



**LA REEDUCATION DES TROUBLES DE L'EQUILIBRE LIES
AU VIEILLISSEMENT PHYSIOLOGIQUE CHEZ LA
PERSONNE AGEE :
QUELLE PLACE ET QUELS INTERETS DE LA REALITE
VIRTUELLE ?**

Revue de littérature





**LA REEDUCATION DES TROUBLES DE L'EQUILIBRE LIES
AU VIEILLISSEMENT PHYSIOLOGIQUE CHEZ LA
PERSONNE AGEE :
QUELLE PLACE ET QUELS INTERETS DE LA REALITE
VIRTUELLE ?**

Revue de littérature

Directrice de mémoire : Mme GUILHOT Christine, Cadre de Santé Rééducateur Masseur-
Kinésithérapeute Diplômée d'État

Remerciements

A travers cette page, j'ai à cœur de remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à l'aboutissement de ce mémoire.

➤ Je remercie tout d'abord ma directrice de mémoire, Madame GUILHOT Christine, pour son suivi, ses conseils, ses relectures ainsi que sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce mémoire.

➤ Je remercie également mon instituteur de CP, Monsieur Yvon DRAPIER, pour sa relecture ainsi que son aide précieuse dans la correction de la syntaxe, de la grammaire et de l'orthographe de ce travail. C'est avec lui que j'ai appris à lire et à écrire et voilà qu'aujourd'hui nous terminons ensemble ce travail qui, je l'espère, marquera la fin de mes études.

➤ Avec toute la gratitude qu'il m'est possible de donner, j'aimerais également remercier ma famille.

- Particulièrement mes parents, pour leur soutien financier et surtout moral, ainsi que pour leur amour inconditionnel. Merci d'avoir toujours cru en moi et de m'avoir soutenue sans relâche pendant ces cinq années d'études, qui n'ont pas toujours été faciles. Rien n'aurait été possible sans eux.

- Merci à mon frère aîné qui a aussi toujours cru en moi et qui m'a toujours soutenue et épaulée. Ses mots et ses conseils m'ont permis d'avancer plus sereinement.

- Merci à sa compagne pour son soutien et ses conseils.

- Je voulais également remercier ma grand-mère, pour son soutien, son amour, et pour la multitude de Tupperware qu'elle m'a préparés sans relâche, avec tout l'amour qui lui était possible de m'offrir.

➤ Je remercie sincèrement Madame Claire EYRAUD pour tout ce qu'elle m'a apporté personnellement et humainement.

➤ Je remercie mes amis de promotion pour tous les moments partagés durant ces quatre années de formation. Leur soutien et leur amitié ont été précieux pour moi.

➤ Je remercie enfin mes amis d'enfance qui, malgré le temps qui passe, sont toujours présents. J'espère que de longues années d'amitié nous attendent encore.

