



Département d'Orthophonie
Gabriel DECROIX

MEMOIRE

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

Hélène FAISANT

soutenu publiquement en juin 2018 :

**Orthophonie et réalité virtuelle : la rééducation
des fonctions exécutives
Recueil et analyse des 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

A Adèle et Diane.

Remerciements

Je tiens avant tout à remercier personnellement monsieur Yves Martin pour son soutien et son aide précieuse en tant que directeur de mémoire, madame Paula Dei Cas, pour avoir accepté d'être ma lectrice, ainsi que tous les membres de mon jury. Je tiens également à remercier Florie Donizetti et Marion Martin pour leur amitié et leurs nombreux échanges et partages autour de la réalité virtuelle. Je remercie aussi toute ma famille, pour leur amour et leur soutien inébranlable, ainsi que Bérénice, Astrid, Virginie, Solène, Brittany et tout mes amis de Lille et de Lyon pour avoir relu ce mémoire et m'avoir épaulée tout au long de ces deux dernières années, sûrement les plus dures de ce cursus en cinq ans. Enfin, je voudrais remercier Lucie qui a fait un travail merveilleux en tant qu'amie et marraine.

Résumé :

La réalité virtuelle est une technologie de plus en plus présente dans l'univers médical et paramédical. Parce qu'elle peut reproduire le réel, il semblerait que la réalité virtuelle soit une technique de rééducation idéale pour intervenir sur les fonctions exécutives de manière écologique et fonctionnelle. L'objectif de ce mémoire est donc de savoir quelle est l'efficacité de cette technique face aux troubles des fonctions exécutives.

Pour étudier cette question, nous avons réalisé une revue systématique de la littérature à partir des bases de données PubMed et Cochrane.

Au terme de ces recherches, 35 articles issus de la littérature ont été étudiés. Ces études sont variées en terme de nature, d'outils de réalité virtuelle utilisés, de méthodologie, mais également en terme de patients et de pathologies, avec cependant une prédominance des sujets âgés et cérébro-lésés.

Malgré quelques réserves, la réalité virtuelle s'avérerait être un outil spécifique, adaptable, immersif et motivant. Il semblerait que les fonctions exécutives soit l'un des domaines cognitifs les mieux rééduqués par la réalité virtuelle, notamment grâce à sa faculté à immerger le patient dans une imitation du réel.

Mots-clés :

Neuropsychologie – Orthophonie – Rééducation – Fonctions exécutives – Réalité virtuelle

Abstract :

Virtual reality has been an increasingly adopted technology in the medical and paramedical universe. Because it can replicate the real world, virtual reality seems to be an optimal rehabilitation technique in order to intervene on executive functions in an ecologically and operational manner. This study aims to evaluate this technique's efficacy behind executive function disorders.

To explore this point, we conducted a systematic review from Pubmed and Cochrane data bases.

At the end of this research, 35 studies reviewed from the scientific literature. These studies vary in terms of nature, virtual reality instruments, methodology, but also in terms of patients and pathologies, with a majority of elderly subjects with brain impairments.

Despite some concerns, virtual reality should be a precise, adaptable, immersive and stimulating instrument. Executive functions seem to be the cognitive domain most improved by virtual reality stimulation, particularly through its faculty to immerse the patient in an imitation of the real world.

Keywords :

Neuropsychology – Speech therapy – Rehabilitation – Executive functions – Virtual reality

Table des matières

Introduction.....	1
Contexte théorique, buts et hypothèses.....	2
1.Approche de la réalité virtuelle	2
1.1. Qu'est ce que la réalité virtuelle ?.....	2
1.2.Immersion et sentiment de présence.....	3
2.Les applications de la réalité virtuelle	4
3.Les applications de la réalité virtuelle dans le paramédical	4
3.1.En psychiatrie et psychothérapie.....	5
3.2.En neuropsychologie.....	5
3.2.1.Réalité virtuelle et évaluation neuropsychologique	5
3.2.2.Réalité virtuelle et réhabilitation.....	6
4.Les fonctions exécutives.....	7
5.But, hypothèses et objectifs	8
Méthode.....	9
1.Les mots clés de la recherche.....	10
2.Critères de sélection des articles.....	10
2.1.Les critères d'inclusion	10
2.2.Les critères d'exclusion	10
3.Modalités d'extraction des données.....	11
3.1.L'arbre décisionnel pour la sélection des articles.....	11
3.2.La grille de lecture des articles.....	12
3.3.Tableau d'extraction des données.....	12
4.Modalités d'évaluation de la qualité des études.....	13
4.1.Biais de sélection.....	13
4.2.Biais de confusion.....	13
4.3.Biais d'observation.....	13
4.4.Biais d'attrition.....	14
4.5.Biais de publication des résultats.....	14
Résultats.....	14
1.Tableau d'extraction des données.....	16
2.Résultats de la qualité des études à groupe contrôle.....	17
2.1.La sélection de la population initiale (biais de sélection).....	18
2.2.Répartition dans les groupes (biais de sélection).....	18
2.3.Effet du traitement (biais de confusion).....	19
2.4.Traitement des données (biais de détection).....	19
2.5.Évolution du nombre de participant (biais d'attrition).....	19
2.6.Résultats des études (biais de publication des résultats).....	19
3.Rééducation des fonctions exécutives par la réalité virtuelle dans les différentes études.19	
3.1.Les différents degré d'immersion et outils représentés.....	19
3.2.Quantité d'exposition à la réalité virtuelle proposée.....	20
3.3.Présentation de la population et des pathologies	20
3.4.Principaux résultats	21
Discussion.....	21
1.Discussion des résultats à la lumière des hypothèses.....	22
1.1.La rééducation par réalité virtuelle, une rééducation efficace ?.....	22
1.2.La rééducation par réalité virtuelle, une rééducation intuitive ?.....	23
1.3.La rééducation par réalité virtuelle, une rééducation motivante et attrayante ?.....	24
2.Discussion des résultats à la lumière de la littérature.....	25
2.1.La rééducation des fonctions exécutives inscrite dans la vie quotidienne du patient : la question du transfert.....	25

2.2.Les freins à la réalité virtuelle.....	26
3.Résultats divergents et hypothèses explicatives.....	27
3.1.Résultats divergents dans le corpus d'articles.....	27
3.2.Hypothèses explicatives.....	28
Conclusion.....	30
Bibliographie.....	31
Annexes.....	37

Introduction

La rééducation paramédicale est aujourd'hui confrontée à de nouveaux enjeux technologiques. En effet, la recherche scientifique évolue grâce à l'utilisation de nouvelles techniques, comme l'imagerie par résonance magnétique ou encore le scanner, apportant de nouvelles réponses sur le cerveau et son fonctionnement. Ainsi, il est essentiel que les rééducateurs puissent répondre aux nouvelles exigences des professionnels de santé, mais aussi des patients et de leurs familles quant à la gestion du quotidien et de l'autonomie. De ce fait, la rééducation a dû trouver de nouveaux outils afin de pouvoir suivre toutes les évolutions techniques. L'informatique et les nouvelles technologies ont alors progressivement investi la rééducation et ont permis la mise au point de systèmes d'aide informatisés de soutien aux personnes en difficulté dans leur quotidien. C'est ainsi qu'en 2010, pour pallier les contraintes de patients schizophrènes avec atteintes exécutives, Pijnenborg et al. ont utilisé la fonction SMS des téléphones afin de les aider dans la réalisation de chaînes comportementales telles que la prise d'un rendez-vous. Il convient également de citer le principe de synthèse vocale, particulièrement connu du grand public grâce à Stephen Hawking qui correspond à une technique informatique permettant de rendre audible n'importe quel texte écrit.

La psychiatrie et la neuropsychologie ont également intégré la technologie et l'informatique, mais malgré la multitude d'outils ainsi développés, de grandes difficultés persistent en ce qui concerne la rééducation en neuropsychologie ou en orthophonie. En effet, il apparaît complexe de parvenir à rééduquer de manière sélective des fonctions cognitives, telles que les fonctions exécutives, et de transférer les bénéfices de ce travail de la rééducation à la vie quotidienne. Une méthode semble pourtant émerger au sein de la communauté scientifique : la réalité virtuelle (Camara Lopez et Cleeremans, 2016).

Elle est devenue en quelques années un véritable fait de société. Pour exemple, toutes les grandes marques de téléphonie comme Samsung ou encore Apple, mettent sur le marché différents instruments de réalité virtuelle. En mars 2018, Steven Spielberg a réalisé un film dont le thème est cette technologie elle-même.

L'objectif de ce mémoire sera donc d'étudier les potentialités offertes par cet outil. La réalité virtuelle est-elle l'avenir de la rééducation? Nous tenterons donc de distinguer le fantasme de la réalité dans la rééducation des fonctions exécutives. Pour ce faire, après une présentation et une définition de la réalité virtuelle, nous relèverons les données trouvées dans la littérature scientifique concernant la rééducation des fonctions exécutives via la réalité virtuelle. Enfin, nous répondrons à la question de l'apport de cette technique dans le cadre de la rééducation orthophonique des fonctions exécutives.

Contexte théorique, buts et hypothèses

1. Approche de la réalité virtuelle

1.1. Qu'est ce que la réalité virtuelle ?

Dénommée « virtual reality » pour la première fois lors d'une conférence en 1989 par l'américain Jaron Lanier, la réalité virtuelle est une technologie dépendante des avancées techniques matérielles. Elle se trouve au carrefour de plusieurs domaines scientifiques, allant des sciences de l'ingénieur et de l'informatique pour la construction d'environnements virtuels, jusqu'aux sciences humaines, en passant par l'optique et par la neuropsychologie cognitive. En conséquence, avoir une définition unique de cet outil relève de l'impossible car chaque domaine scientifique a sa propre définition. Cependant, pour les besoins de ce mémoire, il a été choisi comme base, afin de bien comprendre la notion de réalité virtuelle, la définition proposée par Fuchs dans son *Traité de la Réalité Virtuelle* (2006). Selon lui, la réalité virtuelle serait « 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 et avec un ou des utilisateurs en immersion pseudo-naturelle par l'intermédiaire de canaux sensori-moteurs. ». Ce que Fuchs appelle « interface comportementale » est un ensemble de modules permettant la communication entre deux systèmes, sensoriel et moteur, dont l'utilisateur a besoin pour évoluer dans l'environnement virtuel mis à sa disposition. Le but de ces interfaces est de recréer des espaces dans lesquels les bases perceptives et motrices, qui sont à l'origine d'un comportement humain, sont utilisées.

Cependant, tous les jeux vidéo et autres activités sur ordinateur, smartphone ou tablette ne peuvent pas forcément être considérés comme étant de la réalité virtuelle. Ils ne seront donc pas pris en compte dans ce mémoire. En effet, pour parler de réalité virtuelle, l'utilisateur doit être acteur dans son environnement numérique. Il a alors plusieurs possibilités : observer l'environnement virtuel, le modifier, se déplacer à l'intérieur, entrer en contact avec d'autres utilisateurs ou avec l'application elle-même. Il s'agit ici d'être dans une démarche d'immersion et d'interaction entre l'homme et l'univers virtuel, ce qui n'est pas l'objectif des jeux vidéo classiques. Ainsi, réaliser une activité cognitive dans un environnement virtuel sans qu'il y ait une action physique de la part du sujet n'est pas une activité en réalité virtuelle.

Enfin, il est important de différencier réalité virtuelle et réalité augmentée. La réalité augmentée est souvent réalisée par un outil technologique qui permet d'interagir avec l'environnement réel via la réalité virtuelle. Dans le cas de la réalité augmentée, le monde réel reste un point central dans l'expérience du sujet. A l'inverse, lors d'une expérience en réalité virtuelle, le sujet n'a plus de contact avec le monde réel. Il est alors immergé dans un monde totalement virtuel. Pour comprendre le principe de réalité augmentée, prenons pour exemple la ville de Cherbourg qui a créé une application sur smartphone ou tablette permettant de visualiser en trois dimensions le château fort aujourd'hui disparu. Il suffit d'aller à l'endroit où il se trouvait et de lancer l'application pour voir alors apparaître sur l'appareil le château-fort reconstitué dans le paysage actuel. Il s'agit donc pour la réalité augmentée de mettre du réel

dans un environnement virtuel, certains paramètres dus à la présence du réel échappent alors au contrôle du rééducateur. C'est en cela que la réalité augmentée ne nous intéresse pas ici.

1.2. Immersion et sentiment de présence

Le principe d'immersion dans un monde virtuel est ce qui différencie la réalité virtuelle des autres activités vidéoludiques. Mais en quoi l'immersion est-elle un point fondamental dans la rééducation par réalité virtuelle?

L'immersion est, selon Slater et Wilbur (1997), une mesure objective des capacités d'un système informatique à offrir une illusion du réel. Cette notion est à différencier de celle de sentiment de présence. Ce sentiment est, selon Schuemie et Van der Straaten (2001), la perception psychique d'être présent physiquement dans l'environnement virtuel. Pour permettre à l'utilisateur d'avoir cette impression, les interfaces présentées dans le monde virtuel ne doivent pas rompre l'aspect naturel de l'utilisation d'un outil en réalité virtuelle. En effet, le sujet ne doit pas percevoir la présence d'une interface au moment où il l'utilise, donc elle ne doit pas interférer, ni dans ses déplacements, ni dans ses prises de décisions. Il s'agit de la transparence : c'est par elle que le sujet parvient à s'immerger dans l'environnement virtuel et c'est uniquement grâce à cette immersion que l'outil en réalité virtuelle atteint sa finalité, qui est, selon Klinger, Marié et Fuchs (2006), « de permettre à une personne (ou à plusieurs) utilisateur(s) une activité sensori-motrice et cognitive dans un monde artificiel et créé numériquement qui peut être imaginaire, symbolique ou une simulation de certains aspects du monde réel ».

