil d'une grande validité écologique, contrairement aux tâches papier-crayon. La RV permettrait de concevoir des tâches ressemblant à la vie réelle. Elle serait donc intéressante pour la généralisation des apprentissages et pour leur transfert à des tâches de la vie quotidienne. Ensuite, de nombreux paramètres seraient modulables en RV, tels que la durée de l'épreuve ou le nombre de distracteurs. Cela permettrait de créer des tâches individualisées et adaptées à chaque patient. Par ailleurs, la RV permettrait un travail thérapeutique pluridisciplinaire et ouvrirait la possibilité d'entreprendre des rééducations à distance. Ainsi, les orthophonistes pourraient plus facilement proposer des thérapies intensives. A ce titre, la RV s'inscrirait dans l'évolution des pratiques professionnelles des orthophonistes.

Néanmoins, certains obstacles à l'utilisation de la RV dans la clinique ont été identifiés. Tout d'abord, le prix des équipements, et notamment des logiciels, reste élevé. Ensuite, certains patients peuvent être sujets au mal du virtuel, surtout s'ils ont des troubles visuels et oculomoteurs associés. De plus, plusieurs pré-requis sont nécessaires pour pouvoir entreprendre une rééducation de la mémoire en RV. La concurrence entre les développeurs des programmes en RV pose également problème car elle entraîne la prolifération de logiciels qui deviennent rapidement obsolètes. En outre, les orthophonistes sont peu formés à la programmation informatique et pourraient donc être rebutés par la complexité des logiciels dont les interfaces sont peu intuitives.

Enfin, ce mémoire présente certaines limites. Pour commencer, les articles passés en revue ici comportent des biais qui ont pu altérer la qualité de leurs résultats. Ensuite, la grande hétérogénéité des articles ne permet pas de s'assurer de la reproductibilité de leurs résultats. Il est donc compliqué d'extraire des recommandations de pratique clinique précises à l'issue de cette revue de la littérature. Enfin, certaines questions restent encore à explorer, comme la rééducation de la mémoire chez les enfants et les adolescents, qui n'a pas été abordée ici. Il serait également intéressant d'étudier quelle place l'évaluation de la mémoire en RV pourrait occuper dans la pratique clinique des orthophonistes.

## **Bibliographie**

Aiken, M. P., & Berry, M. J. (2015). Posttraumatic stress disorder: possibilities for olfaction and virtual reality exposure therapy. *Virtual Reality, 19*(2), 95-109.

<https://doi.org/10.1007/s10055-015-0260-x>

Bohil, C. J., Alicea, B., & Biocca, F. A. (2011). Virtual reality in neuroscience research and therapy. *Nature Reviews Neuroscience*, *12*(12), 752-762.

<https://doi.org/10.1038/nrn3122>

Caglio, M., Latini-Corazzini, L., D'Agata, F., Cauda, F., Sacco, K., Monteverdi, S., ...

Geminiani, G. (2012). Virtual navigation for memory rehabilitation in a traumatic brain injured patient. *Neurocase*, *18*(2), 123-131.

<https://doi.org/10.1080/13554794.2011.568499>

Camara Lopez, M., & Cleeremans, A. (2016). Chapitre 18 : Intérêts et limites de la réalité virtuelle en revalidation neuropsychologique. In *Traité de neuropsychologie clinique de l'adulte* (Vol. 2). De Boeck Supérieur.

Cameirão, M. S., Faria, A. L., Paulino, T., Alves, J., & Bermúdez i Badia, S. (2016). The impact of positive, negative and neutral stimuli in a virtual reality cognitive-motor rehabilitation task: a pilot study with stroke patients. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, *13*, 70. <https://doi.org/10.1186/s12984-016-0175-0>

Chan Christopher L. F., Ngai Elena K. Y., Leung Paul K. H., & Wong Stephen. (2009). Effect of the adapted virtual reality cognitive training program among Chinese older adults with chronic schizophrenia: a pilot study. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, *25*(6), 643-649. <https://doi.org/10.1002/gps.2403>

Cherniack, E. P. (2011). Not just fun and games: applications of virtual reality in the identification and rehabilitation of cognitive disorders of the elderly. *Disability and Rehabilitation. Assistive Technology*, *6*(4), 283-289.