Glossaire

6MST = 6-Minute Stepper Test

ACT = Arm Curl Test

APA = Ajustement Postural Anticipé

AQ = Attitude Questionnaire

AVQ = Activités de la Vie Quotidienne

BBS = Berg Balance Scale

BRU = Balance Rehabilitation Unit

CDG = Centre de Gravité

CDM = Centre de Masse

COP = Center of Pressure / CDP= Centre de Pression

CP = Contrôle Postural

CSG = Court Séjour Gériatrique

DART = Dynamic Acceptance Model for the Reevaluation of Technologies

DMLA = Dégénérescence Maculaire Liée à l'Age

DT = Double Tâche

EHPAD = Etablissement d'Hébergement pour Personne Agée Dépendante

FES-I = Falls Efficacy Scale International

FGA = Functional Gait Assessment

FRT = Functional Reach Test / FFR = Forward Functional Reach

FSST = Four Square Step Test

FTSS = Five Time Sit to Stand

GDS = Geriatric Depression Scale

HAS = Haute Autorité de Santé

IF = Impact Factor

IMI = Intrinsic Motivation Inventory

INPES = Institut National de Prévention et d'Education pour la Santé

INSEE = Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

INSERM = Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale

LOS = Limity of stability / LDS = Limite de Stabilité

MK = Masseur-Kinésithérapeute

MoCA = Montreal Cognitive Assessment

OERS = Observed Emotion Rating Scale

OLG = One Leg Balance

OMS = Organisation Mondiale de la Santé

OPI = Overall Performance Index

PA = Personne Agée

PACES = Physical Activity Enjoyment Scale

PPA = Physiological Profile Assessment

QDV = Qualité De Vie

RA = Réalité Augmentée

RC = Rééducation Conventiionnelle

RM = Réalité Mixte

RSM = Reprogrammation Sensori-Motrice

RV = Réalité Virtuelle

SAFFE = Survey of Activities and Fear of Falling in the Elderly

SNC = Système Nerveux Central

SPPB = Short Physical Performance Battery

SSQ = Simulator Sickness Questionnaire

SSR = Soins de Suite et Réadaptation

SUS = System Usability Scale

TAM = Technology Acceptance Model

TDM2 = Test De Marche de 2 minutes

TDM6 = Test De Marche de 6 minutes

TMM = Test Moteur Minimum

TST = Ten Step Test

TUG = Timed Up and Go

USLD = Unité de Soins de Longue Durée

USQ = User Satisfaction Questionnaire

VST = Visual Span Test

WCT = Word Color Test

YF = Yeux Fermés

YO = Yeux Ouverts

Sommaire

1. INTRODUCTION.....	1
1.1 LA GERIATRIE.....	1
1.2 LES TROUBLES DE L'EQUILIBRE LIES AU VIEILLISSEMENT PHYSIOLOGIQUE	2
1.3 LA REALITE VIRTUELLE	3
1.4 INTERET DE LA THEMATIQUE	3
2. CADRE THEORIQUE	4
2.1 TROUBLES DE L'EQUILIBRE CHEZ LA PERSONNE AGEE.....	4
2.1.1 <i>Origine des troubles de l'équilibre de la personne âgée</i>	4
2.1.1.1 Différents troubles de l'équilibre	4
2.1.1.2 Vieillissement physiologique des systèmes impactant l'équilibre	4
2.1.2 <i>Retentissement des troubles de l'équilibre chez la personne âgée</i>	6
2.1.2.1 Chute	6
2.1.2.2 Conséquences de la chute.....	6
2.1.3 <i>Détecter les troubles de l'équilibre chez la personne âgée</i>	7
2.1.3.1 Tests fonctionnels.....	7
2.1.3.2 Marche et “stop walking when talking”	8
2.1.3.3 Ajustements Posturaux Anticipés.....	9
2.1.3.4 Amplitudes et stabilités articulaires	9
2.1.3.5 Force musculaire	9
2.1.3.6 Posturographie.....	9
2.1.3.7 Evaluation systémique et Equimog	9
2.2 PRISE EN CHARGE REEDUCATIVE DE LA PERSONNE AGEE.....	10
2.2.1 <i>Parcours de soins de la personne âgée ayant des troubles de l'équilibre</i>	10
2.2.1.1 Différents temps de prise en charge	10
2.2.1.2 Différents lieux de prise en charge.....	10
2.2.1.3 Bénéfices attendus de la rééducation	11
2.2.2 <i>Méthodes de rééducation de l'équilibre</i>	11
2.2.2.1 Double tâche.....	11
2.2.2.2 Equilibres statique et dynamique	11
2.2.2.3 Feedback.....	11
2.2.2.4 Reprogrammation sensori-motrice	12
2.2.2.5 Thérapie manuelle	12
2.2.2.6 Balnéothérapie.....	12
2.2.2.7 Automatismes posturaux	12
2.2.2.8 Nouvelles technologies	12
2.3 REALITE VIRTUELLE	13
2.3.1 <i>Définition [54][55][56]</i>	13
2.3.1.1 Définition technique	13
2.3.1.2 Idées reçues	14
2.3.1.3 Réalité augmentée et réalité mixte	14

2.3.2	<i>Rôles dans la rééducation de l'équilibre de la personne âgée [57][58]</i>	14
2.3.2.1	Avantages	14
2.3.2.2	Inconvénients	15
2.3.3	<i>Différentes interfaces</i>	15
2.3.3.1	Plateforme de force	15
2.3.3.2	Capture de mouvements	16
2.3.3.3	Visiocasque	16
2.3.3.4	Salle immersive	16
2.3.3.5	Ecran simple	16
3.	SYNTHESE DU CADRE THEORIQUE ET PROBLEMATIQUE	17
4.	METHODOLOGIE DE RECHERCHE	17
4.1	FORMATION DU CADRE THEORIQUE	17
4.1.1	<i>Définition du cadre de la thématique</i>	17
4.1.2	<i>Recommandations</i>	18
4.1.3	<i>Acquisition de connaissances fondamentales actualisées</i>	18
4.2	ORGANISATION DES RESULTATS	18
4.2.1	<i>Mots-clés et équations de recherche</i>	18
4.2.2	<i>Bases de données</i>	19
4.2.3	<i>Critères de sélection</i>	21
4.2.4	<i>Critères d'inclusion et d'exclusion</i>	21
4.2.5	<i>Articles retenus</i>	22
5.	RESULTATS	23
5.1	IMPACT DE LA REALITE VIRTUELLE SUR LE CONTROLE POSTURAL	23
5.1.1	<i>Variations du centre de pression</i>	23
5.1.1.1	Centre de pression et plateforme de force	23
5.1.1.2	Centre de pression et capture de mouvements	25
5.1.1.3	Centre de pression et visiocasque	26
5.1.1.4	Centre de pression et système CAVE	27
5.1.2	<i>Effets sur l'équilibre fonctionnel statique et dynamique</i>	27
5.1.2.1	Equilibre fonctionnel et plateforme de force	27
5.1.2.2	Equilibre fonctionnel et capture de mouvements	29
5.1.2.3	Equilibre fonctionnel et tapis de marche associé à la réalité virtuelle	31
5.1.2.4	Equilibre fonctionnel et télé-rééducation	31
5.1.3	<i>Conséquences sur les paramètres de marche</i>	31
5.1.3.1	Paramètres de marche et plateforme de force	31
5.1.3.2	Paramètres de marche et capture de mouvements	32
5.1.3.3	Paramètres de marche et tapis de marche associé à la réalité virtuelle	32
5.2	SYSTEMES ET FONCTIONS PARTICIPANT INDIRECTEMENT A L'EQUILIBRE	32
5.2.1	<i>Système cardio-respiratoire</i>	33
5.2.2	<i>Système musculaire</i>	33
5.2.3	<i>Fonctions supérieures</i>	34
5.2.4	<i>Activité cérébrale</i>	34
5.2.5	<i>Système circulatoire</i>	35

5.3	PERCEPTION DE LA REALITE VIRTUELLE PAR LES PERSONNES AGEES	35
5.3.1	<i>Acceptabilité et adhésion</i>	35
5.3.1.1	Perception des plateformes de force.....	35
5.3.1.2	Perception de la capture de mouvements	36
5.3.1.3	Perception des visiocasques	37
5.3.1.4	Perception des tapis de marche couplés à la réalité virtuelle	37
5.3.1.5	Perception des systèmes CAVE	37
5.3.1.6	Perception de la réalité virtuelle par les professionnels de santé	38
5.3.2	<i>Conséquences sur les chutes</i>	38
5.3.2.1	Nombre et risque de chute.....	38
5.3.2.2	Rapport des personnes âgées face à la chute	39
5.3.2.3	Qualité de vie	39
5.3.3	<i>Efficacité de la réalité virtuelle</i>	40
6.	DISCUSSION	41
6.1	SYNTHESE DES RESULTATS.....	41
6.2	RETOUR SUR QUELQUES RESULTATS PRINCIPAUX.....	43
6.2.1	<i>Résultats concernant l'équilibre</i>	43
6.2.1.1	Variation du périmètre du centre de pression.....	43
6.2.1.2	Equilibre fonctionnel.....	44
6.2.1.3	Paramètres de marche.....	46
6.2.2	<i>Résultats concernant les paramètres indirects à l'équilibre</i>	46
6.2.2.1	Système cardio-respiratoire.....	47
6.2.2.2	Force musculaire	47
6.2.2.3	Fonctions supérieures	48
6.2.3	<i>Résultats sur la perception de la réalité virtuelle</i>	48
6.2.3.1	Acceptabilité et adhésion	48
6.2.3.2	La chute	50
6.3	PRINCIPAUX BIAIS DANS LES ETUDES.....	50
6.3.1	<i>Biais d'échantillon</i>	51
6.3.2	<i>Hétérogénéité des protocoles</i>	52
6.3.2.1	Différentes posologies.....	52
6.3.2.2	Différents modèles de réalité virtuelle et conflits d'intérêts	52
6.3.2.3	Des séances différentes	54
6.3.3	<i>Méthodes d'évaluation</i>	54
7.	CONCLUSION	55
7.1	APPORT PERSONNEL DE CE MEMOIRE	56
7.2	REPONSE A LA PROBLEMATIQUE.....	57
7.2.1	<i>Apports selon le temps de la prise en charge</i>	57
7.2.1.1	Apport préventif	57
7.2.1.2	Apport évaluatif.....	58
7.2.1.3	Apport curatif	58
7.2.2	<i>Apports par rapport à la rééducation conventionnelle</i>	59
7.2.3	<i>Apports dans différents lieux d'exercices</i>	59
7.3	LIMITE : LA REALITE VIRTUELLE EN PRATIQUE	60