L'immersion est donc dépendante du type d'outil virtuel utilisé. Il y a différentes manières de traiter l'immersion dans la réalité virtuelle : soit en capture des mouvements de la tête uniquement, en *head tracking*, soit en intégration totale des mouvements du corps, en *full body motion tracking*. Il existe alors trois outils immersifs principaux, comme illustrés en figure 1 :

- Le casque de réalité virtuelle, ou *Head Mounted Display* (HMD) : c'est un système qui se pose en casque devant les yeux du patient. Proche des yeux, ce système ne prend en compte que les mouvements de la tête. Pour interagir, il faudra un autre système de gants ou de joystick. Le HMD est aujourd'hui le système d'immersion qui demande le moins de place et qui est le plus abordable d'un point de vue financier.
- Le *powerwall immersive system* : il s'agit d'un très grand écran devant lequel se place le patient. Cet écran est pourvu de capteurs de mouvements, *full body motion tracking*, qui permettent au patient d'interagir avec le système.
- Le *Cave Automatic Virtual Environment* (CAVE) : c'est le système de réalité virtuelle qui demande le plus d'équipement, voire une pièce qui lui soit entièrement dédiée. C'est aussi le plus onéreux. Le CAVE est un grand box qui contient quatre à six écrans actifs. Ces écrans sont combinés à des lunettes 3D ainsi qu'à un capteur des mouvements de la tête qui permettent de transmettre à l'utilisateur les bonnes images en fonction de son point de vue et à un capteur de mouvements du corps pour se déplacer et interagir avec l'interface.

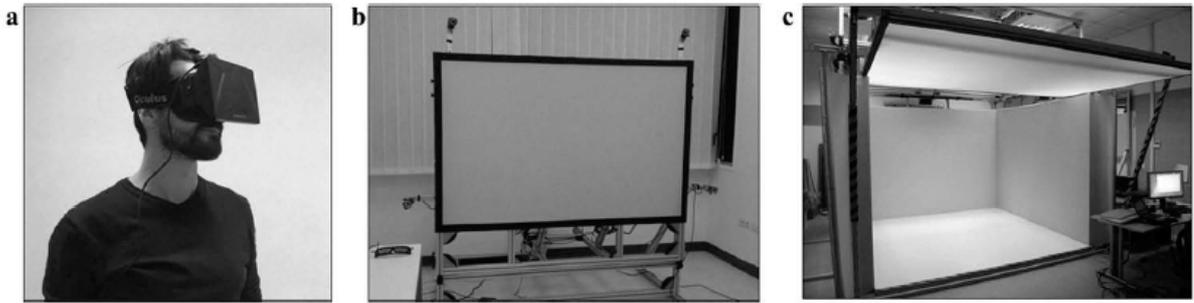


Figure 1 : Les trois principaux types de RV : en a) le HMD, en b) le powerwall immersive system et en c) le CAVE (d'après G. Tieri, Morone, Paolucci et Iosa, 2018).

Ainsi, dans la réalité virtuelle, l'immersion dépendrait des outils utilisés qui seront plus ou moins immersifs. Selon certains auteurs (Weiss, Rand, Katz et Kizony, 2004), elle serait un facteur important pour accéder au sentiment de présence qui serait la condition nécessaire pour une rééducation optimale.

2. Les applications de la réalité virtuelle

La réalité virtuelle a pour objectif de simuler « différents aspects de la réalité pour mieux les appréhender » (Fuchs, 2006). Elle trouve diverses applications dans différents domaines :

- **Information et formation** : la réalité virtuelle permet de réaliser des tâches sans danger, simuler des scénarii, tels que des accidents, et avoir une représentation plus précise de la réalité.
- **Activités commerciales** : la réalité virtuelle permet d'étudier et de comparer différents aménagements de projets.
- **Industrie, architecture etc.** : la réalité virtuelle permet de visualiser un produit fini et de le mettre en situation. Elle trouve également sa place dans la surveillance des centrales nucléaires.
- **Médecine** : la réalité virtuelle a permis de développer l'imagerie en trois dimensions pour mieux préparer les médecins à différentes opérations, former les étudiants en médecine aux gestes médicaux en tout sécurité, mais également permettre l'étude de différentes maladies orphelines.

Les applications de la réalité virtuelle dans des domaines autres que ludiques sont donc extrêmement variées et ont toutes pour objectif de procurer une véritable expérience du réel quand la mise en situation *in vivo* est impossible. Dès lors, la réalité virtuelle est susceptible de trouver une application en matière de rééducation.

3. Les applications de la réalité virtuelle dans le paramédical

Compte tenu du stade expérimental auquel elle est cantonnée dans l'immédiat, en particulier à cause de lacunes méthodologiques et de protocoles trop différents, il est encore difficile de se positionner sur l'efficacité de cette technique dans le cadre clinique (Camara

Lopez et Cleeremans, 2016). Cependant, la réalité virtuelle est un outil qui a déjà investi de nombreux domaines de la recherche paramédicale.

3.1. En psychiatrie et psychothérapie

L'entraînement en réalité virtuelle s'est étendu au domaine de la psychothérapie et de la psychiatrie. Cette technologie permet en effet de créer des environnements, des espaces virtuels, mais aussi des stimuli difficiles à reproduire en situation réelle, et a ainsi fait ses preuves dans le traitement de la phobie et de l'anxiété. Il s'agit par exemple de placer les sujets dans un environnement virtuel où ils seront exposés à des stimuli angoissants de manière répétée et graduelle. Dans l'expérience conduite par Czerniak et al. (2016), les sujets phobiques du vol aérien vivent virtuellement un vol en avion. Si les phobies sont habituellement traitées par diverses thérapies cognitives comportementales en association avec une exposition, dans ce cas précis seule la réalité virtuelle permet d'accéder à la mise en situation en toute sécurité.

De la même façon, c'est suite aux événements du 11 septembre 2001 que des chercheurs américains ont commencé à s'intéresser à l'utilisation de la réalité virtuelle auprès de personnes témoins d'événements terroristes ou de militaires ayant subi un choc post-traumatique (Rizzo et al., 2015). Ils ont montré qu'une réexposition répétée et graduelle à la situation ayant entraîné un stress post-traumatique aidait à la réduction des symptômes.

La réalité virtuelle a également été utilisée dans le cadre des thérapies comportementales et le traitement des troubles des conduites alimentaires et sexuelles, de l'autisme ou encore des addictions (Klinger, Marié et Viaud-Delmon, 2006).

Il convient enfin d'évoquer les recherches sur les méthodes de réinsertion professionnelle, telles que celles de Sohn et al. (2016) qui ont appliqué les techniques de réalité virtuelle à des patients schizophrènes en créant un programme d'entraînement professionnel spécialement adapté à ceux-ci. Ce programme confrontait les patients à différents scénarii inspirés du réel, leur permettant ainsi d'expérimenter diverses situations prévisibles et d'utiliser des réponses appropriées.

3.2. En neuropsychologie

La réalité virtuelle permet d'établir un schéma précis du fonctionnement cognitif et comportemental des personnes non-pathologiques et des personnes atteintes de troubles neuropsychologiques. Il devient ainsi possible de les comparer et d'intervenir directement sur ces dysfonctionnements, afin de permettre à un individu de surmonter ses handicaps. Différents outils existent déjà, mais ils ont tous leurs limites, comme évaluer et rééduquer les capacités cognitives dans des actes de la vie quotidienne (Le Gall, Besnard, Louisy, Richard et Allain, 2008). Ainsi, la réalité virtuelle semble être un bon moyen de remédier à ces difficultés.

3.2.1. Réalité virtuelle et évaluation neuropsychologique

L'évaluation neuropsychologique poursuit deux objectifs. D'une part, elle cherche à mettre en évidence les fonctions cognitives altérées, et d'autre part, elle évalue les compétences préservées du patient sur lesquelles la rééducation pourra s'appuyer. Comme le soulignent Déjos, Sauzéon et N'kaoua (2012), il est essentiel de mesurer les compétences du patient en rapport avec le monde qui l'entoure, l'évaluation est alors dite écologique. Or, en neuropsychologie, beaucoup d'outils existant créent un décalage entre la situation d'évaluation

et la vie réelle du patient. La réalité virtuelle, par sa capacité à imiter le réel, ne serait pas sujette à ce décalage.

De plus, l'évaluation des fonctions cognitives est souvent faite à partir de tests de type « papier/crayon » qui, par nature, manquent de fidélité (Le Gall et Allain, 2001). Un test est considéré comme fidèle si ses résultats sont identiques quel que soit le moment où il est réalisé et quel qu'en soit l'administrateur. Or, dans un test « papier/crayon », les résultats peuvent être dépendants de l'administrateur ou la maîtrise du temps pas suffisamment précise. Par ailleurs, toujours selon Le Gall et Allain, ce type de tests ne permettrait pas de garantir la meilleure validité possible, c'est-à-dire sa capacité à mesurer spécifiquement ce que l'on cherche à tester. Certains auteurs suggèrent donc que l'utilisation de tests en réalité virtuelle permettrait de contrôler et de calculer tous les paramètres, afin d'avoir une meilleure maîtrise des résultats (Plancher, Nicolas et Piolino, 2008). Il serait dès lors aisé d'identifier avec exactitude, selon le modèle cognitif choisi, les modules cognitifs endommagés ainsi que ceux encore efficaces. Adams, Finn, Moes, Flannery et Rizzo (2009) ont identifié les déficits attentionnels chez les enfants porteurs de troubles déficitaires de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDA-H). Pour permettre cette étude, les auteurs ont recréé une salle de classe virtuelle dans laquelle ils ont placé des enfants porteurs d'un TDA-H avant d'identifier, mesurer et contrôler avec précision leurs réactions en les comparant au groupe contrôle.

En créant une multitude d'environnements virtuels et de tâches proches du réel, et en plaçant le patient dans la situation la plus proche de sa vie quotidienne, la réalité virtuelle permettrait donc de réaliser l'évaluation la plus écologique et la plus précise possible.

3.2.2. Réalité virtuelle et réhabilitation

En matière de rééducation, l'un des principes premiers de toute prise en charge est de réduire au maximum l'impact des séquelles fonctionnelles et de restaurer, ou de maintenir, au mieux l'indépendance du patient dans sa vie quotidienne. Les outils traditionnellement utilisés en neuropsychologie ont, à l'instar des outils d'évaluation, été critiqués à cause de leur manque de validité écologique. En effet, selon Le Gall et Allain (2001), ces outils ne permettent pas de maîtriser l'ensemble des variables nécessaires à la rééducation. Il semblerait alors que la rééducation par réalité virtuelle présente ici encore de nombreux avantages par rapport aux méthodes classiques, bien qu'il existe quelques inconvénients et limitations.

D'abord, tout comme pour l'évaluation, la réalité virtuelle fournirait aux patients une rééducation spécifique et fonctionnelle : l'ensemble des paramètres qui ne peuvent pas être contrôlés dans la réalité (une distraction, la luminosité, les passants, la complexité de la tâche) seraient ici soumis à une gestion stricte du rééducateur. Ce dernier pourrait ainsi réaliser une étude précise des compétences et des progrès du patient, en prenant en compte l'impact de chaque stimulus sur ses performances et dispenserait ainsi au patient une rééducation avec des difficultés croissantes. Le rééducateur deviendrait alors capable, grâce à la réalité virtuelle, d'adapter l'environnement virtuel proposé aux différentes contraintes du patient, qu'elles soient physiques, psychiques ou liées à l'âge.

La réalité virtuelle peut également se coupler avec la plupart des rééducations déjà existantes. Ainsi, de nouveaux modes de rééducation commencent à émerger. Yamaguchi, Foloppe, Richard, Richard et Allain (2012) théorisent la rééducation par « l'apprentissage sans erreur ». Ce type de rééducation, déjà utilisée dans certains domaines de l'orthophonie comme

la rééducation de la dyslexie, consiste à permettre au patient de trouver la réponse correcte en lui évitant de passer par une ou plusieurs réponses fausses. Dans leur étude, Yamaguchi et ses collaborateurs appliquent cette rééducation à des patients atteints de la maladie d'Alzheimer. Ils ont rapporté que, grâce à la réalité virtuelle, les indices et les aides pouvaient être donnés et enlevés au fur et à mesure sans risquer l'erreur. Les résultats montrent une amélioration significative des performances des patients par rapport au groupe contrôle après ce type d'apprentissage en réalité virtuelle.

Par ailleurs, Joseph, Sorita et al. (2010) soulignent que le caractère ludique des activités proposées en réalité virtuelle augmentent la motivation du patient à continuer les exercices qui lui sont proposés.

Camara Lopez et Cleeremans (2016) décrivent cependant trois critiques à propos de la rééducation par réalité virtuelle :

- La contrainte économique : pour parvenir à utiliser une application en réalité virtuelle, il faut posséder le matériel, composé d'un ordinateur et d'une interface sensori-motrice, et le logiciel spécialement développé. Ces deux éléments ont un coût assez élevé en raison du besoin de qualité.
- La notion de « mal virtuel » lié au matériel utilisé et à l'activité.
- Une formation spécifique pour pouvoir utiliser correctement le logiciel de réalité virtuelle. Or, le personnel soignant n'est généralement pas formé à cette technologie dont l'emploi peut se révéler trop complexe pour un professionnel n'ayant aucune compétence en informatique.

Malgré quelques limites, la réhabilitation par la réalité virtuelle a déjà largement investi la recherche dans les différents sujets de la neuropsychologie comme la mémoire, l'attention et les fonctions exécutives, notamment dans la rééducation de la planification.

4. Les fonctions exécutives

Les fonctions exécutives sont des fonctions supportées par des structures corticales et sous-corticales, appelées également capacités cognitives de haut niveau. Ce sont les capacités nécessaires à une personne pour s'adapter à une situation nouvelle, complexe et non-automatique nécessitant la réalisation d'un plan d'action pour résoudre un problème posé pour lequel elle n'a pas de schéma d'action prédéfini.

Grâce à l'imagerie fonctionnelle et aux progrès de la science, les scientifiques ont pu identifier plus précisément ces fonctions ainsi que leur localisation. Meulemans (2008) détermine ainsi cinq fonctions exécutives :

- **L'inhibition** : elle assure le contrôle, en empêchant une réponse automatique et inadaptée. Elle permet non seulement la discrimination entre la cible et les distracteurs, mais elle a aussi une fonction de tri en empêchant les informations non pertinentes d'entrer dans notre mémoire et en supprimant les informations qui ont été pertinentes auparavant mais qui ne sont plus d'actualité.
- **La flexibilité** : c'est la capacité à désengager son focus attentionnel d'une tâche pour le réorienter de manière volontaire vers une autre.
- **La déduction de règle et l'élaboration conceptuelle** : elles permettent de réaliser une activité de classement suivant une règle logique.

- **La planification** : il s'agit de la capacité à réaliser une série d'actions tournées vers un but.
- **La mémoire de travail** : c'est la capacité à maintenir une information en mémoire à court terme et à la manipuler.