<https://doi.org/10.3109/17483107.2010.542570>

Czerniak, E., Caspi, A., Litvin, M., Amiaz, R., Bahat, Y., Baransi, H., ... Plotnik, M. (2016). A Novel Treatment of Fear of Flying Using a Large Virtual Reality System. *Aerospace Medicine and Human Performance*, *87*(4), 411-416.

<https://doi.org/10.3357/AMHP.4485.2016>

Delis, D. C., Kramer, J., Kaplan, E., & Ober, B. A. (2000). *CVLT-II: California verbal learning test: adult version*. Psychological Corporation.

Deschamps, R., & Moulignier, A. (2005). La mémoire et ses troubles. *EMC - Neurologie*,



- 2(4), 505-525. <https://doi.org/10.1016/j.emcn.2005.07.003>
- e-orthophoniste.com. (s. d.). Consulté 10 mars 2018, à l'adresse <https://www.e-orthophoniste.com>
- Faria, A. L., Andrade, A., Soares, L., & Badia, S. B. (2016). Benefits of virtual reality based cognitive rehabilitation through simulated activities of daily living: a randomized controlled trial with stroke patients. Consulté 23 janvier 2018, à l'adresse <https://www-ncbi-nlm-nih-gov.doc-distant.univ-lille2.fr/pmc/articles/PMC5094135/>
- Fuchs, P., & Klinger, E. (2006). Applications de la réalité virtuelle aux troubles cognitifs et comportementaux. In *Traité de la réalité virtuelle* (Vol. 4, p. 119-145). Presses de l'École des Mines Paris.
- Fuchs, Philippe, & Moreau, G. (2003). *Le traité de la réalité virtuelle : l'interface, l'immersion et l'interaction en environnement virtuel* (Vol. 2). Presses de l'École des Mines.
- Gamito, P., Oliveira, J., Coelho, C., Morais, D., Lopes, P., Pacheco, J., ... Barata, A. F. (2015). Cognitive training on stroke patients via virtual reality-based serious games. *Disability and Rehabilitation*, 39(4), 385-388. <https://doi.org/10.3109/09638288.2014.934925>
- García-Betances, R. I., Jiménez-Mixco, V., Arredondo, M. T., & Cabrera-Umpiérrez, M. F. (2015). Using Virtual Reality for Cognitive Training of the Elderly. *American Journal of Alzheimer's Disease & Other Dementias®*, 30(1), 49-54. <https://doi.org/10.1177/1533317514545866>
- Grewe, P., Lahr, D., Kohsik, A., Dyck, E., Markowitsch, H. J., Bien, C. G., ... Piefke, M. (2014). Real-life memory and spatial navigation in patients with focal epilepsy: Ecological validity of a virtual reality supermarket task. *Epilepsy & Behavior*, 31, 57-66. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2013.11.014>
- Grewe, Philip, Kohsik, A., Flentge, D., Dyck, E., Botsch, M., Winter, Y., ... Piefke, M. (2013). Learning real-life cognitive abilities in a novel 360°-virtual reality supermarket: a neuropsychological study of healthy participants and patients with epilepsy. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 10, 42. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-10-42>
- Haute Autorité de Santé. (2011). Maladie d'Alzheimer et maladies apparentées : diagnostic et

prise en charge.