7.4	RECOMMANDATIONS.....	62
7.4.1	<i>Quels appareils pour quels objectifs ?</i>	62
7.4.2	<i>Quelle posologie ?</i>	63
7.4.3	<i>Le patient au centre de sa rééducation</i>	64
7.5	OUVERTURE	64

1. Introduction

Dans l'introduction qui marque le début de ce mémoire, j'aimerais exposer ce qui m'a amenée à choisir le thème des troubles de l'équilibre liés au vieillissement physiologique chez la personne âgée (PA), étudié au travers de l'outil de la réalité virtuelle (RV). J'expliquerai dans un premier temps pourquoi j'ai choisi de réaliser ce travail sur la population gériatrique. J'expliquerai ensuite ce qui m'a amenée à choisir les troubles de l'équilibre causés par le vieillissement physiologique plutôt que par une pathologie précise et enfin ce qui m'a conduit à la RV.

1.1 La gériatrie

Actuellement, nous sommes face à une population vieillissante et selon l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE), à la date du 1er janvier 2018, « 13,1 millions de personnes résidant en France ont 65 ans ou plus », ce qui représente 20 % de la population. Dans cette population, un peu plus de la moitié sont des femmes qui ont une espérance de vie plus longue que les hommes. Ceci explique que leur proportion augmente en même temps que l'augmentation de l'âge, représentant ainsi « 52% des personnes âgées de 65 ans, mais près des deux tiers de celles de 85 ans et plus des trois quarts de celles de 95 ans » [1].

Ce phénomène de vieillissement de la population n'est pas une nouveauté puisqu'il est lié au pic de naissance issu du baby-boom, datant de l'après-guerre. Il est estimé que la part des PA va continuer de s'accroître jusqu'en 2060 pour ensuite se stabiliser progressivement. On estime qu'à cette date, 23,6 millions de personnes auront plus de 60 ans, ce qui représente plus du double qu'actuellement [2]. Ce vieillissement est également corrélé à une augmentation de l'espérance de vie grâce aux progrès scientifiques, notamment sur le plan médical. De nos jours, l'espérance de vie à la naissance d'un homme est de 79,5 ans contre 85,3 ans pour les femmes [1]. En plus de ces progrès, le taux de fécondité diminue ce qui renforce encore plus cette tendance démographique [3].

Par conséquent, la prise en charge des PA est au cœur des enjeux de santé publique sur le plan national, avec notamment trois axes principaux qui traitent de la prévention des pathologies chroniques, de l'accès aux soins appropriés en fonction de l'âge et de la création de structures adaptées à cette population [3]. L'objectif étant d'inclure au mieux les PA dans la société afin qu'elles y vivent le plus longtemps possible dans des conditions de vie favorables. Si les PA sont au centre de l'intérêt de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), il n'en a pas toujours été de même dans le milieu de la rééducation.

En effet, en masso-kinésithérapie, la prise en charge de ces patients a longtemps été mise de côté par les rééducateurs. C'est seulement depuis les années 2000 qu'en rééducation les premières recommandations apparaissent et que la prise en charge des PA prend son essor et devient une spécialité à part entière [4]. La naissance de cette spécialité est pour moi très importante car la rééducation des PA a tout intérêt à se développer afin de concourir à la

conservation à long terme de la meilleure qualité de vie (QDV). L'augmentation de l'espérance de vie est une bonne chose, sous réserve que les années gagnées soient des années de vie en bonne santé ; c'est pourquoi je pense que la masso-kinésithérapie a un rôle important à jouer sur ce point.

D'autre part, mon intérêt professionnel pour la gériatrie s'est renforcé au fur et à mesure de ma formation durant les stages que j'ai effectués pour la plupart dans des centres de rééducation et des hôpitaux. J'ai donc eu l'occasion de prendre en charge des PA dans le cadre de spécialités variées avec par exemple des PA atteintes de pathologies neurologiques, cardio-respiratoires ou encore musculo-squelettiques. Mais c'est principalement pendant mon stage effectué au Centre de Rééducation et de Réadaptation (CRR) du CHU de Dijon, en service polyvalent, validant la spécialité musculo-squelettique, que la gériatrie m'a touchée.

1.2 Les troubles de l'équilibre liés au vieillissement physiologique

Durant ce stage, la majorité des patients que j'ai pris en charge étaient âgés et venaient en rééducation soit dans des suites de chirurgie orthopédique pour pose de PTH ou PTG, soit dans un contexte post-chute, que ce soit pour une primo-chute ou pour des chutes à répétition. C'est dans ce contexte que j'ai fait la rencontre de Mme R, qui a été l'initiatrice d'un travail pédagogique lors de ma 2^{ème} année de formation et qui m'a conduit à poursuivre ce travail dans le cadre de ce mémoire. Mme R était une dame âgée de 86 ans qui venait suite à une chute à domicile, mais qui ne présentait pas de pathologies spécifiques l'expliquant. Elle a simplement, je cite, « perdu l'équilibre à la maison ».

Ce genre de situation est très fréquent dans les services de rééducation. Certes, la chute peut venir d'une pathologie précise, que ce soit des atteintes du système nerveux ou musculo-squelettique par exemple ; mais parfois, elle survient alors que rien ne pouvait la prédire. Le vieillissement physiologique des systèmes d'équilibration est alors incriminé, même si d'autres facteurs interviennent également.