D'un point de vue orthophonique, ces fonctions coordonnent l'ensemble des opérations cognitives dont le langage, le calcul ou encore la mémoire. Mais, suite à une lésion cérébrale, des troubles de ces processus cognitifs peuvent se manifester, entraînant alors des difficultés d'adaptation et de gestion des situations non ordinaires. La perte de ces fonctions exécutives est appelée trouble dysexécutif et comporte deux facettes : l'une comportementale où le patient éprouvera des difficultés à prendre des initiatives, à s'inhiber ou encore à se désengager d'une tâche, l'autre cognitive avec surtout des difficultés en mémoire de travail et d'organisation du discours. Il est facile d'imaginer en quoi ce trouble dysexécutif peut affecter le langage et entraîner, par exemple, l'incapacité à inhiber les réponses automatiques lors de la recherche d'un mot-cible. Mais il peut aussi avoir des conséquences sur le discours, par la non-organisation d'un récit cohérent suivant une continuité thématique et une progression rhématique. Enfin, il peut toucher de manière plus large la communication, le sujet n'étant pas en capacité de s'adapter à son interlocuteur, faute de flexibilité mentale.

Sur une population plus jeune, Gathercole, Alloway, Willis et Adams (2006) ont démontré qu'un déficit au niveau des fonctions exécutives, notamment en mémoire de travail, entraîne une limitation des capacités d'apprentissage en mathématiques mais aussi en lecture. Ce lien entre trouble des fonctions exécutives et difficultés dans les apprentissages est également corroboré par Boulc'h, Gaux et Boujon (2007), qui ont étudié l'implication des fonctions exécutives dans le processus de décodage en lecture. Les résultats de cette étude montrent qu'ajouter une activité nécessitant l'utilisation d'un contrôle exécutif, lors d'une tâche de sélection pure, entraîne un allongement du temps de réponse des enfants qui ont un faible niveau de lecture. Les auteurs en déduisent que les lecteurs faibles auraient des difficultés pour gérer les mécanismes complexes qui sont activés lors d'une tâche comme la lecture. En conséquence, il relève du rôle de l'orthophoniste d'intervenir auprès de ces patients.

Les fonctions exécutives sont donc des structures essentielles dans la plupart des actions de la vie quotidienne et sont nécessaires à l'autonomie de la personne. C'est pourquoi la réhabilitation de ces fonctions devrait pouvoir s'ancrer dans le quotidien de la personne et être écologique. Dans ce cadre, les possibilités offertes par la réalité virtuelle en font un outil performant de rééducation.

5. But, hypothèses et objectifs

Si la réalité virtuelle occupe une place de choix en neuropsychologie, comment cette technique de rééducation est-elle appliquée dans le cadre des fonctions exécutives et qu'en est-il de son utilisation dans le domaine de l'orthophonie ?

- **Objectif stratégique** : comprendre dans quelle mesure la réalité virtuelle, dans le cadre de la rééducation des fonctions exécutives, trouve sa place en orthophonie.

- **Objectifs opérationnels :**

- Collecter des données concernant la rééducation des fonctions exécutives par la réalité virtuelle.
- Appréhender l'utilisation thérapeutique de la réalité virtuelle dans le cadre de la rééducation des fonctions exécutives.
- Observer l'efficacité des résultats de la réalité virtuelle.

Nous émettons les hypothèses suivantes :

- 1) La réalité virtuelle permettrait un travail plus écologique dans le cadre de la rééducation des fonctions exécutives et donc un meilleur transfert à la vie quotidienne.
- 2) De par sa nature intuitive, le fait d'avoir peu ou pas d'expérience en terme d'informatique ne serait pas un obstacle à l'utilisation de la réalité virtuelle.
- 3) La réalité virtuelle serait un outil attrayant et motivant qui permettrait une meilleure participation des patients.

Méthode

La recherche de références d'articles a été réalisée dans un premier temps à partir de la base de données scientifiques PubMed. Elle a ensuite été complétée par une recherche sur la base Cochrane. Certains articles, qui ne sont référencés ni sur PubMed ni sur Cochrane ont été ajoutés à la sélection, notamment pour avoir des informations supplémentaires sur des outils ou des notions importantes pour la conduite de cette revue de la littérature. Il s'agissait d'articles cités à plusieurs reprises dans le corps d'articles référencés.

Pour l'obtention du texte des articles, la recherche s'est effectuée en premier lieu sur les différentes banques de données puis sur Google Scholar quand la version complète n'était pas disponible. Dans le cas où il n'était toujours pas possible d'accéder à l'article en question, une démarche directe de contact de l'auteur a été entreprise. Si malgré tout l'article restait introuvable, les données ont été extraites depuis l'abstract. Les articles concernés seront présentés dans notre tableau d'articles surlignés en gris.

Le *Cochrane Glossary* a été utilisé comme référence afin de définir la nature des articles extraits. Ainsi, ont été pris en compte :

- Les « *controlled trials* », traduit par « études avec groupe contrôle » : il s'agit des études présentant au moins un groupe témoin et un groupe contrôle, avec ou sans randomisation.
- Les « *cases studies* », traduit par « études de cas » : sont regroupées sous ce terme toutes les études rapportant des observations sur une série d'individus qui reçoivent la même intervention, mais qui ne présentent pas de comparaison à un groupe contrôle.
- Les « *reviews* », traduit par « états des lieux » : sous ce terme, sont classées les études qui résument le point de vue de différents articles sur un type d'intervention ou sur un outil et qui en tirent des conclusions.
- Les « *systematic reviews* », traduit par « revues de la littérature » : contrairement aux états des lieux, les revues de la littérature présentent une méthodologie claire quant à la recherche, l'analyse et la critique des données incluses dans l'étude.

- Les « *effectivenesses* », traduit par « présentations d'outil » : il s'agit ici de toutes les études présentant les résultats attendus d'un outil, ou d'une intervention, utilisé dans des circonstances normales.

Pour ce qui est de la population des articles, aucune restriction en terme d'âge ou de pathologie n'a été effectuée. En effet, le but de ce mémoire est d'avoir une vision d'ensemble de la rééducation des fonctions exécutives grâce à la réalité virtuelle.

1. Les mots clés de la recherche

Les mots-clés ont été retenus en suivant les trois thèmes principaux de notre étude : la réalité virtuelle, les fonctions exécutives et la rééducation. La notion d'évaluation a été également jointe aux recherches, ce qui semblait pertinent pour deux raisons. D'abord pour étoffer les bases théoriques de ce travail, notamment en ce qui concerne l'application de la réalité virtuelle en neuropsychologie. Mais également pour savoir si les auteurs s'interrogeaient sur les suites qu'ils pouvaient donner à leurs évaluations et si l'outil, sur lequel ils avaient travaillé, pouvaient s'adapter au cadre de la rééducation.

Les mots-clés n'ont été donnés qu'en anglais pour une meilleure lisibilité sur les bases d'article PubMed et Cochrane :

- (Virtual Reality)
- AND (executive functions OR cognitive functions OR planification OR flexibility OR working memory OR inhibition)
- AND (rehabilitation OR re-education OR evaluation OR assessment)

2. Critères de sélection des articles

2.1. Les critères d'inclusion

Ont été inclus dans notre sélection d'articles :

- Les articles contenant au minimum dans le titre les mots clés : « Fonctions exécutives » OR « executive functions » OR « cognitive functions » OR « planification » OR « inhibition » OR « flexibilité » OR « flexibility » OR « mémoire de travail » OR « working memory » et « rééducation » OR « rehabilitation » OR « re-education » afin de garantir que le thème de l'article sélectionné soit en accord avec notre sujet.
- Les articles cités sur des sites de référence avec en priorité la base PubMed.
- Les sujets doivent être des êtres humains.

2.2. Les critères d'exclusion

Ont été retenus :

- Un critère de date : tous les articles publiés avant les années 2000 ont été exclus. Ce critère d'exclusion devait servir à garantir la récence de l'information. Toutefois, les études datant d'avant 2000 ont pu servir de base, lors d'une recherche antérieure afin d'établir le contexte théorique de ce mémoire. De plus, avec l'avancée des nouvelles technologies, les outils de

réalité virtuelle datant d'après les années 2000 sont plus proches de ceux que nous sommes amenés à côtoyer aujourd'hui.

- Un critère de langue : tous les articles dans des langues autres que le français ou l'anglais n'ont pas été retenus pour une question de maîtrise de la langue.
- Un critère de population : tous les articles ayant pour population des sujets sains ou normo-veillissants ont été exclus, sauf si l'étude en question était la première étape de validation d'un outil destiné à des sujets cérébro-lésés ou autres. Ces études ont été conservées afin d'avoir une vision d'ensemble des études menées par la suite sur un outil de réalité virtuelle spécifique.
- Un critère d'outils : tous les articles dont le matériel s'apparentait plus à un jeu vidéo qu'à de la réalité virtuelle ont été exclus.

3. Modalités d'extraction des données

3.1. L'arbre décisionnel pour la sélection des articles

Une fois notre base d'articles constituée selon les critères d'inclusion et d'exclusion, un filtrage plus fin a été réalisé par le biais d'un arbre de sélection d'article. Cette sélection a été effectuée selon un principe d'entonnoir comme illustré par la figure 2 :

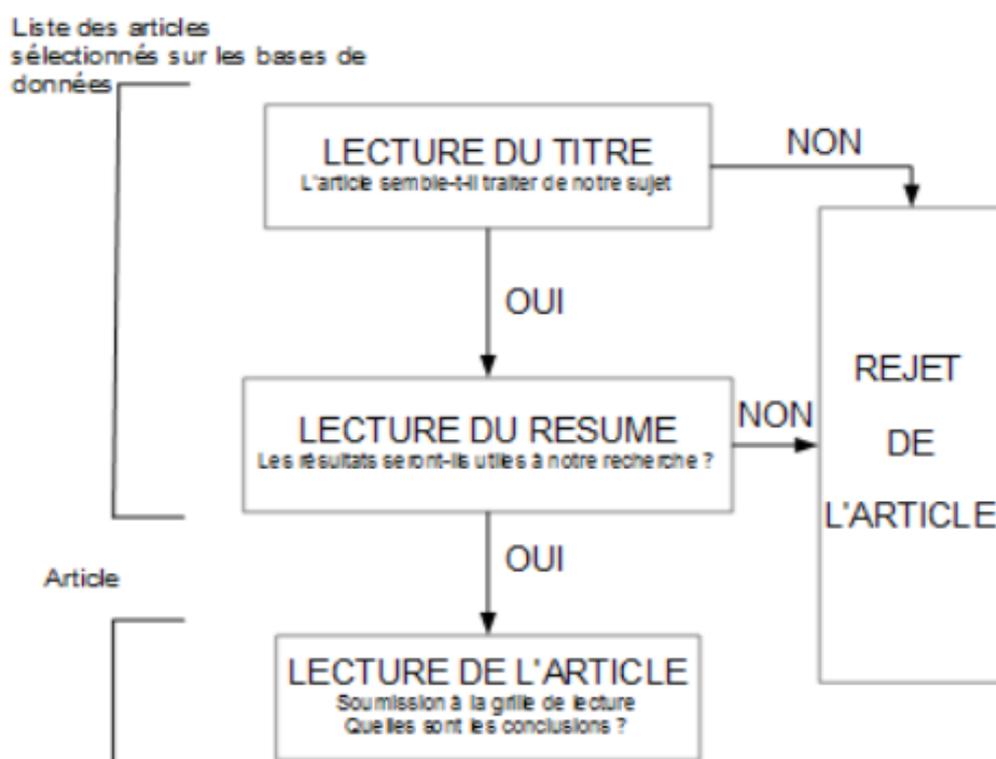


Figure 2 : Arbre décisionnel pour la sélection des articles.

En premier lieu, une sélection a été opérée par le titre : l'article semble-t-il concerner notre sujet ? Afin de faciliter cette démarche, il a été décidé que devraient apparaître les notions de « virtuel », sous les termes « réalité virtuelle », « environnement virtuel » ou encore « ordinateur », la notion de « fonctions exécutives », par exemple sous les termes « neurologie », « fonctions exécutives » ou bien d'« évaluation ou rééducation cognitive ». Si

dans le titre d'un article n'apparaissait aucune de ces notions, l'article était écarté de la sélection.

Ensuite, un tri en fonction de leur résumé a été appliqué : les résultats de cet article sont-ils utiles à cette recherche? Pour être retenus lors de cette étape, les articles devaient citer de manière explicite les termes : « fonctions exécutives » ou « planification » ou « inhibition » ou « flexibilité » ou « mémoire de travail ». En ce qui concerne les articles traitant de l'évaluation par la réalité virtuelle, nous avons cherché à savoir si, dans leur résumé, les auteurs évoquaient les potentialités de leur outil en terme de rééducation.

Enfin, les articles obtenus ont été lus dans leur intégralité.

3.2. La grille de lecture des articles

Les derniers articles sélectionnés ont été soumis à une grille de lecture (cf annexe A1). Cette grille a été élaborée grâce à un document édité en janvier 2000 par Agence Nationale d'Accréditation et d'Évaluation en Santé (ANAES), disponible sur le site de la Haute Autorité de Santé.

L'objectif de cette grille de lecture était d'indiquer de quel type d'article il s'agissait, à savoir, une étude de cas, une étude de groupe, une revue de la littérature, un état des lieux ou une présentation d'outil. Elle a permis aussi d'avoir un éclairage sur la méthodologie utilisée dans l'article ainsi que sur les résultats et les conclusions.

3.3. Tableau d'extraction des données

Une fois la sélection d'article établie et lorsque ces derniers ont été soumis à notre grille de lecture, toutes les données ont été rassemblées dans un tableau général. Ce tableau est composé de douze colonnes :

- Le numéro de l'article.
- Le nom des auteurs principaux.
- Le nom de l'article.
- La date de publication.
- Le nom de la source de l'article.
- Le type d'article.
- Le nombre de participants. En fonction des informations données par les auteurs, dans cette colonne, il est précisé la pathologie des participants, depuis combien de temps souffrent-ils de ce trouble, dans le cadre de troubles acquis, ainsi que la répartition entre groupe témoin et groupe contrôle et s'il y a eu randomisation.
- Le(s) outil(s) décrit(s) dans l'étude avec une précision apportée sur les différents composants matériels évoqués dans le contexte théorique.
- La durée de l'entraînement.
- L'évaluation de l'entraînement.
- Les résultats.
- Les conclusions principales.

Pour les parties résultats et conclusions principales, les résultats présentés dans notre tableau correspondent uniquement aux résultats concernant les fonctions exécutives.

4. Modalités d'évaluation de la qualité des études

Deux types de biais importants sont à relever dans cette étude : les biais inhérents à notre revue de la littérature et les biais inhérents aux articles.