- Howard, D., & Patterson, K. E. (1992). *The Pyramids and Palm Trees Test: A test of semantic access from words and pictures*. Thames Valley Test Company.
- Jacoby, M., Averbuch, S., Sacher, Y., Katz, N., Weiss, P. L., & Kizony, R. (2013). Effectiveness of executive functions training within a virtual supermarket for adults with traumatic brain injury: a pilot study. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering: A Publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 21(2), 182-190. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2012.2235184>
- Jollivet, M., Fortier, J., Besnard, J., Gall, D. L., & Allain, P. (2018). Neuropsychologie et technologies numériques, Neuropsychology and digital technologies. *Revue de neuropsychologie, me* 10(1), 69-81. <https://doi.org/10.1684/nrp.2018.0447>
- Kim, B. R., Chun, M. H., Kim, L. S., & Park, J. Y. (2011). Effect of Virtual Reality on Cognition in Stroke Patients. *Annals of Rehabilitation Medicine*, 35(4), 450-459. <https://doi.org/10.5535/arm.2011.35.4.450>
- Ku, J., Cho, W., Kim, J.-J., Peled, A., Wiederhold, B. K., Wiederhold, M. D., ... Kim, S. I. (2003). A Virtual Environment for Investigating Schizophrenic Patients' Characteristics: Assessment of Cognitive and Navigation Ability. *CyberPsychology & Behavior*, 6(4), 397-404. <https://doi.org/10.1089/109493103322278781>
- Lamargue-Hamel, D., Deloire, M., Saubusse, A., Ruet, A., Taillard, J., Philip, P., & Brochet, B. (2015). Cognitive evaluation by tasks in a virtual reality environment in multiple sclerosis. *Journal of the Neurological Sciences*, 359(1), 94-99. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2015.10.039>
- Le Gall, D., & Allain, P. (2001). Applications des techniques de réalité virtuelle à la neuropsychologie clinique. *Champ psychosomatique, no* 22(2), 25-38. <https://doi.org/10.3917/cpsy.022.0025>
- Lecouvey, G., Gonneaud, J., Eustache, F., & Desgranges, B. (2013). Les apports de la réalité virtuelle en neuropsychologie : l'exemple de la mémoire prospective, Contributions of virtual reality to neuropsychology: the case of prospective memory. *Revue de neuropsychologie, me* 4(4), 267-276.
- Lloyd, J., Riley, G. A., & Powell, T. E. (2009). Errorless learning of novel routes through a

- virtual town in people with acquired brain injury. *Neuropsychological Rehabilitation*, 19(1), 98-109. <https://doi.org/10.1080/09602010802117392>
- Maier, M., Bañuelos, N. L., Ballester, B. R., Duarte, E., & Verschure, P. F. M. J. (2017). Conjunctive rehabilitation of multiple cognitive domains for chronic stroke patients in virtual reality. In *2017 International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)* (p. 947-952). <https://doi.org/10.1109/ICORR.2017.8009371>
- Man, D. W. K., Chung, J. C. C., & Lee, G. Y. Y. (2012). Evaluation of a virtual reality-based memory training programme for Hong Kong Chinese older adults with questionable dementia: a pilot study. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, 27(5), 513-520. <https://doi.org/10.1002/gps.2746>
- Mathews, M., Mitrovic, A., Ohlsson, S., Holland, J., & McKinley, A. (2016). A Virtual Reality Environment for Rehabilitation of Prospective Memory in Stroke Patients. *Procedia Computer Science*, 96, 7-15. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.08.081>
- Monteiro-Junior, R. S., Figueiredo, L. F. da S., Maciel-Pinheiro, P. de T., Abud, E. L. R., Braga, A. E. M. M., Barca, M. L., ... Laks, J. (2017). Acute effects of exergames on cognitive function of institutionalized older persons: a single-blinded, randomized and controlled pilot study. *Aging Clinical and Experimental Research*, 29(3), 387-394. <https://doi.org/10.1007/s40520-016-0595-5>
- Morganti, F. (2004). Virtual interaction in cognitive neuropsychology. *Studies in Health Technology and Informatics*, 99, 55-70.
- Neuro VR 2.0. (s. d.). Consulté 6 mai 2018, à l'adresse <https://sites.google.com/site/neurovr2/>
- Optale, G., Urgesi, C., Busato, V., Marin, S., Piron, L., Priftis, K., ... Bordin, A. (2010). Controlling memory impairment in elderly adults using virtual reality memory training: a randomized controlled pilot study. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 24(4), 348-357. <https://doi.org/10.1177/1545968309353328>
- Pedroli, E., Serino, S., Cipresso, P., Pallavicini, F., & Riva, G. (2015). Assessment and rehabilitation of neglect using virtual reality: a systematic review. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2015.00226>
- Petit, L. (2010). Avant-Propos. *Que sais-je ?*, (350), 5-10.
- Plancher, G., Nicolas, S., & Piolino, P. (2008). Apport de la réalité virtuelle en