Selon l'OMS et l'Institut National de Prévention et d'Education pour la Santé (INPES), la chute représente la « deuxième cause de décès accidentels ou de décès par traumatisme involontaire dans le monde » et même la première dans les accidents de la vie courante en France [5][6]. Elle concerne plus particulièrement les personnes avec des âges extrêmes, c'est-à-dire, les sujets jeunes et les sujets âgés. Il est donc important de prévenir la chute et de la prendre en charge puisqu'elle peut mener jusqu'au décès. Sans aller jusqu'à des suites si dramatiques, elle peut entraîner de nombreuses autres conséquences chez la PA, notamment sur le plan de l'autonomie. La chute peut donc considérablement atteindre la QDV de la PA.

C'est pourquoi il me tenait à cœur de traiter dans ce mémoire la prise en charge des troubles de l'équilibre car ce sont eux qui sont, dans la plupart des cas, les responsables de la chute. Je n'ai pas souhaité traiter des troubles de l'équilibre liés à une pathologie spécifique car il me semblait que, déjà, de nombreuses chutes étaient simplement déclenchées suite au vieillissement physiologique. De plus, s'intéresser au vieillissement physiologique me semble important pour répondre à l'objectif d'un vieillissement de qualité en conservant le plus

longtemps possible les années de vies en bonne santé. Cette revue de littérature s'inscrit donc dans une démarche d'amélioration de la QDV des PA. Au-delà des PA, elle concerne également la QDV de toute la population puisqu'à notre tour, nous deviendrons tous âgés.

1.3 La Réalité Virtuelle

Parallèlement à ces constats, un outil de rééducation se développe de plus en plus en rééducation : c'est la RV, dont j'ai eu la connaissance à travers des articles scientifiques. Pour le moment, son utilisation est surtout développée pour des populations atteintes de pathologies neurologiques, mais son usage commence à se développer en gériatrie. Je trouve d'ailleurs intéressant d'envisager l'utilisation d'un outil technologique aussi récent, presque futuriste pour certains appareils, chez une population âgée qui n'a pas eu l'habitude de vivre en utilisant ce genre de modernité. Les premières études qui s'intéressent à l'usage de la RV en gériatrie, même si elles sont encourageantes, restent très hétérogènes et floues. De plus, il n'existe aucune recommandation sur l'usage de la RV, que ce soit en gériatrie ou dans d'autres spécialités.

Par ailleurs, le choix de la RV à travers ce mémoire s'est trouvé renforcé lors de la prise en charge de Mme R, présentée précédemment. Nous avons en effet réalisé plusieurs de nos séances de rééducation en utilisant la plateforme de la Wii™ ce qui m'avait déjà conduit à la réalisation d'un travail pédagogique lors de ma 2^{ème} année de formation. Ayant déjà, de par ma sensibilité personnelle, un certain attrait pour les jeux vidéo, je me suis tout de suite intéressée au fait de pouvoir les utiliser dans mon futur métier grâce au développement de la RV. En revanche, et paradoxalement, je trouve que la technologie peut parfois trop empiéter sur le contact humain, que ce soit dans la rééducation mais également dans notre société. Je me suis alors demandée comment je pourrais l'utiliser au mieux dans ma pratique masso-kinésithérapique afin d'être réellement efficace et de la proposer avec un véritable objectif rééducatif. Mais aucune recommandation et aucune étude n'ont réellement répondu à mes questions.

1.4 Intérêt de la thématique

C'est en suivant ce fil conducteur que je vais réaliser ma revue de l'art. Elle me permettra d'investiguer d'une part, la prise en charge actuelle des troubles de l'équilibre liés au vieillissement physiologique chez les PA et d'autre part, la place qu'occupe la RV dans cette rééducation. Cette synthèse de l'art s'inscrit dans une démarche qui vise à inclure au mieux les avancées technologiques dans la rééducation, afin de les utiliser de la meilleure manière qui soit dans la prise en charge de nos patients âgés.

2. Cadre théorique

2.1 Troubles de l'équilibre chez la personne âgée

2.1.1 Origine des troubles de l'équilibre de la personne âgée

2.1.1.1 Différents troubles de l'équilibre

Les PA peuvent être atteintes de différents troubles de l'équilibre, comme des troubles vestibulaires, neurologiques, orthopédiques, cardiovasculaires ou encore psychologiques [7]. Il peut également s'agir de pathologies plus précises comme des vertiges positionnels paroxystiques bénins où lors d'une poly-médication par exemple [8]. Ces différents troubles ayant des origines et des conséquences variables n'entraînent donc pas la même rééducation. C'est pourquoi il est important de les distinguer [9]. Dans ce mémoire, je ne traiterai que des troubles de l'équilibre liés au processus du vieillissement physiologique, pour les raisons expliquées dans mon introduction.

2.1.1.2 Vieillesse physiologique des systèmes impactant l'équilibre

Lors du vieillissement physiologique, tous les systèmes de l'organisme se modifient. Il est important de parler de modifications et non pas d'altérations car le vieillissement ne constitue pas un déficit en soi mais plutôt une modification du fonctionnement des systèmes. Je n'aborderai dans ce cadre théorique que les modifications jouant un rôle prépondérant dans les troubles de l'équilibre [10].

- Systèmes nerveux central, périphérique et autonome

Au cours du vieillissement, il y a une modification du système nerveux central (SNC). Le nombre de neurones diminue et la communication inter neuronale s'appauvrit suite à des modifications quantitatives et qualitatives des neurotransmetteurs. La transmission d'informations nerveuses diminue ce qui conduit à une « augmentation du temps de réaction » [10]. Les réactions d'adaptation posturale sont donc ralenties, et les phénomènes d'équilibration perturbés, entraînant un risque de chute accru. A cela s'ajoute, le vieillissement du système nerveux périphérique qui va lui aussi dans le sens d'une instabilité posturale, avec une diminution du nombre de fibres et de récepteurs sensitifs. Ceci altère la réception d'informations sensitives du système proprioceptif. Quand au système nerveux autonome, il va avoir une baisse de l'adaptation vasoconstrictrice qui peut entraîner des problèmes d'hypotension orthostatique, créant ainsi des déséquilibres lors des changements de positions [10].