En ce qui concerne notre revue de la littérature, elle est soumise à un biais de sélection des articles. En effet, de par le système de sélection, ce travail peut ne pas balayer de manière exhaustive l'ensemble de la littérature sur le sujet de la rééducation par réalité virtuelle des fonctions exécutives. Par exemple, si un auteur n'a pas été assez explicite dans son résumé quant à la méthode d'intervention utilisée, l'article n'aura pas été retenu, alors qu'il aurait pu faire partie du corpus de textes final. Enfin, il est important de noter que de nombreuses études traitant notre sujet sont menées par des chercheurs dans le but de tester, promouvoir ou améliorer un outil de réalité virtuelle. Il était donc important de garder à l'esprit l'intérêt commercial pouvant être dissimulé derrière certaines études.

Pour ce qui est des biais inhérents aux études, ils ont été définis à partir de l'Appendix F. Cochrane Risk of Bias Tool (cf annexe A2). Trois niveaux de risque ont alors été mis en évidence : le faible risque de biais, le haut risque de biais et le risque de biais imprécis. Ce dernier niveau de risque a été appliqué dès qu'il y avait trop peu d'éléments pour déterminer si le niveau de risque était haut ou faible.

4.1. Biais de sélection

Ce biais se découpe en deux parties : une concernant la population initiale et une concernant la répartition de cette population dans les groupes témoins et les groupes contrôles.

Pour la partie « sélection de la population initiale » : sont considérées comme à faible risque de biais les études ayant sélectionné leur population dans un grand échantillon, par randomisation ou avec des critères d'inclusion et d'exclusion explicites. Sont considérées comme à haut risque toutes les études dont la sélection de la population s'est faite sur le volontariat ou qui n'explicitent pas leurs critères d'inclusion ou d'exclusion.

Pour la partie « répartition de la population en groupe » : ici encore, l'utilisation d'une technique de randomisation réduit grandement le risque de biais. Sont alors considérées comme à faible risque de biais, les études dont la répartition entre les groupes a été générée par randomisation ou par une autre méthode permettant l'obtention de deux groupes comparables. A contrario, les études dont la répartition s'est effectuée sur des critères d'âge, de sexe ou par jugement du clinicien ont été estimées comme à haut risque de biais.

4.2. Biais de confusion

Il s'agit ici de mettre en évidence une confusion entre l'effet du traitement et un autre facteur non imputable à la prise en charge. Ce risque de biais a donc été jugé comme faible si le traitement ou la rééducation administrée à chaque groupe est équivalent. Cependant si des différences sont notées entre les deux groupes, par exemple en terme de durée, de fréquence ou de quantité, alors le niveau de risque a été noté comme haut.

4.3. Biais d'observation

Ce biais concerne le traitement des données statistiques obtenues à la suite de l'expérimentation. Il a été évalué comme faible si les auteurs ont précisé le type d'outil ou la méthode statistique utilisée. De plus, ce biais est fortement réduit par l'intervention d'une

personne extérieure à l'expérimentation pour l'analyse des résultats. A l'inverse, il a été estimé comme haut si un traitement statistique a été réalisé mais qu'aucune donnée n'indique le type de test utilisé pour le traitement de ces données.

4.4. Biais d'attrition

L'attrition, en statistique, désigne la perte de participants au cours de l'expérimentation. Il s'agit alors de mettre en évidence une différence entre les groupes présentés au début de l'étude et les groupes analysés dans les résultats. Cependant, s'il est précisé que les données concernant la ou les personne(s) n'ayant pas été au bout de l'étude ont été retirées de toutes les analyses, ce risque de biais n'a pas été considéré comme haut.

4.5. Biais de publication des résultats

Ce biais évalue la différence entre les résultats contenus dans les différents tableaux et les résultats rapportés dans la partie résultats et dans la partie discussion. Il a été jugé comme haut lorsqu'une préférence de publication pour les résultats allant dans le sens de l'étude a été notée.

Résultats

Comme montré dans la figure 3, 35 articles ont été recueillis à partir des 375 articles initiaux dont 338 trouvés sur de PubMed. Les 30 articles trouvés sur la base de données Cochrane représentent le nombre d'articles différents non présents sur PubMed. Enfin, à ce nombre s'ajoutent sept articles venant de sources autres, à savoir : Science Direct, Research Gate et un article provenant de la bibliographie d'une étude référencée sur PubMed. Ils ne faisaient pas partie de la sélection initiale, mais apparaissaient congruents. L'historique de cette sélection s'est déroulé comme ci-après : après application des critères d'inclusion et d'exclusion, 276 articles ont été mis en évidence. A partir de cet échantillon, nous avons mis en place la méthodologie de sélection des articles. Ainsi, 129 articles concordaient avec le thème de ce mémoire sur lecture du titre et 54 sur lecture de leur résumé. Ceux-là ont ensuite été étudiés dans leur intégralité. Finalement, 6 ont été exclus car ils traitaient uniquement de population saine ou normo-veillissante, ce qui n'était pas considéré comme pertinent par rapport à notre questionnement sur la rééducation. Enfin, treize articles ont été retirés car leur définition de la réalité virtuelle ou encore le matériel utilisé ne correspondaient pas à notre définition de référence. A terme, cette revue de la littérature porte sur une base de 35 articles, rapportés dans notre tableau d'extraction des données (cf annexe A2).

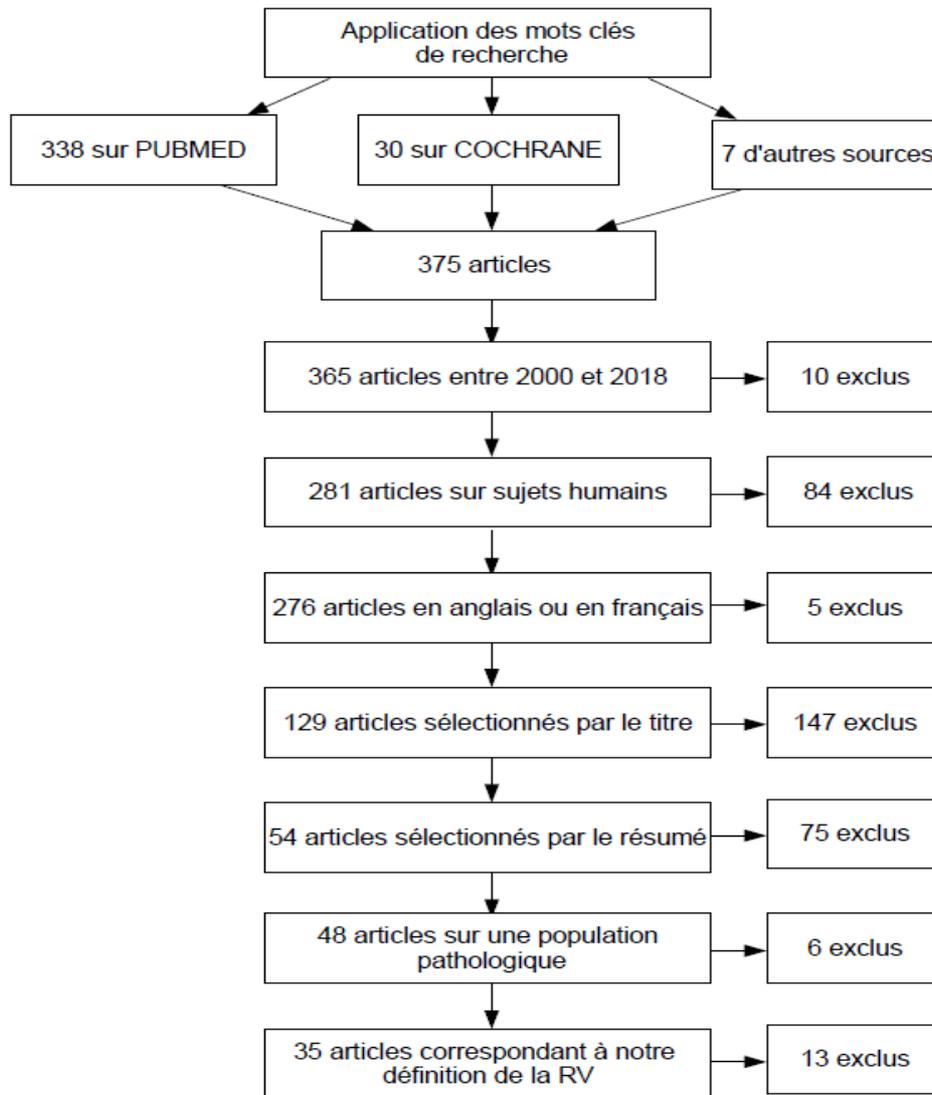


Figure 3 : Diagramme de sélection des articles.

Parmi ces 35 études, nous trouvons quinze études avec groupe contrôle, quatre études de cas, six revues de la littérature, sept états des lieux, trois articles de présentation d'outil.

La figure 4 représente un schéma de la répartition des différents types d'études :

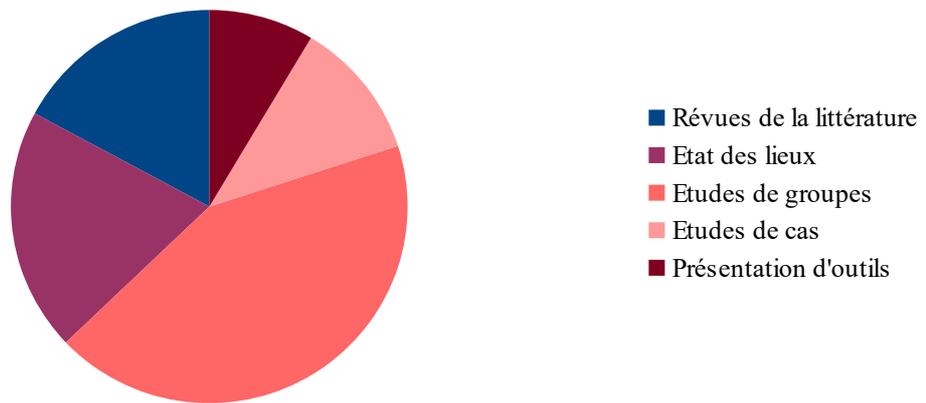


Figure 4 : Représentation graphique des différents types de données.

Au total, nous comptabilisons une population de 498 participants. Dans ce nombre, les participants identifiés dans les différentes revues de la littérature sont omis au cas où ils feraient référence à un article traité isolément.

Quinze articles traitent des fonctions exécutives dans le cadre global de rééducation d'un type de pathologie spécifique, comme la schizophrénie ou la prise en charge post-accident vasculaire cérébral (AVC). Dix études abordent le thème de la rééducation des fonctions exécutives à travers la rééducation des fonctions cognitives. Trois étudient l'intérêt de la rééducation par réalité virtuelle dans les activités de la vie quotidienne. Enfin, sept études traitent de la rééducation des fonctions exécutives de manière spécifique par la réalité virtuelle.

1. Tableau d'extraction des données

En annexe A2 se trouve le tableau d'extraction des données dans lequel a été référencé la totalité des articles.

Les données présentées ne rendent pas compte de l'intégralité de l'article. En effet, seuls les résultats ayant attiré à notre sujet des fonctions exécutives ont été relevés .

Surlignés en gris, sont notés les articles auxquels nous n'avons pas eu accès. Les données extraites sont donc issues des différents résumés, plus ou moins détaillés de ces articles.

2. Résultats de la qualité des études à groupe contrôlé

Comme présenté dans le tableau 1, chaque article de type « étude à groupe contrôlé » a été analysé grâce à l'outil Appendix F. Cochrane Risk of Bias Tool (cf annexe A2). Dans cette partie nous avons analysé la méthodologie des quinze études de groupes :

Tableau 1 : Tableau des biais des articles.

Nom auteur principal, date et numéro de l'article	Biais de sélection de la population initiale (biais de sélection)	Biais de répartition de la population entre les groupes (biais de sélection)	Biais de confusion	Biais d'observation	Biais d'attrition	Biais de publication des résultats
FARIA, 2016 [2]	+	+	+	+	+	+
LA PLAGIA, 2013 [3]	+	?	-	+	+	+
KLINGER, 2009 [5]	-	?	+	-	+	-
JACOBY, 2013 [6]	+	+	+	+	-	+
ALBANI, 2010 [8]	?	+	+	+	+	+
KLINGER, 2013 [9]	?	+	?	?	+	?
ZYGOURIS, 2015 [13]	+	+	?	-	+	+
GALANTE, 2007 [14]	+	+	+	+	-	?
RAND, 2007 [15]	-	?	?	+	+	+
OPTALE, 2009 [16]	+	+	+	+	+	+
DEHN, 2017 [17]	+	+	+	+	+	+
COX, 2017 [22]	+	+	+	+	+	+
KRCH, 2013 [26]	?	+	+	+	+	+
MONTEIRO-JUNIOR, 2017 [30]	+	+	+	+	+	+
EREZ, 2013 [31]	+	-	+	+	+	+

Légende :

-  : faible risque de biais
-  : risque de biais imprécis
-  : haut risque de biais

La figure 5 montre une représentation graphique de la répartition des différents niveaux de biais, faible, élevé ou imprécis, à travers l'ensemble des 15 études de groupe.

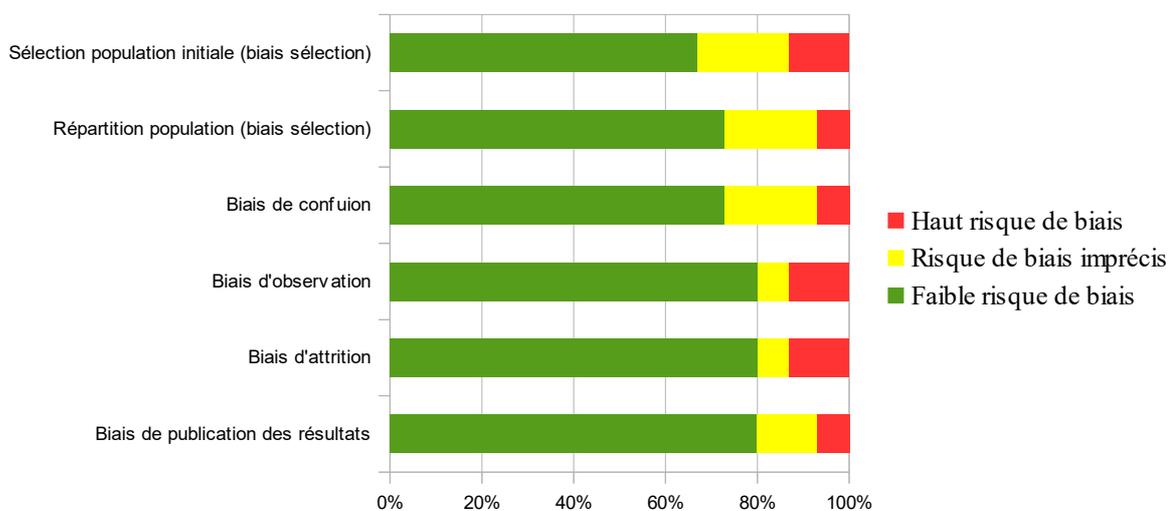


Figure 5 : Représentation graphique de la répartition des risques de biais en pourcentage, répartis par biais.