- neuropsychologie de la mémoire : étude dans le vieillissement. *Psychologie & NeuroPsychiatrie du vieillissement*, 6(1), 7-22. <https://doi.org/10.1684/pnv.2008.0119>
- Sauz on, H., N'Kaoua, B., Pala, P. A., Taillade, M., & Guitton, P. (2016). Age and active navigation effects on episodic memory: A virtual reality study. *British Journal of Psychology*, 107(1), 72-94. <https://doi.org/10.1111/bjop.12123>
- Seron, X., Rossetti, Y., Vallat-Azouvi, C., Pradat-Diehl, P., & Azouvi, P. (2008). La r education cognitive. *Revue Neurologique*, 164, Supplement 3, S154-S163. [https://doi.org/10.1016/S0035-3787\(08\)73307-1](https://doi.org/10.1016/S0035-3787(08)73307-1)
- Shin, H., & Kim, K. (2015). Virtual reality for cognitive rehabilitation after brain injury: a systematic review. *Journal of Physical Therapy Science*, 27(9), 2999-3002. <https://doi.org/10.1589/jpts.27.2999>
- Sohn, B. K., Hwang, J. Y., Park, S. M., Choi, J.-S., Lee, J.-Y., Lee, J. Y., & Jung, H.-Y. (2016). Developing a Virtual Reality-Based Vocational Rehabilitation Training Program for Patients with Schizophrenia. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 19(11), 686-691. <https://doi.org/10.1089/cyber.2016.0215>
- Spreij, L. A., Visser-Meily, J. M. A., Heugten, V., M, C., & Nijboer, T. C. W. (2014). Novel insights into the rehabilitation of memory post acquired brain injury: a systematic review. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00993>
- Table 8.5.d: Criteria for judging risk of bias. (s. d.). Consulté 9 mai 2018,   l'adresse [http://handbook-5-1.cochrane.org/chapter\\_8/table\\_8\\_5\\_d\\_criteria\\_for\\_judging\\_risk\\_of\\_bias\\_in\\_the\\_risk\\_of.htm](http://handbook-5-1.cochrane.org/chapter_8/table_8_5_d_criteria_for_judging_risk_of_bias_in_the_risk_of.htm)
- Tieri, G., Morone, G., Paolucci, S., & Iosa, M. (2018). Virtual reality in cognitive and motor rehabilitation: facts, fiction and fallacies. *Expert Review of Medical Devices*, 15(2), 107-117. <https://doi.org/10.1080/17434440.2018.1425613>
- Tsang, M. M. Y., & Man, D. W. K. (2013). A virtual reality-based vocational training system (VRVTS) for people with schizophrenia in vocational rehabilitation. *Schizophrenia Research*, 144(1), 51-62. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2012.12.024>
- Tulving, E. (1991). Chapter 1 : Concepts of Human Memory. In *Memory : Organization and*

*Locus of Change*. Oxford University Press.

Van der Linden, M., Wijns, C., Von Frenkell, R., Coyette, F., & Seron, X. (1989). Un questionnaire d'auto-évaluation de la mémoire (QAM) Editest.

Yip, B. C. B., & Man, D. W. K. (2009). Virtual reality (VR)-based community living skills training for people with acquired brain injury: A pilot study. *Brain Injury*, 23(13-14), 1017-1026. <https://doi.org/10.3109/02699050903379412>

Yip, B. C. B., & Man, D. W. K. (2013). Virtual reality-based prospective memory training program for people with acquired brain injury. *NeuroRehabilitation*, 32(1), 103-115. <https://doi.org/10.3233/NRE-130827>