- Mémoire motrice

La mémoire motrice est « un lieu de stockage pour les programmes moteurs acquis au cours de la vie » [10]. Elle favorise les automatismes en transformant des mouvements volontaires en mouvements automatiques et en créant des circuits neuronaux qui facilitent les mouvements, les gestes et les déplacements grâce à une automatisation qui est favorisée par la répétition. Plus un geste est répété, plus le SNC va l'intégrer et l'automatiser afin d'en réduire les dépenses énergétiques dans un but d'économie [11]. Des circuits neuronaux sont fabriqués pour des actions qui sont souvent répétées. Si la personne ne les réalise plus, la mémoire motrice va alors les effacer pour éviter de se surcharger avec des circuits neuronaux qui ne sont plus utilisés [10].

C'est ce qui se passe au cours du vieillissement si la personne devient inactive. Au début, ce sont les circuits neuronaux les plus complexes, codant des gestes très spécifiques, qui sont atteints, ce qui n'engendre pas de conséquences immédiates. Le problème survient quand ce sont des circuits neuronaux plus « primitifs », codant par exemple « l'équilibration, l'adaptation posturale ou encore la marche », qui s'amenuisent. Nous comprenons alors pourquoi la PA peut se retrouver en difficulté dans des activités qui lui étaient autrefois aisées [10].

- Systèmes osseux, articulaire et musculaire

Concernant le système osseux, on note l'apparition d'ostéoporose lors du vieillissement, surtout chez la femme. L'Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (INSERM) la définit comme étant une « maladie du squelette caractérisée par une diminution de la masse de l'os et une détérioration interne du tissu osseux. Elle rend les os plus fragiles et accroît donc considérablement le risque de fracture » [12]. Ceci ne conduit pas à des risques de chutes accrus mais en cas de chutes, les conséquences peuvent être plus sévères [10].

Le cartilage du système articulaire va, lui, perdre ses propriétés de lubrification et de protection et la qualité de ses récepteurs articulaires peut se détériorer, ce qui atteint la sensibilité profonde inconsciente du sujet [10]. La proprioception, les amplitudes articulaires et par conséquent, les phénomènes d'équilibration, peuvent également être perturbés par l'apparition potentielle d'ostéophytes lors de phénomènes arthrosiques [13].

Au fil du temps, les propriétés des muscles se modifient également. Leur composition change et leur masse diminue. Ceci est lié au phénomène physiologique appelé sarcopénie qui est une « une perte progressive et généralisée de la force et de la masse musculaire squelettique » [14]. La masse maigre diminue au profit de la masse grasse. Ces modifications impactent les capacités fonctionnelles de la personne et peuvent entraîner une gêne dans ses activités de la vie quotidienne (AVQ). Les premiers muscles atteints sont les muscles posturaux ce qui altère les réactions d'adaptation posturale et d'équilibration [10].

- Systèmes proprioceptif, visuel et vestibulaire

La proprioception représente la perception, consciente ou inconsciente, qu'a le sujet de son corps. Pour cela, elle regroupe de nombreux récepteurs sensitifs qui, au fil du temps, vont voir leur quantité et leur qualité diminuer [10]. Par conséquent, le SNC sera moins informé sur la position de ses segments corporels. Certaines zones du corps, comme le pied, sont plus touchées lors du vieillissement [15][16]. Le pied est un capteur riche en récepteurs proprioceptifs avec

notamment un capiton plantaire très épais qui va s'affiner lors du vieillissement. Or, ce pied est un élément clé pour l'équilibre de la PA.

Les systèmes visuel et vestibulaire complètent la proprioception, mais en vieillissant ils se modifient également [10]. L'œil subit des transformations sur lesquelles des pathologies peuvent se greffer comme la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA) ou la cataracte par exemple. Le champ visuel est réduit et l'accommodation est plus difficile or la vision est une entrée sensorielle importante chez la PA [17].

- Stratégies d'équilibration

La première stratégie mise en place lors d'un déséquilibre est la stratégie de cheville. Le sujet essaye d'adapter sa posture en modifiant ses amplitudes articulaires de cheville, à l'instar d'un pendule inversé. Pour cela, des amplitudes physiologiques sont nécessaires or l'articulation talo-crurale a tendance à s'enraidir, laissant place à un déficit de flexion dorsale, fréquemment retrouvé chez le sujet âgé. S'installe alors une stratégie de hanche, moins efficace [10].

2.1.2 Retentissement des troubles de l'équilibre chez la personne âgée

2.1.2.1 Chute

La conséquence directe des troubles de l'équilibre est la chute. La chute est un « événement à l'issue duquel une personne se retrouve, par inadvertance, sur le sol ou toute autre surface située à un niveau inférieur à celui où elle se trouvait précédemment » [5]. Une PA qui chute régulièrement est considérée comme « chuteuse » ; on parle également de patient « chuteur ». Il existe trois catégories de chuteurs, selon leur fréquence de chutes : les chuteurs accidentels, occasionnels et à répétition [10]. La prise en charge des chutes est primordiale pour les PA, afin de récupérer la meilleure autonomie possible [18][19].

2.1.2.2 Conséquences de la chute

- Conséquences physiques

La chute entraîne des conséquences physiques comme un risque fracturaire, par exemple du col fémoral de la hanche. Ces fractures peuvent conduire à de lourdes répercussions avec une hospitalisation, souvent associée à une immobilisation prolongée. Or, nous savons que rester immobilisé en décubitus dorsal pendant une longue durée est délétère pour la PA et va grandement impacter son autonomie et son retour à domicile [20].

- Conséquences psychiques

Les impacts psychiques qu'engendre la chute ne doivent pas non plus être négligés. Chuter peut conduire à une kinésiophobie, des syndromes post-chute, des syndromes de désadaptation

psychomotrice ou encore des syndromes de fragilité qui se répercutent sur l'autonomie de la personne, d'autant plus que le temps resté au sol a été long. De plus, il ne faut pas oublier que la chute est synonyme d'échec dans l'inconscient collectif et renvoie la PA à ses difficultés. Aucune conséquence de la chute n'est bénigne, d'où l'importance de les détecter avant qu'elles ne se produisent.