Nous pouvons noter que cinq études sur quinze ne présentent que des critères à faible risque de biais (Cox et al., 2017 ; Dehn et al., 2017 ; Faria, Andrade, Soares et I Bardia, 2016 ; Monteiro-Junior et al., 2017 ; Optale et al., 2009). Deux études sont à faible risque de biais hormis un critère qui est à risque imprécis (Albani et al., 2010 ; Krch et al., 2013). Deux études également n'ont dans leurs critères que de faibles risques de biais hormis un haut risque de biais (Erez, Weiss, Kizony et Rand, 2013 ; Jacoby et al. 2013). Deux études présentent plus de deux critères à risque de biais imprécis (Klinger et al., 2013 ; Rand, Weiss et Katz, 2007), sachant que dans l'étude de Rand, Weiss et Katz (2007) figure également un critère à haut risque de biais. Deux études ont un critère à haut risque et un risque imprécis (Galante, Venturini et Fiaccadori, 2007 ; Zygouris et al., 2015). Enfin, l'étude de Klinger, Cao, Douguet et Fuchs (2009) est la seule étude à comporter plus d'un critère à haut risque de biais.

2.1. La sélection de la population initiale (biais de sélection)

Quatre études n'indiquent pas selon quels critères d'inclusion et d'exclusion la population initiale a été choisie (Klinger, Cao, Douguet et Fuchs, 2009 ; Klinger et al., 2013 ; Krch et al., 2013 ; Rand, Weiss et Katz, 2007). Deux études indiquent leurs critères d'inclusion et d'exclusion mais n'indiquent pas dans quelle population ont été sélectionnés les participants (Albani et al., 2010 ; Rand, Weiss, et Katz, 2007).

2.2. Répartition dans les groupes (biais de sélection)

Six études ont réparti leur population dans les différents groupes témoins et groupes contrôles en utilisant la randomisation (Cox et al., 2017 ; Faria, Andrade, Soares et I Bardia, 2016 ; Galante, Venturini et Fiaccadori, 2007 ; Jacoby et al. 2013 ; Monteiro-Junior et al., 2017 ; Optale et al., 2009). Deux études ont choisi pour répartir leur population d'autres moyens que la randomisation. Cependant, les auteurs se sont assurés de la comparabilité des groupes (Dehn et al., 2017 ; Krch et al. 2013). Ensuite, deux études ont réalisé leur sélection du groupe contrôle sur des techniques de volontariat ou de choix boule de neige (Erez, Weiss,

Kizony et Rand, 2013 ; Rand, Weiss et Katz, 2007). Enfin, cinq études ont réparti leurs participants en fonction de la présence ou non d'une pathologie ou en fonction du type de pathologie (Albani et al., 2010; Erez, Weiss, Kizony et Rand, 2013 ; Klinger et al., 2013 ; Krch et al., 2013 ; Zygouris et al., 2015).

2.3. Effet du traitement (biais de confusion)

Trois études ne donnent pas assez de précisions quant à la quantité ou la fréquence de traitement que reçoivent les différents groupes (Klinger, Cao, Douguet et Fuchs, 2009 ; Rand, Weiss et Katz, 2009 ; Zygouris et al., 2015). Une seule étude ne prodigue pas la même quantité de rééducation au groupe témoin et au groupe contrôle (La Plagia et al., 2013). Enfin, une étude rapporte avoir fait en sorte que les conditions de rééducation soient strictement identiques pour le groupe témoin et pour le groupe contrôle (Dehn et al., 2017).

2.4. Traitement des données (biais de détection)

Pour ce qui est du traitement des données statistiques, une seule étude ne donne aucune précision quant au traitement statistique (Klinger et al., 2013). Deux études donnent des résultats statistiques sans pour autant préciser avec quel outil ou selon quelle méthode statistique les résultats ont été analysés (Klinger, Cao, Douguet et Fuchs, 2009 ; Zygouris et al., 2015).

2.5. Évolution du nombre de participant (biais d'attrition)

Une étude indique avoir une différence entre la population initiale et la population terminale de l'étude. Cependant, cette étude précise que toutes les données concernant ces patients ont été retirées de l'analyse (Optale et al., 2009). A contrario, deux études montrent une différence en terme de nombre de participants entre le début et la fin de l'étude sans pour autant préciser si les données concernant ces participants ont été conservées ou entièrement retirées de l'étude (Galante, Venturini et Fiaccadori, 2007 ; Jacoby et al., 2013).

2.6. Résultats des études (biais de publication des résultats)

Une seule étude ne donne aucune représentation des résultats quantitatifs sous forme de tableau chiffré (Klinger, Cao, Douguet et Fuchs, 2009). Enfin, deux études présentent un écart trop important entre les résultats présents dans les tableaux de résultats et l'analyse de ces résultats (Galante, Venturini et Fiaccadori, 2007 ; Klinger et al., 2013).

3. Rééducation des fonctions exécutives par la réalité virtuelle dans les différentes études

Dans cette partie sera analysée l'utilisation de la réalité virtuelle dans les différentes études en terme de types d'outils de réalité virtuelle proposés, de quantité de traitement, de pathologies rééduquées.

3.1. Les différents degré d'immersion et outils représentés

En ce qui concerne les techniques de rééducation utilisées, 23 indiquent avec précision la technique de réalité virtuelle utilisée ou étudiée. La figure 6 représente la répartition des différentes techniques dans les études :

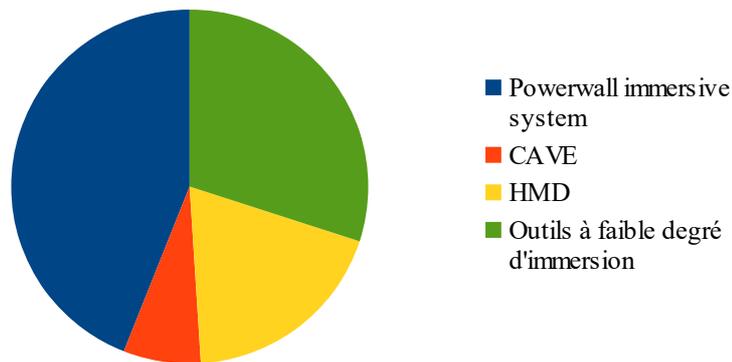


Figure 6 : Répartition des différents systèmes de RV utilisées.

Le *powerwall immersive system* représente donc 44% des outils utilisés dans les études, le système *CAVE*, 7%, le *HMD*, 19%, et les outils à faible degré d'immersion représentent 30% des outils de réalité virtuelle utilisés. Concernant les logiciels de réalité virtuelle les plus présents dans les études, cinq utilisent le VMALL (Erez, Weiss, Kizony et Rand, 2013 ; Jacoby et al., 2013 ; Krch et al., 2006 ; Rand, Katz et Weiss, 2007 ; Rand, Weiss et Katz, 2009), trois le V-STORE (Castelnuovo, Lo Priore, Liccione et Cioffi, 2003 ; Lo Priore, Castelnuovo et Liccione, 2002 ; Morganti, 2004) et trois le logiciel NeuroVR (Carelli et al., 2009 ; La Plagia et al., 2013 ; Riva et al., 2009).

3.2. Quantité d'exposition à la réalité virtuelle proposée

Pour ce qui est de la quantité moyenne d'exposition en minutes, sur la totalité des études qui fournissent ce type d'informations, les participants sont exposés 53,46 minutes à la réalité virtuelle. Sept études réalisent des sessions plus longues, entre 60 et 90 minutes (Albani et al., 2010 ; Carelli et al., 2009 ; Cox et al., 2017 ; Erez, Weiss, Kizony et Rand, 2013 ; La Plagia et al., 2013 ; Galante, Venturini et Fiaccadori, 2007 ; Rand, Weiss et Katz, 2009) et six études proposent des sessions plus courtes, entre 15 et 45 minutes (Faria et al., 2016 ; Jacoby et al., 2013 ; Krch et al., 2013 ; Monteiro-Junior et al., 2017 ; Optale et al., 2009 ; Rand, Weiss et Katz, 2007).

Au niveau du nombre moyen de sessions de rééducation, les participants ont été exposés à 7,62 sessions, la majorité se situant autour de dix sessions.

3.3. Présentation de la population et des pathologies

Parmi les études indiquant l'âge des différents participants, la population de trois études se situe en dessous de 18 ans (Cox et al., 2017 ; Erez, Weiss, Kizony et Rand, 2013 ; Wang et Reid, 2013). Trois autres ont une population entre 18 et 40 ans (Jacoby et al., 2013 ; Klinger, Cao, Douguet et Fuchs, 2009 ; La Plagia et al., 2013), deux entre 40 et 60 ans (Dehn et al., 2017 ; Krch et al., 2013). Enfin, la majorité des études, soit huit, ont une population avec une moyenne d'âge supérieure à 60 ans (Carelli et al. 2009 ; Coyle, Traynor et Solowij, 2015 ; Galante, Venturini et Fiaccadori, 2007 ; Monteiro-Junior et al., 2017 ; Optale et al., 2009 ; Rand, Katz et Weiss, 2007 ; Rand, Weiss et Katz, 2009 ; Zygouris et al., 2015).

La figure 7 est une représentation graphique de la répartition des différents types de pathologies étudiées dans les articles qui indiquent cette donnée. En accord avec la définition du Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (5th ed.; DSM-5; American Psychiatric Association, 2013) les troubles du spectre autistique ont été classés dans la catégorie des troubles mentaux.

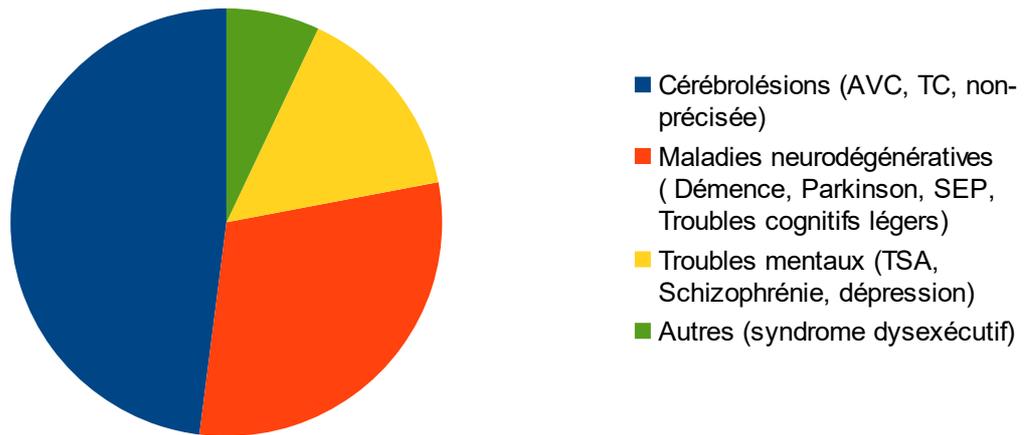


Figure 7 : Répartition des différents types de pathologies.

Les cérébro-lésions correspondent à 48% des pathologies représentées. Parmi elles, la majorité des études traitent des AVC. Les maladies neurodégénératives représentent 30% des pathologies, les maladies psychiatriques 15%. Une seule étude concerne un type de pathologie imprécis, en l'occurrence des patients avec syndrome dysexécutif, soit 2,86% de notre échantillon.

3.4. Principaux résultats

Parmi les 35 études, 31 présentent des résultats positifs à propos de la rééducation des fonctions exécutives par la réalité virtuelle, ce qui représente 89% des études représentées ici. Trois présentent des résultats mitigés (Laver et al., 2017 ; Monteiro-Junior et al., 2017 ; Optale et al., 2009) et une seule n'apporte finalement aucune conclusion concernant les fonctions exécutives (Laver, George, Thomas, Deutsch et Crotty, 2015).

Discussion

L'objectif de notre mémoire était de réaliser un état des lieux sur la rééducation des fonctions exécutives grâce à la réalité virtuelle. Nous voulions savoir comment cette dernière était utilisée et si, dans les conclusions, elle était considérée comme efficace face aux troubles des fonctions exécutives.

Nous avons donc extrait de la littérature 35 articles correspondant aux critères d'inclusion et d'exclusion, ainsi qu'à la technique en entonnoir de notre arbre décisionnel. Une grande hétérogénéité avait été notée dans les différents types d'articles extraits, la majorité étant des études de groupes. Nous retrouvons cette même hétérogénéité en ce qui concerne le type d'instrument de réalité virtuelle utilisé dans les études. Il en est de même avec la population étudiée, bien que nous notons une plus grande représentation de la catégorie des adultes cérébro-lésés. Enfin, au niveau des résultats obtenus grâce à la réalité virtuelle, la plupart des auteurs s'accordent à dire que cette technique de rééducation, en ce qui concerne les fonctions exécutives, aurait de nombreux effets positifs.

1. Discussion des résultats à la lumière des hypothèses

Dans cette partie, nous discuterons les différents résultats des études en fonction des trois hypothèses que nous avons établies, à savoir:

- La réalité virtuelle est une technique de rééducation efficace
- La réalité virtuelle ne demande pas un haut niveau de pratique informatique pour les patients grâce à son aspect intuitif
- Il s'agit d'une rééducation attrayante faisant appel à la participation du patient.

1.1. La rééducation par réalité virtuelle, une rééducation efficace ?

Lors de la revue de questions, nous avons émis comme première hypothèse que la rééducation des fonctions exécutives par le biais de la réalité virtuelle serait une rééducation plus efficace qu'une rééducation traditionnelle sous le format « papier/crayon ». En 2015, dans leur revue de la littérature sur l'impact de la réalité virtuelle sur le déclin des fonctions cognitives, Coyle, Traynor et Solowij indiquent dans leurs conclusions que les fonctions exécutives sont l'un des domaines les mieux améliorés par la prise en charge en réalité virtuelle. Beaucoup d'auteurs font ce même constat. Galante, Venturini et Fiaccadori (2007) réalisent une expérience durant laquelle les auteurs proposent à deux groupes de patients atteints de maladies neurodégénératives de réaliser différents entraînements. Le groupe témoin avait un entraînement spécifique via la réalité virtuelle et le groupe contrôle un entraînement non spécifique des fonctions cognitives. A la fin de l'étude, les résultats montrent que les patients ayant reçu un traitement spécifique par la réalité virtuelle avaient conservé leurs acquis après neuf mois, alors que le groupe contrôle, avec un traitement non-spécifique, avait vu ses performances décliner dans le temps. Faria et al. (2016) font exactement les mêmes conclusions lors de leur étude. Il semble donc que, même si dans le cadre de la rééducation des fonctions exécutives chez des patients atteints de maladies neurodégénératives, il n'y a pas d'amélioration des performances, après l'entraînement, leur niveau se stabilise et se maintient dans le temps : comment s'explique cette efficacité ?

D'abord, il semblerait que l'efficacité de la rééducation par la réalité virtuelle soit due à la précision de l'outil. Comme nous l'avons vu dans notre partie théorique, la réalité virtuelle est un outil beaucoup plus précis que les outils d'évaluation « papier/crayon » actuels. C'est pourquoi elle détecterait plus aisément les dysfonctions et permettrait une meilleure estimation des performances dans la vie réelle (Krch et al., 2013 ; Zygouris et al., 2015). Les outils d'évaluation en réalité virtuelle, dont le VMET, VMALL ou encore le V-STORE, sont également présentés comme des outils de rééducation. A l'instar de leurs capacités d'évaluation, ces outils permettraient au professionnel lors de ses séances de rééducation, d'identifier les troubles du patient avec des mesures objectives mais aussi d'enregistrer leurs performances afin de les analyser (Klinger, Cao, Douguet et Fuchs, 2009).

Ensuite, pour expliquer cette efficacité, nous pouvons également interroger le haut niveau de contrôle des outils de rééducation en réalité virtuelle. Selon Gourlay, Lun, Lee et Tay (2002), l'utilisation d'un outil informatisé semble permettre de gérer de manière exacte les différents stimuli présentés au patient pour ce qui est de la répétition de l'exposition, du temps d'exposition ou encore de la nature des stimuli et des distracteurs. Ainsi, ne sont présentés au patient que des stimulations pertinentes par rapport à son niveau, qui a été établi avec précision plus tôt grâce à l'évaluation, permettant une graduation adaptée de la difficulté.

Enfin, au vu du nombre varié de pathologies et de publics représentés, l'efficacité de la rééducation des fonctions exécutives par la réalité virtuelle semble pouvoir s'étendre à de nombreux champs de l'orthophonie. Dans notre corpus, beaucoup d'auteurs s'accordent à dire que les outils en réalité virtuelle sont adaptables à un large éventail de situations (Carelli et al., 2009 ; Castelnouvo, Lo Priore, Liccione et Cioffi, 2003 ; Klinger et al., 2013 ; Schultheis, Himelstein et Rizzo, 2002). En effet, les études couvrent un spectre de publics et de pathologies variés, allant de l'enfant ayant subi un traumatisme crânien (Erez, Weiss, Kizony et Rand, 2013) à la personne âgée atteinte d'une maladie neurodégénérative (Coyle et al., 2015), en passant par l'adolescent porteur de troubles du spectre autistique (Cox et al., 2017). Pourtant, nous n'observons que très peu de variations dans les outils utilisés, que ce soit des matériels, des logiciels ou des situations d'entraînement proposées. Albani et al., en 2010, proposent une explication à cette grande variabilité dans la population pouvant bénéficier de la rééducation par les mêmes outils de réalité virtuelle. Selon les auteurs, la réalité virtuelle est un outil qui permet la rééducation des fonctions exécutives dans le cadre des actions de la vie quotidienne, qu'elle soit impactée ou non par des limitations corporelles induites par les pathologies. C'est pourquoi, lorsque les auteurs proposent une expérimentation sur douze patients atteints de la maladie de Parkinson, le matériel utilisé, le VMET, a permis de mettre ces patients dans des activités de la vie quotidienne en passant au-delà de leurs difficultés motrices.

Il semblerait alors que le traitement des fonctions exécutives par la réalité virtuelle soit un traitement efficace qui se maintienne dans le temps grâce à sa spécificité, son haut niveau de contrôle et sa flexibilité.

1.2. La rééducation par réalité virtuelle, une rééducation intuitive ?

Les patients ayant le plus participé aux expérimentations sont des adultes âgés atteints de cérébro-lésions variées. C'est pourquoi nous pouvons nous demander si ce type d'outil, qui semble nécessiter une certaine maîtrise informatique, est aisément utilisable par tous les types de patients. En 2009, Klinger, Cao, Douguet et Fuchs établissent le constat suivant : malgré les attendus, les patients qui n'avaient jamais été en contact avec un ordinateur n'ont pas eu de difficulté particulière à utiliser le matériel. Rand, Weiss et Katz (2009) obtiennent la même conclusion après leur étude : hormis un patient qui utilisait un ordinateur dans sa vie professionnelle, tous les autres n'en n'avaient jamais manipulé. Pourtant ce manque de pratique n'a été en aucun cas un obstacle pour mener à bien la tâche qui leur avait été demandée. La nature intuitive de la manipulation expliquerait cette facilité avec laquelle le matériel en réalité virtuelle est utilisé.

Pour rappel, l'un des principaux objectifs de la réalité virtuelle est de permettre, grâce à des performances techniques, de donner au patient l'impression d'être dans le monde réel. Grâce à cela, il peut réaliser des actions de la même manière que s'il était physiquement dans la situation. Toujours selon Rand, Weiss et Katz, les systèmes de réalité virtuelle sont pensés afin de pouvoir utiliser les mouvements naturels des utilisateurs dans leurs interfaces. C'est pourquoi, pour concorder au mieux avec ce principe, les chercheurs tendent à proposer le moins de matériel possible à leurs patients, afin ne pas les surcharger en manipulations techniques. Pour exemple, Faria et al. en 2016 proposent aux participants de l'étude, pour se déplacer dans l'espace virtuel, un joystick avec uniquement deux boutons, un bouton de

sélection pour interagir et un bouton d'aide. De plus, au fur et à mesure que le participant progresse dans la tâche que les auteurs lui proposent, l'assistance qui lui est fournie diminue graduellement, effaçant ainsi peu à peu la présence d'une interface. Dans la majorité des études, une phase d'entraînement a été proposée aux patients. Il s'agit bien souvent de quelques exercices pratiques en situation de réalité virtuelle pendant 15 à 20 minutes avant le début de l'étude.

Nous pouvons donc supposer que le fait de n'avoir jamais été en contact avec un ordinateur ou, pour le moins, de ne pas avoir été familiarisé avec la réalité virtuelle, n'est pas un obstacle à l'utilisation de cette dernière grâce à son aspect intuitif. Elle serait donc applicable à des types très variés de patientèles.

1.3. La rééducation par réalité virtuelle, une rééducation motivante et attrayante ?

La dernière hypothèse était la facilitation de la participation des patients grâce au caractère motivant et attrayant de la réalité virtuelle. En 2002, Burdea oppose la rééducation par réalité virtuelle à la rééducation « papier/crayon » et établit le constat suivant : la rééducation classique des fonctions exécutives se fait grâce à un outil « mécaniquement » simple et est ennuyeuse, alors que la rééducation par l'outil de réalité virtuelle est plus complexe et, comme elle a pour base le jeu vidéo, il s'agit donc d'une rééducation distrayante et motivante.

En terme de rééducation, obtenir la participation du patient est un élément clé pour permettre à l'outil de rééducation d'être investi par le patient et d'avoir ainsi un véritable effet sur le trouble (Weiss, Kizony, Feintuch et Katz, 2006). Plus la tâche serait motivante et intéressante, plus cela serait facilitateur pour la rééducation (Rand, Katz et Weiss, 2007). Selon Castelnovo, Lo Priore, Liccione et Cioffi (2003) la participation du sujet dépendrait alors de trois éléments :

- Les possibilités d'interaction avec l'environnement virtuel.
- Le degré d'immersion.
- Le caractère écologique de la rééducation.

Concernant les possibilités d'interaction avec l'environnement virtuel, l'aspect attractif de la réalité virtuelle dépend en partie de la qualité des outils, notamment de leur capacité à donner au participant le sentiment de présence en effaçant les différentes interfaces (Klinger, Marié et Fuchs, 2008). Plus l'interaction avec l'environnement virtuel est réaliste, plus l'impression de la présence d'une interface diminue, plus les actions directes augmentent et plus l'immersion et la participation du patient augmentent en conséquence.

Ensuite, toujours selon Castelnovo, Lo Priore, Liccione et Cioffi, le degré d'immersion influencerait le degré de participation grâce à l'engagement physique dans l'activité. En 2013, Jacoby et al. confirment cette hypothèse en montrant que la réalité virtuelle doit son efficacité notamment au fait que le patient est acteur de son apprentissage à travers l'expérience d'une activité motivante.

Enfin, la participation du patient serait influencée par l'aspect écologique de la tâche. Toujours selon Castelnovo et ses collaborateurs, pour que la rééducation soit efficace, il faudrait l'inscrire dans la réalité du patient et donc faire un environnement utile et fonctionnel,

afin qu'il ancre la rééducation dans sa vie quotidienne. C'est pourquoi la plupart des auteurs de notre corpus ont choisi des outils de réalité virtuelle représentant des situations de la vie quotidienne.

Dans les faits, les analyses qualitatives, réalisées par les auteurs à la suite des différentes prises en charge, présentent de très bons retours quant à l'attrait de l'outil en réalité virtuelle. Pour exemple, La Plagia et al. (2013) proposent des sessions très longues de 90 minutes à des patients schizophrènes. Pourtant, lors du retour sur les séances, aucun patient n'évoque de l'ennui ou de la fatigue. Dans leur étude de 2007, Rand, Katz et Weiss indiquent même que l'engouement pour l'outil en réalité virtuelle était tel pour leurs participants qu'à la fin de l'étude ils se sont montrés déçus par l'arrêt de la rééducation.

La réalité virtuelle est donc un outil distrayant qui faciliterait la motivation et l'implication du patient. Grâce à cet aspect une meilleure participation du patient, donc une rééducation plus efficace, pourrait être obtenue.

2. Discussion des résultats à la lumière de la littérature

D'une manière générale, les résultats que nous avons observés sont en accord avec la littérature. Dans cette partie, nous verrons en quoi la rééducation des fonctions exécutives par la réalité virtuelle est primordiale dans l'autonomie et la vie quotidienne du patient, puis nous nous pencherons sur le transfert entre la rééducation et la vie quotidienne et enfin, sur les différents freins à cette rééducation.

2.1. La rééducation des fonctions exécutives inscrite dans la vie quotidienne du patient : la question du transfert

Les fonctions exécutives sont ce qui permet de réaliser de manière autonome, un certain nombre d'actions de la vie quotidienne. Il semblerait donc cohérent que la rééducation de ces fonctions se fasse dans un cadre le plus proche possible de la vie réelle.

L'une des qualités de la réalité virtuelle est, certes, sa capacité à reproduire le réel, mais surtout la possibilité d'ancrer la tâche rééducative dans le quotidien du patient. Cependant, à la différence des situations réelles, lors de l'exposition à un événement virtuel, le rééducateur stimule dans la situation ce que Tieri, Morone, Paolucci et Iosa (2018) appellent « le corps virtuel », c'est-à-dire l'avatar du corps physique du patient. Ainsi, la résolution de la situation peut se faire plusieurs fois et de manière sécurisée, dans un environnement avec un haut degré de contrôle. Cette pratique d'une activité de la vie quotidienne de manière adaptée, répétée et sécuritaire dans un environnement virtuel réaliste laisse à penser que cela pourrait pousser le patient à reproduire les mêmes tâches mais cette fois dans sa vie réelle. En effet, lors de la réalisation du Projet AGATHE en 2013, Klinger et al. livrent que l'objectif de leur outil est de répondre à une demande de traiter les déficits cognitifs de manière intégrative et écologique afin de permettre un transfert au monde réel du patient. Le transfert désigne alors la capacité qu'a un patient de s'investir des effets de la prise en charge en cabinet pour les transposer dans ses actes du quotidien. Nous avons rencontré dans les différents articles beaucoup d'outils utilisant le contexte d'un supermarché : V-STORE, VMALL, ou encore AGATHE. Rand, Katz et Weiss (2007), justifient ce choix d'activité par le fait que faire ses courses est l'une des tâches les plus fréquentes de la vie quotidienne qui fait appel à de très nombreuses fonctions exécutives. En utilisant ce type de tâche, les auteurs ont bon espoir de faciliter le transfert à la

réalité du patient. En effet, dans une autre de leurs études (Rand, Weiss et Katz, 2009), les auteurs notent que les participants ont rapporté avoir pratiqué à nouveau des activités de la vie quotidienne qu'ils avaient perdu l'habitude de faire avant la rééducation. De plus, une évaluation en situation réelle avant et après l'intervention a montré une amélioration des performances des participants dans le monde réel. Certains articles présentent d'autres tâches, plus variées, comme l'étude des fonctions exécutives lors d'une simulation de conduite par Cox et al. (2017). Cela montre que la réalité virtuelle serait en mesure de s'adapter à n'importe quelle situation de la vie quotidienne du patient.

Il semblerait donc que la rééducation des fonctions exécutives, grâce à la réalité virtuelle, permette au patient de s'entraîner en sécurité à des activités auxquelles il pourrait être confronté dans son quotidien. Mais cela soulève la question de la différence avec le transfert des rééducations classiques. Krch et al. (2013) comparent les performances exécutives des patients lors des épreuves classiques de « papier/crayon » et les performances exécutives dans la vie réelle. Les auteurs mettent alors en évidence un véritable écart entre les deux situations voire l'utilisation de fonctions exécutives différentes. Cependant, ils ne retrouvent pas ce même écart lors de l'utilisation de la réalité virtuelle.

Ainsi, il semblerait que la réalité virtuelle permette de retrouver des compétences exécutives par la réalisation d'actions complexes comme elles sont demandées dans la vie quotidienne.