2.1.3 Détecter les troubles de l'équilibre chez la personne âgée

Dans ses recommandations, la Haute Autorité de Santé (HAS) préconise dans un premier temps de rechercher les facteurs de risque de la chute. Ces facteurs comprennent à la fois les facteurs prédisposants, reflet de l'état de santé de la personne et les facteurs précipitants qui sont des éléments plus ponctuels, qui peuvent venir perturber l'équilibre des PA [18]. La HAS recommande dans un deuxième temps de réaliser plusieurs tests pour identifier l'origine des troubles. Dans ce cadre théorique, je ne décrirai que les tests concernant les troubles de l'équilibre liés au vieillissement physiologique. Ces tests sont également proposés sous forme d'arbres décisionnels dans la prise en charge des PA (**Annexe I, Ibis**) [10][21][22].

2.1.3.1 Tests fonctionnels

- Timed Up and Go test

Le Timed Up and Go (TUG) est un test qui consiste à détecter les patients ayant un risque de chute (**Annexe II**). Il évalue aussi bien l'équilibre statique que dynamique. Au départ du test, le patient est assis sur une chaise avec accoudoirs. Il doit se lever en les utilisant ou non, marcher trois mètres, faire demi tour puis revenir s'asseoir sur le fauteuil initial. Le patient sera considéré potentiellement chuteur s'il met plus de 20 secondes à réaliser le test et qu'il a des antécédents de chutes [18]. Une variante du TUG, le 7mTUG, existe ; le patient doit alors parcourir sept mètres au lieu de trois. Il existe également une version instrumentalisée, l'iTUG, qui propose en plus du chronométrage habituel, d'enregistrer la cinétique des articulations du patient grâce un téléphone placé en regard de l'articulation souhaitée.

- Tinetti

Le test de Tinetti évalue l'équilibre statique (/16) et l'équilibre dynamique (/12). Un score total inférieur à 26 signe une altération de l'équilibre [21]. Ce qui est intéressant avec ce test c'est qu'il analyse point par point les différentes conditions nécessaires à un bon équilibre. Cela permet d'en tirer des objectifs de rééducation afin de s'adapter aux déficits de chaque patient.

- Berg Balance Scale

Le Berg Balance Scale (BBS) évalue l'équilibre dynamique des patients sur des gestes courants de la vie quotidienne. Il est finalisé sous forme d'un score qui, s'il est supérieur à 45 est prédictif d'un faible risque de chute.

- Test Moteur Minimum

Le Test Moteur Minimum (TMM) évalue les capacités globales du sujet âgé dans différentes positions. Il est souvent réalisé lorsque le test de Tinetti est trop difficile à appliquer chez des PA fragiles [21].

- Functional Reach Test

Le Functional Reach Test (FRT), encore appelé Forward Functional Reach (FFR), est un test prédictif de chute très utilisé dans les études en gériatrie. Le sujet doit amener son bras le plus loin possible devant lui tout en conservant ses pieds au même endroit. La mesure de la distance parcourue par le bras se réfère à des normes prédictives de chute [23].

- Test d'appui unipodal

Le test d'appui unipodal évalue l'équilibre statique de la personne. Le risque de chute est élevé si l'appui unipodal dure moins de cinq secondes et très faible s'il dure plus de 30 secondes.

2.1.3.2 Marche et "stop walking when talking"

L'évaluation de la marche chez la PA est également très importante. Elle peut se faire seule mais peut aussi être reprise item par item avec des tests comme le Tinetti ou le TUG. Des tests quantitatifs (vitesse de marche, périmètre de marche) et qualitatifs sont nécessaires. Lors de l'évaluation on peut demander au patient de réaliser une double tâche (DT) plus ou moins complexe, c'est le test « stop walking when talking ». Il est admis que les patients qui ont des difficultés à marcher en condition de DT ont plus de risques d'avoir des troubles de l'équilibre [24][25].

2.1.3.3 Ajustements Posturaux Anticipés

Les Ajustements Posturaux Anticipés (APA) sont la clé de toutes les adaptations de l'équilibre. Ce sont des contractions toniques des muscles posturaux qui interviennent avant même que le mouvement ne se réalise [26]. Ces APA peuvent être évalués lors du test de poussée sternale qui consiste à en réaliser trois sur le sternum du patient via la paume de la main du praticien. Un déséquilibre lors de ce test est prédictif de chute [18].

2.1.3.4 Amplitudes et stabilités articulaires

Les amplitudes et les stabilités articulaires sont importantes à investiguer car leurs limitations peuvent entraîner des gênes dans les AVQ et dans l'équilibre des PA. La conservation de la mobilité de l'articulation talo-crurale, surtout en flexion dorsale, devra être particulièrement surveillée car son déficit limite fortement l'équilibre. Le travail articulaire de la cheville sera donc un axe majeur en rééducation [27][28][29].

2.1.3.5 Force musculaire

La force musculaire de la PA est le reflet de sa sarcopénie, qui est un prédicteur de chute. Pour l'évaluer, le Five Times Sit to Stand (FTSS) test est recommandé. Il chronomètre le temps mis par le sujet pour s'asseoir et se relever cinq fois d'une chaise, sans s'aider des membres supérieurs [30]. Le test assis-debout 30 secondes peut également être réalisé. La force musculaire peut aussi être investiguée par des appareils d'isocinétisme ou des dynamomètres et son évaluation peut-être complétée par des tests d'endurance comme le test de marche de six minutes (TDM6).

2.1.3.6 Posturographie

L'équilibre est de plus en plus évalué avec des plateformes de posturographie qui fournissent des résultats précis et reproductibles. Les variables souvent mesurées sont les déplacements du Centre De Pression (CDP) dans différentes conditions, par exemple les yeux ouverts (YO) et les yeux fermés (YF) [31][32].

2.1.3.7 Evaluation systémique et Equimog

Même si les tests fonctionnels décrits précédemment restent très utilisés, ils ne permettent pas de déterminer l'origine du trouble de l'équilibre. Ils relatent simplement son existence.

Actuellement, de nouveaux tests apparaissent pour pallier à cela. Ce sont les tests d'évaluation systémique. **Horak et al** ont proposé une évaluation systémique des fonctions de la PA, appelée « BESTest » qui met en évidence le système défaillant à l'origine du trouble de l'équilibre. Sa version raccourcie « mini BESTest », existe également. Cela permet de faciliter le bilan diagnostique kinésithérapique et les axes de rééducation qui en découlent [33][34]. En France, un test à peu près équivalent existe : le test EquiMog. Sa validité n'est pas encore démontrée mais il reste intéressant pour faciliter le développement des axes de rééducation [35].

2.2 Prise en charge rééducative de la personne âgée

2.2.1 Parcours de soins de la personne âgée ayant des troubles de l'équilibre

2.2.1.1 Différents temps de prise en charge

Souvent, les PA ayant des troubles de l'équilibre ne sont jamais prises en charge en amont de leur chute. La chute arrive, puis, selon ses conséquences, débute ou non une prise en charge. La rééducation masso-kinésithérapique n'intervient donc qu'en aval, une fois les déficits déjà installés, ce qui en réduit les bénéfices. Actuellement, les seules recommandations en matière de prévention des chutes, selon la HAS, consiste à interroger l'entourage sur le risque de chute et à analyser les facteurs de risque de la personne [36]. C'est seulement quand un risque est détecté, qu'il est recommandé de réaliser les tests précédemment décrits. Or, la problématique d'aujourd'hui repose sur le fait que les PA ne sont adressées en rééducation que s'il y a déjà eu un problème. Par conséquent, le dépistage des risques n'est pas réalisé ou alors seulement lorsque la chute a déjà eu lieu.

2.2.1.2 Différents lieux de prise en charge

Différents lieux de prise en charge existent après une chute. Ils dépendent de la gravité de la chute, de sa date, et du moment de sa prise en charge. La PA peut être, souvent dans un contexte aigu, reçue à l'hôpital, soit en court séjour gériatrique (CSG), soit en soins de suite et réadaptation (SSR), ou encore en unité de soins de longue durée (USLD). Ensuite, elle peut, selon ses déficits, soit retourner à son domicile, soit aller dans une maison de retraite ou dans une structure de type établissement d'hébergement pour personnes âgées dépendantes (EHPAD). Elle peut aussi, si nécessaire, poursuivre sa rééducation dans un centre de rééducation.

La rééducation peut donc avoir lieu dans différents endroits. Dans tous les cas, il est important d'avoir à l'esprit qu'elle ne peut avoir lieu que si le médecin l'a prescrite. De ce fait, nous sommes aujourd'hui encore dépendants de cette prescription et donc, des pratiques des médecins [37].

2.2.1.3 Bénéfices attendus de la rééducation

Pour nous, rééducateurs, l'enjeu en rééducation sera de déterminer sur quels versants du vieillissement nous pourrions agir ; les principaux étant l'ostéoporose, la sarcopénie et la mémoire motrice. Nous devons donc rester humbles face au vieillissement et savoir que nous ne pouvons pas lutter contre lui. C'est pour cela que la rééducation ne doit pas intervenir seulement quand les déficits sont déjà installés et qu'il faut, dès le plus jeune âge, acquérir les bons réflexes d'hygiène de vie, par exemple sur l'alimentation et l'activité physique, afin de favoriser un vieillissement en bonne santé. Faire de l'activité physique permet au corps de solliciter les circuits neuronaux, d'entretenir les schémas moteurs et de prévenir la perte de masses osseuse et musculaire.

Commencer la rééducation lorsque les déficits sont déjà installés reste bénéfique car elle permet de créer de nouveaux programmes moteurs et de mettre en place des moyens de compensation aux déficits déjà installés. Cependant, le mieux serait d'entretenir ses capacités tout au long de la vie [38]. Une bonne prise en charge médicale est également nécessaire. Elle doit être faite par un médecin spécialisé en gériatrie qui pourra adapter au mieux les traitements médicamenteux des affections concomitantes de la PA, qui peuvent altérer l'équilibre [39].

2.2.2 Méthodes de rééducation de l'équilibre

2.2.2.1 Double tâche

Dans la vie quotidienne, nous faisons face à beaucoup de situations en DT. Il a été démontré que le risque de chute est corrélé aux capacités des PA en DT, d'où l'importance de sa rééducation, prouvée comme bénéfique [24][40]. De plus, par réciprocity, l'amélioration de l'équilibre améliore les performances en DT [41].

2.2.2.2 Equilibres statique et dynamique

Le travail de l'équilibre peut se faire selon deux modes, statique ou dynamique, qui sont fortement liés dans la vie quotidienne. Beaucoup de paramètres de marche ont tendance à se modifier lors du vieillissement, entraînant des risques de chutes accrus. Il est donc nécessaire de les rééduquer via des exercices spécifiques et adaptés aux patients. Ces déficits peuvent être travaillés en analytique ou plus globalement, lors d'un parcours d'équilibre par exemple [42].

2.2.2.3 Feedback

Pour le travail statique, les deux feedbacks les plus utilisés sont les feedbacks visuels et auditifs. Pour les premiers, on peut utiliser un miroir, une plateforme de posturographie ou des

photographies. Pour les deuxièmes, on utilisera plus la musique ou la correction verbale [43][44]. Par ailleurs, on peut également utiliser des feedbacks vibratoires. Lors du travail dynamique, les feedbacks seront plutôt des enregistrements vidéo, ou des analyses de la marche.

2.2.2.4 Reprogrammation sensori-motrice

La rééducation de l'équilibre induit une reprogrammation sensori-motrice (RSM) progressive [45]. Cette progression doit commencer par des déséquilibres intrinsèques, pour évoluer ensuite vers des déséquilibres extrinsèques. Elle se fait également en faisant varier le polygone de sustentation, et en ajoutant ou non des perturbations visuelles et vestibulaires [46]. Il est important de respecter une progression afin de ne pas mettre le patient en échec.

2.2.2.5 Thérapie manuelle

Définie comme « tout traitement réalisé à travers nos mains », la thérapie manuelle est restée longtemps hors de la rééducation de l'équilibre mais les données actuelles ont tendance à changer cela [47]. En corrigeant certaines pathologies articulaires, elle pourrait influencer sur la baisse du nombre de chutes. Le traitement des chevilles et des cervicales, dont le rôle est de plus en plus avéré dans l'équilibre, pourrait être très bénéfique étant donné leurs intrications dans le contrôle postural (CP) [48].

2.2.2.6 Balnéothérapie

Même si aucun protocole n'est réellement défini, la balnéothérapie, grâce au travail en immersion, semble améliorer les performances d'équilibration [49].

2.2.2.7 Automatismes posturaux

Il est primordial de rééduquer les réactions parachutes et les APA [50]. On pense souvent à tort que la rééducation gériatrique est une rééducation lente, or, pour rééduquer les APA, des exercices combinant vitesse et variabilité sont nécessaires [26][51].