2.2. Les freins à la réalité virtuelle

La réalité virtuelle semble donc être la solution rééducative en ce qui concerne les fonctions exécutives, adaptée à de nombreuses situations. Pourtant, nous avons noté quelques réserves à l'utilisation de cette technologie.

En premier lieu, il y a une problématique financière et technique. En 2018, Tieri, Morone, Paolucci et Iosa donnent dans leur article un aperçu des coûts des équipements. L'équipement qui semble être le moins coûteux et le moins demandeur d'espace est le *HMD*. Selon les auteurs, l'intégralité de l'outillage coûterait environ 3000\$. Dans ce prix, il faudra compter : le casque *HMD*, l'ordinateur et le joystick. A cela s'ajoute le prix des logiciels, ou programmes, spécifiques à l'utilisation de l'outil de réalité virtuelle. Il en est de même pour le *powerwall immersive system*, qui est l'outil le plus massivement utilisé dans nos études. Par contre, si nous prenons l'outil virtuel qui possède le plus haut degré d'immersion, le *CAVE*, toujours selon les auteurs, il faudra alors compter environ 100 000\$ et une place considérable pour l'installer. Pour diminuer cette problématique financière, des scientifiques ont développé NeuroVR, qui est un outil gratuit et en accès libre sur internet.

La deuxième difficulté à laquelle se heurte le thérapeute est le haut niveau de technique demandé par l'outil. En effet, le niveau de réalisme dépend de l'avancée technologique et de la maîtrise de ce dernier. Cependant, la prise en main de ces outils ainsi que la maintenance du support technique demandent aux thérapeutes une formation particulière. NeuroVR propose sur le site internet de nombreux tutoriels pour apprendre à utiliser le système et pour créer, entre autres, des environnements virtuels adaptés.

Enfin, la principale limite de la réalité virtuelle réside dans le conflit sensoriel, abordé par de nombreux auteurs tels que Fuchs (2006) ou Klinger (2008). Il s'agit du conflit entre ce que le cerveau perçoit des mouvements du sujet et ce que son corps réalise réellement. Par exemple, dans un environnement de type supermarché virtuel, à cause de l'immersion en

réalité virtuelle, le cerveau aura l'impression que le sujet avance dans ce magasin mais son nerf vestibulaire, lui, n'aura aucun retour sensoriel. En 2006, Weiss, Kizony, Feintuch et Katz définissent cette discordance, appelée aussi *cybersickness*, comme « un mal virtuel ». Pour les auteurs, il s'agit des effets secondaires et indésirables de la réalité virtuelle et de l'exposition aux environnements virtuels provoquant dans 5 à 10% des cas (Klinger et al., 2008) des vertiges, malaises, nausées, céphalées, étourdissements ou une sudation excessive, particulièrement chez le sujet âgé. Toujours selon les auteurs, ces effets secondaires seraient donc dépendants de l'âge de l'utilisateur mais également de la facilité d'immersion et des outils utilisés. Le casque *HMD* aurait plus de risques de provoquer ces effets alors qu'aucune des études impliquant un *powerwall immersive system* n'indique ce genre de réactions. Selon Camara Lopez et Cleeremans (2016), il serait largement préférable d'utiliser une projection en trois dimensions. Cependant, pour Gourlay, Lun, Lee et Tay (2000) les effets secondaires auraient tendance à diminuer en puissance avec le temps et l'entraînement, ainsi qu'à être de moins en moins récurrents. Enfin, toujours d'après Gourlay et ses collaborateurs, le *cybersickness* ne serait pas dû au concept de réalité virtuelle mais plutôt à la performance de l'outil utilisé. Par exemple, selon eux, les vertiges seraient le résultat du temps de latence entre le mouvement réalisé et le mouvement vu ou transmis par l'ordinateur. Plus ce temps diminuerait, moins les vertiges seraient présents. Ainsi, l'évolution technologique tendrait à réduire ces effets indésirables.

L'utilisation de la réalité virtuelle demande donc de prendre certaines précautions lors de l'immersion, notamment limiter la durée des premières immersions à une vingtaine de minutes maximum, et ajuster certains paramètres techniques tels que la vitesse de déplacement ou encore la luminosité.

3. Résultats divergents et hypothèses explicatives

L'efficacité de la rééducation des fonctions exécutives par la réalité virtuelle ne fait pas l'unanimité parmi tous les auteurs de notre corpus. Dans cette partie, nous mettrons donc leurs résultats en lumière puis nous avancerons des hypothèses explicatives à ces résultats.

3.1. Résultats divergents dans le corpus d'articles

Trois études donnaient des résultats moyens concernant l'amélioration des fonctions exécutives et une étude ne notait finalement aucune conclusion à ce sujet.

En ce qui concerne les études dont les résultats étaient mitigés, Optale et al. (2009) nous décrivent une étude sur 31 patients avec un déficit de la mémoire. Ces patients ont été répartis en deux groupes : un groupe témoin et un groupe contrôle. Chaque groupe a réalisé 24 sessions d'entraînement de 30 minutes, le groupe témoin à l'aide d'un casque *HMD*. Les conclusions de leur étude montrent une amélioration de l'état général des patients avec cependant des résultats très moyens quant aux fonctions exécutives.

Nous avons ensuite l'étude de Monteiro-Junior et al (2017). Dans cette étude, les auteurs répartissent dix-neuf patients en un groupe témoin et un groupe contrôle. Chaque patient a réalisé une tâche durant entre 30 et 45 minutes grâce à la Nintendo Wii, qui est un outil à faible degré d'immersion. Dans leurs conclusions, les auteurs indiquent qu'au niveau des fonctions exécutives et de la mémoire sémantique, les améliorations sont très modestes.

Enfin, nous trouvons deux revues de la littérature datant de 2015 et 2017. En 2015, Laver, Georges, Thomas, Deutsch et Crotty soulèvent la question de la rééducation des fonctions exécutives et dans leurs résultats, les auteurs indiquent qu'aucune conclusion ne peut finalement être fournie à ce sujet. Deux ans plus tard, dans la revue de 2017 (Laver et al.) menée sur un plus grand échantillon, les résultats ne sont guère plus concluants et il semble difficile pour les auteurs de prouver statistiquement une amélioration sur les fonctions exécutives. Pourtant, ils notent une amélioration dans le cadre de la réalisation des activités de la vie quotidienne, mais, précisent-ils, il semblerait qu'un entraînement de 15 heures minimum soit nécessaire pour parvenir à ces effets.

3.2. Hypothèses explicatives

Pour expliquer pourquoi, dans ces études, la réalité virtuelle ne semble pas être parvenue à améliorer les fonctions exécutives, nous allons essayer de voir les différences entre ces études et celles qui mettent des résultats qui marquent une nette amélioration. Nous notons quatre études dont les résultats en termes de fonctions exécutives nous sont les plus probants :

- Dehn et al. (2017) avec un système de *powerwall immersive system* et aucune restriction de temps quant à la réalisation de l'épreuve.
- Cox et al. (2017) avec un système *CAVE* et des sessions de 60 minutes.
- La Plagia et al. (2013) avec un système *HMD* et des sessions de 90 minutes.
- Rand, Weiss et Katz (2009) avec un *powerwall immersive system* et des sessions de 60 minutes.

Dans sa revue de la littérature de 2017, Laver et al. évoquent une durée minimum de l'entraînement d'au moins 15 heures. Il semblerait alors que la durée de l'exposition soit déterminante pour les résultats. Parmi les quatre études qui ne donnent pas de résultats probants, deux ont des sessions d'environ 30 minutes. A contrario, les quatre études avec des résultats très en faveur de la réalité virtuelle proposent des séances beaucoup plus longues, soit sans limite de temps, soit d'au moins 60 minutes. Lors de l'analyse des résultats et notamment de la durée des sessions, il a été noté qu'en moyenne, les sessions duraient 53,46 minutes. Sur les treize études indiquant le temps de leurs sessions, huit études sont au-dessus de 45 minutes et toutes ces études ont obtenu des résultats positifs. Cette idée concorde avec les études menées par Barnes et al. (2009) et Finn et MacDonald (2011) qui indiquent qu'un traitement long et intensif sur un ordinateur augmenterait de manière significative les performances des patients.

Ensuite, dans les quatre études significatives, toutes utilisent un système considéré comme à haut degré d'immersion soit *HMD*, soit *powerwall immersive system*, soit *CAVE*. Dans les deux études avec des résultats moyens en ce qui concerne les fonctions exécutives qui indiquent l'outil utilisé, l'une utilise un *HMD*, l'autre un outil à faible degré d'immersion. Ainsi, l'importance du degré d'immersion pourrait être une deuxième explication. Cette hypothèse est étayée par Lo Priore, Castelnuovo, Liccione et Liccione en 2003. En effet, les auteurs réalisent une étude afin de montrer que le degré d'immersion et le sentiment de présence jouent un rôle important dans la réussite d'une tâche. Ils testent alors vingt sujets sains répartis de manière aléatoire dans deux groupes. Dans le groupe A, dix sujets qui réaliseront une tâche avec un degré d'immersion moindre, et dans le groupe B, dix sujets qui réaliseront la même tâche mais avec un degré d'immersion élevée. Les deux groupes utilisent le même logiciel (V-STORE). Les résultats montrent que le groupe B a réalisé de meilleures

performances par rapport au groupe A. Le degré d'immersion influencerait donc les performances car il augmenterait la participation du patient. Ces résultats sont confirmés par Dehn et al. (2017), qui indiquent qu'une mise en situation par l'immersion permet de diminuer de façon significative les erreurs commises dans le cadre des fonctions exécutives et par Dahdah et al. (2017), pour qui la réalité virtuelle immersive permet d'augmenter les performances en ce qui concerne les fonctions exécutives de manière spécifique. Enfin, en 2013, Jacoby et al. postulent quant à eux l'hypothèse qu'ils auraient obtenu de meilleurs résultats s'ils avaient utilisé la trois dimension plutôt que la deux dimension dans leur étude pour augmenter le réalisme et l'immersion. Il semblerait donc que l'utilisation d'outil à faible niveau d'immersion donnerait des résultats moins performants que l'utilisation d'outil à haut niveau d'immersion.

Enfin, nous pouvons opposer à l'étude menée par Optale et al. en 2009 les résultats de l'étude de Galante, Venturini et Fiaccadori (2007). Les auteurs indiquent que plus le traitement est spécifique, meilleurs seront les résultats. Or, dans leur étude, Optale et al. ne traitent pas spécifiquement des fonctions exécutives. Un outil plus spécifique aurait sans doute donné de meilleurs résultats.

Conclusion

Dans ce mémoire, nous avons réalisé une revue de la littérature à propos de la rééducation des fonctions exécutives par la réalité virtuelle. Notre objectif était de savoir dans quelle mesure la réalité virtuelle trouve sa place dans la rééducation orthophonique des fonctions exécutives. Pour ce faire, nous avons réalisé une analyse des données de la littérature afin d'observer l'utilisation de la réalité virtuelle mais aussi l'efficacité de cette technique.

Nous avons donc travaillé à partir des bases PubMed et Cochrane, entre autres. Après application des critères d'inclusion et d'exclusion, nous avons soumis notre sélection d'articles à un arbre décisionnel. Au terme de cet arbre, 35 articles ont été sélectionnés et analysés à l'aide d'une grille de lecture. Nous avons donc obtenu un corpus composé de différents types d'articles allant de l'étude de cas unique à la revue de la littérature en passant par l'étude de groupe et la présentation d'outil. A travers tous ces articles, nous avons mis en évidence différentes applications et outils de réalité virtuelle, variant notamment en ce qui concerne le degré d'immersion. Les écarts entre les auteurs pour déterminer ce qu'est et ce que n'est pas la réalité virtuelle nous montrent que c'est un procédé encore récent et que tous n'en ont pas la même définition. En ce qui concerne les résultats de l'efficacité de la rééducation des fonctions exécutives, ils sont, d'une manière générale, plutôt encourageants.

La réalité virtuelle est alors un outil qui trouve de plus en plus sa place dans le monde de la recherche neuropsychologique et orthophonique. En effet, comme nous avons pu l'observer dans notre corpus, la recherche s'oriente de plus en plus vers un panel de pathologies et de publics large et varié. De plus, la réalité virtuelle tend à se démocratiser grâce à une multitude d'outils différents et à des systèmes en accès libre comme NeuroVR. Cependant, il y a encore peu d'études sur la rééducation spécifique des fonctions exécutives. En effet, beaucoup d'articles portent sur l'évaluation ou bien la rééducation des fonctions cognitives en général. Pourtant, les fonctions exécutives, étant des structures intervenant dans la plupart des activités quotidiennes et donc nécessaires à l'autonomie de nos patients, seraient les fonctions cognitives les plus concernées par une rééducation écologique et fonctionnelle. Ainsi, malgré quelques réserves, notamment techniques, la réalité virtuelle pourrait être l'outil idéal pour la réhabilitation de ces fonctions. C'est pourquoi il est important de poursuivre les recherches dans ce domaine.

En conséquence, même s'il reste du chemin à faire pour que la réalité virtuelle trouve sa place dans nos cabinets de rééducation, il semblerait pertinent, pour les recherches futures, de réaliser un travail spécifique sur la rééducation des fonctions exécutives en orthophonie à travers des études de groupes plus larges ou bien d'étudier les adaptations possibles des nouveaux systèmes de réalité virtuelle à la pratique clinique.

Bibliographie

- Adams, R., Finn, P., Moes, E., Flannery, K., et Rizzo, A. S. (2009). Distractibility in Attention/Deficit/ Hyperactivity Disorder (ADHD): the virtual reality classroom. *Child Neuropsychology: A Journal on Normal and Abnormal Development in Childhood and Adolescence*, 15(2), 120-135.
- Albani, G., Raspelli, S., Carelli, L., Morganti, F., Weiss, P. L., Kizony, R., ... Riva, G. (2010). Executive functions in a virtual world: a study in Parkinson's disease. *Studies in Health Technology and Informatics*, 154, 73-77.
- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed.). Washington, DC: Author.
- Barnes, D. E., Yaffe, K., Belfor, N., Jagust, W. J., Decarli, C., Reed, B. R., et Kramer, J. H. (2009). Computer-based cognitive training for mild cognitive impairment: Results from a pilot randomized, controlled trial. *Alzheimer disease associate disorder*, 23, 205-210.
- Boulc'h, L., Gaux, C., et Boujon, C. (2007). Implication des fonctions exécutives dans le décodage en lecture: étude comparative entre normolecteurs et faibles lecteurs de CE2. *L'acquisition du langage*, 52(1), 71-87.
- Burdea, G. C. (2003). Virtual rehabilitation – benefits and challenges. In *Methods of Information in Medicine* (Vol. 42, p. 519-523).
- Camara Lopez M. et Cleeremans A. (2016). Intérêts et limites de la réalité virtuelle en revalidation neuropsychologique. Dans X. SERON et M. VAN DER LINDEN (dir.) *Traité de neuropsychologie clinique de l'adulte* (2^e éd., vol. 2, p.389-410). Louvain-la-Neuve, Belgique : De Boeck Supérieur.
- Carelli, L., Morganti, F., Poletti, B., Corra, B., Weiss, P. L. T., Kizony, R., ... Riva, G. (2009). A NeuroVR based tool for cognitive assessment and rehabilitation of post-stroke patients: two case studies. *Studies in Health Technology and Informatics*, 144, 243-247.
- Castelnuovo, G., Lo Priore, C., Liccione, D., et Cioffi, G. (s. d.). Virtual Reality based tools for the rehabilitation of cognitive and executive functions: the V-STORE. *PsychNology Journal*, 1(3), 310-325.
- 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.
- 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.
- Cox, D. J., Brown, T., Ross, V., Moncrief, M., Schmitt, R., Gaffney, G., et Reeve, R. (2017). Can Youth with Autism Spectrum Disorder Use Virtual Reality Driving Simulation Training to Evaluate and Improve Driving Performance? An Exploratory Study. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 47(8), 2544-2555.
- Coyle, H., Traynor, V., et Solowij, N. (2015). Computerized and virtual reality cognitive training for individuals at high risk of cognitive decline: systematic review of the literature. *The American Journal of Geriatric Psychiatry: Official Journal of the American Association for Geriatric Psychiatry*, 23(4), 335-359.

- Cromby, J. J., Standen, P. J., Newman, J., et Tasker, H. (1996). Successful transfer to the real world of skills practiced in a virtual environment by students with severe learning difficulties. In *Proceedings of the First European Conference on Disability, Virtual Reality, and Assistive Technology* (Reading, p. 103-107). England: University of Reading.
- 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.
- Dahdah, M. N., Bennett, M., Prajapati, P., Parsons, T. D., Sullivan, E., et Driver, S. (2017). Application of virtual environments in a multi-disciplinary day neurorehabilitation program to improve executive functioning using the Stroop task. *NeuroRehabilitation*, 41(4), 721-734.
- Dehn, L. B., Kater, L., Piefke, M., Botsch, M., Driessen, M., et Beblo, T. (2018). Training in a comprehensive everyday-like virtual reality environment compared to computerized cognitive training for patients with depression. *Computers in Human Behavior*, 79, 40-52.
- Déjos, M., Sauzéon, H., et N'Kaoua, B. (2012). La réalité virtuelle au service de l'évaluation clinique de la personne âgée : le dépistage précoce de la démence. *Revue Neurologique*, 168(5), 404-414.
- Derouesné, J., Seron, X., et Lhermitte, L. (s. d.). Rééducation des patients atteints de lésions frontales. *Revue neurologique*, (131), 677-689.
- Erez, N., Weiss, P. L., Kizony, R., et Rand, D. (2013). Comparing performance within a virtual supermarket of children with traumatic brain injury to typically developing children: a pilot study. *OTJR: Occupation, Participation and Health*, 33(4), 218-227.
- Faria, A. L., Andrade, A., Soares, L., et I Badia, S. B. (2016). Benefits of virtual reality based cognitive rehabilitation through simulated activities of daily living: a randomized controlled trial with stroke patients. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 13(1), 96.
- Fuchs, P., Moreau, G., Berthoz, A., et Vercher, J.-L. (2006). *Le traité de la réalité virtuelle* (3^e éd., Vol. 1). Paris, France: Presse des mines.
- Fuchs, P., Moreau, G., Burkardt, J.-M., et Coquillart, S. (2006). *Le traité de la réalité virtuelle* (3^e éd., Vol. 2). Paris, France: Presse des mines.
- Galante, E., Venturini, G., et Fiaccadori, C. (s. d.). Computer-based cognitive intervention for dementia: preliminary results of a randomized clinical trial. *Giornale Italiano Di Medicina Del Lavoro Ed Ergonomia*, 29(3), 26-32.
- Gathercole, S. E., Alloway, T. P., Willis, C., et Adams, A.-M. (2006). Working memory in children with reading disabilities. *Journal of Experimental Child Psychology*, 93(3), 265-281.
- Gourlay, D., Lun, K. C., Lee, Y. N., et Tay, J. (2000). Virtual reality for relearning daily living skills. *International Journal of Medical Informatics*, 60(3), 255-261.

- Jacoby, M., Averbuch, S., Sacher, Y., Katz, N., Weiss, P. L., et 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.
- Joseph, P.-A., Sorita, É., Douguet, A.-S., Guiet, J.-L., Taruella, A., Mazaux, J.-M., et Klinger, E. (2010). Rééducation des troubles des fonctions exécutives et de l'attention après AVC. In *Accident vasculaire cérébral et médecine physique de réadaptation* (Springer-Verlag). Paris, France: B. Davenne et F. Lebreton.
- Klinger, E., Cao, X., Douguet, A.-S., et Fuchs, P. (2009). Designing an ecological and adaptable virtual task in the context of executive functions. *Studies in Health Technology and Informatics*, 144, 248-252.
- Klinger, E., Kadri, A., et al. (2013). AGATHE : a tool for personalized rehabilitation of cognitive functions based on simulated activities of daily living. *IRBM*, 34(2), 113-118.
- Klinger, E., Marié, R.-M., et Fuchs, P. (2006). Réalité virtuelle et sciences cognitives : Applications en Psychiatrie et Neuropsychologie. *Cahier romans de sciences cognitives*, 3(2), 1-31.
- Klinger, E., Marié, R.-M. et Viaud-Delmon, I. (2006). Application de la réalité virtuelle aux troubles cognitifs et comportementaux. Dans P. FUCHS, B. ARNALDI et P. GUITTON (dir.) *Le traité de la réalité virtuelle* (éd. 3, vol. 4, p. 121-158). Paris, France : Presse des mines.
- Krch, D., Nikelshpur, O. M., Lavrador, S., Chiaravalloti, N. D., König, S., et Rizzo, A. (2013). Pilot results from a virtual reality executive function task (p. 15-21). Présenté à 2013 International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR).
- La Paglia, F., La Cascia, C., Rizzo, R., Sideli, L., Francomano, A., et La Barbera, D. (2013). Cognitive rehabilitation of schizophrenia through NeuroVr training. *Studies in Health Technology and Informatics*, 191, 158-162.
- Larson, E. B., Feigon, M., Gagliardo, P., et Dvorkin, A. Y. (2014). Virtual reality and cognitive rehabilitation: a review of current outcome research. *NeuroRehabilitation*, 34(4), 759-772.
- Laver, Kate E., Lange, B., George, S., Deutsch, J. E., Saposnik, G., et Crotty, M. (2017). Virtual reality for stroke rehabilitation. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 11.
- Laver, K.E., Georges, S., Thomas, S., Deutsch, J. E., et Crotty, M. (2015). Virtual Reality for stroke rehabilitation. *Cochrane database of systematic reviews 2015*, (2).
- Le Gall, D., et Allain, P. (2001). Applications des techniques de réalité virtuelle à la neuropsychologie clinique. *Champ psychosomatique*, 22(2), 25-38.
- Le Gall, D., Besnard, J., Louisy, T., Richard, P., Allain. P. (2008). Utilisation de la réalité virtuelle en neuropsychologie clinique. *Neuropsychy*, 7 (4), pp.152-155.
- Lo Priore, C., Castelnuovo, G., et Liccione, D. (2002). Virtual environments in cognitive rehabilitation of executive functions. Présenté à 4th International conference on disability, virtual reality and associated technologies, Hungary.

- Lo Priore, C., Castelnovo, G., Liccione, D., et Liccione, D. (2003). Experience with V-STORE: considerations on presence in virtual environments for effective neuropsychological rehabilitation of executive functions. *Cyberpsychology & Behavior: The Impact of the Internet, Multimedia and Virtual Reality on Behavior and Society*, 6(3), 281-287.
- Meulemans T. (2008). L'évaluation des fonctions exécutives. Dans Godefroy O. et le GREFEX (dir.) *Fonctions exécutives et pathologies neurologiques et psychiatriques, évaluation en pratique clinique* (p.179-216). Bruxelles, Belgique : De Boeck Solal.
- Monteiro-Junior, R. S., da Silva Figueiredo, L. F., 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.
- Morganti, F. (2004). Virtual interaction in cognitive neuropsychology. *Studies in Health Technology and Informatics*, 99, 55-70.
- Plancher, G., Nicolas, S., et 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.
- Pijnenborg, G. H. M., Withaar, F. K., Brouwer, W. H., Timmerman, M. E., van den Bosch, R. J., et Evans, J. J. (2010). The efficacy of SMS text messages to compensate for the effects of cognitive impairments in schizophrenia. *The British Journal of Clinical Psychology*, 49(Pt 2), 259-274.
- Rand, D., Katz, N., et Weiss, P. L. (Tamar). (2007). Evaluation of virtual shopping in the VMall: Comparison of post-stroke participants to healthy control groups. *Disability and Rehabilitation*, 29(22), 1710-1719.
- Rand, D., Weiss, P. L. T., et Katz, N. (2009). Training multitasking in a virtual supermarket: a novel intervention after stroke. *The American Journal of Occupational Therapy: Official Publication of the American Occupational Therapy Association*, 63(5), 535-542.
- Riva, G., Carelli, L., Gaggioli, A., Gorini, A., Vigna, C., Algeri, D., ... Vezzadini, L. (2009). NeuroVR 1.5 in Practice: Actual Clinical Applications of the Open Source VR System. *Studies in Health Technology and Informatics*, 144, 57-60.
- Rizzo, A. , Cukor, J., Gerardis, M., et al. (2015). Virtual reality exposure for PTSD due to military combat and terrorist attacks. *Journal of Contemporary Psychotherapy*, 45(4), 255-264.
- Rose, F. D., Brooks, B. M., et Rizzo, A. A. (2005). Virtual reality in brain damage rehabilitation: review. *Cyberpsychology & Behavior: The Impact of the Internet, Multimedia and Virtual Reality on Behavior and Society*, 8(3), 241-262; discussion 263-271.
- Schuemie, M. J., Van der Straaten, P., Krijn, M., et Van der Mast, C. A. (2001). Research on presence in virtual reality: a survey. *Cyberpsychology & Behavior: The Impact of the Internet, Multimedia and Virtual Reality on Behavior and Society*, 4(2), 183-201.

- Schultheis, M. T., Himelstein, J., et Rizzo, A. A. (2002). Virtual Reality and Neuropsychology: Upgrading the Current Tools. *The Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 17(5), 378–394.
- Slater, M., et Wilbur, S. (1997). A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(6), 603-616.
- Sohn, B. K., Hwang, J. Y., Park, S. M., Choi, J.-S., Lee, J.-Y., Lee, J. Y., et 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.
- Tieri, G., Morone, G., Paolucci, S., et Iosa, M. (2018). Virtual reality in cognitive and motor rehabilitation: facts, fiction and fallacies. *Expert Review of Medical Devices*, 15(2), 107-117.
- Wang, M., et Reid, D. (2013). Using the virtual reality-cognitive rehabilitation approach to improve contextual processing in children with autism. *TheScientificWorldJournal*, 2013.
- Weiss, P. L., Rand, D., Katz, N., et Kizony, R. (2004). Video capture virtual reality as a flexible and effective rehabilitation tool. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 1, 12.
- Weiss, P. L. (Tamar), Kizony, R., Feintuch, U., et Katz, N. (2006). Virtual reality in neurorehabilitation. In *Textbook of Neural Repair and Rehabilitation* (p. 182-197). Cambridge: M. Selzer, L. Cohen, F. Gage, S. Clarke, P. Duncan.
- Witmer, B. G. et Singer, M. J. (1998). Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire. *Presence*, 7(3), 225-240.
- Yamaguchi, T., Foloppe, D., Richard, P., Richard, E., et Allain, P. (2013). A Dual-Modal Virtual Reality Kitchen for(Re)Learning of Everyday Cooking Activities In Alzheimer's Disease. *Presence*, 21(1), 43-57.
- Zygouris, S., Giakoumis, D., Votis, K., Doumpoulakis, S., Ntovas, K., Segkouli, S., ... Tsolaki, M. (2015). Can a virtual reality cognitive training application fulfill a dual role? Using the virtual supermarket cognitive training application as a screening tool for mild cognitive impairment. *Journal of Alzheimer's Disease: JAD*, 44(4), 1333-1347.

Sitographie

- Applications mobile Office de tourisme cherbourg cotentin | Office de Tourisme Cherbourg-Cotentin, Manche. (2011, mai 31). Consulté le 15 avril 2017, à l'adresse <http://www.cherbourgtourisme.com/pratique/loffice-de-tourisme/applications-mobile>
- Cochrane Library. (s. d.). Consulté le 15 novembre 2017, à l'adresse <http://www.cochranelibrary.com/>
- Glossary | Cochrane Community. (2017). Consulté le 3 septembre 2017, à l'adresse <http://community.cochrane.org/glossary>
- Google Scholar. (s. d.). Consulté le 5 janvier 2017, à l'adresse <https://scholar.google.fr/>

Haute Autorité de Santé - HAS - Accueil. (s. d.). Consulté le 30 octobre 2017, à l'adresse <https://www.has-sante.fr/portail/>

Pubmeddev. (s. d.). Consulté le 5 septembre 2017, à l'adresse <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>

Réalité augmentée. (s. d.). Consulté le 6 mai 2018, à l'adresse <https://www.apple.com/fr/ios/augmented-reality/>

Réalité virtuelle | Samsung Shop FR. (s. d.). Consulté le 6 mai 2018, à l'adresse <https://shop.samsung.com/fr/realite-virtuelle>

Filmographie

Spielberg, S., De Line, D., Farah, D. et Macosko Krieger, K. (producteurs), Spielberg, S. (réalisateur), Penn, Z. et Cline, E. (scénariste). (2018). *Ready player one* [science fiction]. États-Unis : Warner Bros. Pictures.



Département d'Orthophonie
Gabriel DECROIX

ANNEXES

DU MEMOIRE

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

Hélène FAISANT

**Orthophonie et réalité virtuelle : la rééducation
des fonctions exécutives
Recueil et analyse des données**

MEMOIRE dirigé par :

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

Lille – 2018