2.2.2.8 Nouvelles technologies

De nos jours, les nouvelles technologies prennent une place de plus en plus importante dans la rééducation de l'équilibre et dans la prévention des chutes. En effet, les « serious games », les

« exergames » ou encore le « rehab-gaming » associés à la RV, proposent de nouvelles pistes intéressantes en rééducation [52][53]. La définition du cadre de ces nouvelles technologies sera développée dans la partie suivante.

2.3 Réalité virtuelle

2.3.1 Définition [54][55][56]

Actuellement, la RV est en plein essor. Pourtant ce terme reste encore très mal employé avec beaucoup d'amalgame, de confusion et de définitions variables selon le domaine qui l'utilise.

2.3.1.1 Définition technique

En France, **Philippe Fuchs**, spécialiste de la RV, a proposé des définitions claires et précises : définition par la finalité, définition technique et définition fonctionnelle. Nous reprendrons ici la définition technique de la RV car elle regroupe toutes les notions nécessaires pour la comprendre dans le cadre de ce mémoire. La RV est donc définie comme étant « un domaine scientifique et technique exploitant l'informatique et des interfaces comportementales en vue de simuler dans un monde virtuel le comportement d'entités 3D, qui sont en interaction en temps réel entre elles et avec une personne en immersion pseudo-naturelle » [54]. Ici, trois notions sont importantes : l'interface comportementale, l'immersion et l'interaction.

Le terme d'interface a été choisi pour représenter les différents types d'interface matérielle de la RV. Le mot « comportementales » renvoie aux comportements humains qu'exploite la RV. Cela peut être des comportements sensoriels (vue, ouïe, tact, odorat...), des comportements moteurs permettant d'interagir sur l'environnement virtuel, ou encore des comportements sensorimoteurs combinant les deux modalités.

Immersion et interaction sont les piliers de la RV. Pour avoir une expérience de RV il est nécessaire d'être en immersion. L'immersion est « pseudo-virtuelle » car elle dépend de son degré de réalisme. L'environnement peut être ressemblant au monde réel mais peut aussi être totalement imaginaire. Mais l'immersion ne suffit pas à définir la RV. L'utilisateur doit en plus, être en interaction, c'est-à-dire pouvoir interagir avec l'environnement proposé. Pour être optimal, le temps de latence entre l'action de l'utilisateur et sa répercussion dans l'environnement doit être simultané, sinon on parle « d'incohérence sensori-motrice ».

La RV peut être comparée à une boucle réflexe du système nerveux. On parle de « boucle de réalité virtuelle ». L'utilisateur fait une action via une interface motrice, cette action est transmise à l'ordinateur qui l'analyse et va envoyer des informations à l'interface pour que l'action de l'utilisateur se répercute dans l'environnement virtuel.

2.3.1.2 Idées reçues

Deux fausses idées sur la RV sont souvent véhiculées. D'une part, la RV n'est pas seulement l'usage d'un casque de RV. Ce dernier, que nous appellerons désormais visiocasque pour plus de clarté, est une des interfaces possibles de la RV, mais il en existe beaucoup d'autres ; et on peut très bien porter un visiocasque sans faire de la RV. Il ne faut pas confondre RV et immersion. Le visiocasque permet d'être en immersion mais ne permet pas forcément l'interaction nécessaire à la définition de la RV. D'autre part, visualiser un environnement virtuel à 360° à travers un écran de cinéma n'est pas non plus de la RV car dans ce cas l'utilisateur est totalement passif [57].

2.3.1.3 Réalité augmentée et réalité mixte

Les définitions des termes de réalité augmentée (RA) et réalité mixte (RM) sont importantes car elles sont souvent confondues avec la RV. La RA est une « augmentation de la perception de la réalité ». Elle ne plonge pas l'utilisateur dans un nouveau monde mais l'aide à mieux percevoir le monde réel en lui indiquant des détails ne figurant pas dans la réalité. La RM, quant à elle, inclut des éléments virtuels dans le monde réel, avec lesquels l'utilisateur peut interagir. Lorsque la RV, la RA et la RM sont concernées en même temps, on utilise le terme de RV+.

2.3.2 Rôles dans la rééducation de l'équilibre de la personne âgée [57][58]

2.3.2.1 Avantages

- Stimulations sensori-motrices

La RV peut créer des situations de la vie quotidienne dans des environnements similaires à la réalité mais cela peut aussi être des environnements totalement fictifs. De plus, elle dispose de nombreux feedbacks intéressants en rééducation. Il peut s'agir de feedbacks classiques ou plus originaux comme des feedbacks haptiques ou olfactifs. Elle peut être utilisée aussi bien pour la rééducation de l'équilibre statique que dynamique et peut être considérée comme une activité physique à part entière puisqu'elle entraîne un entretien musculaire et des dépenses énergétiques.

- Système de scoring

La RV permet également le développement d'outils d'évaluation avec des résultats chiffrés et précis qui permettent au patient de voir son évolution au fil des séances.

- Amplificateur de mouvement

Un système amplificateur de mouvement peut être ajouté avec certaines interfaces de RV. Pour un mouvement réalisé dans de faibles amplitudes, un mouvement de plus grande amplitude sera reproduit dans le monde virtuel, favorisant la réussite du patient.

- Double tâche et stimulation cognitive

La RV propose des exercices de rééducation ludiques souvent réalisés en DT ce qui permet au patient de travailler sans s'en rendre compte. Ces exercices sollicitent également les fonctions cognitives et stimulent les circuits des schémas moteurs décrits en première partie. En outre, la RV peut être réalisée en groupe, ce qui peut créer une émulation.

- Aspect ludique et kinésiophobie

L'aspect ludique de la RV peut jouer sur la kinésiophobie en limitant, grâce au jeu, la peur du mouvement. Il en est de même pour d'éventuelles douleurs articulaires qui peuvent disparaître quand le patient leur prête moins d'attention.

2.3.2.2 Inconvénients

Malgré ces avantages, la RV possède également des inconvénients. En premier lieu son accessibilité est limitée à cause de son prix, souvent onéreux. Outre son prix, un effet indésirable est souvent décrit, particulièrement avec les visiocasques : le mal de l'espace virtuel, cybersickness en anglais, qui entraîne des « sentiments d'inconfort et des malaises » [55]. La RV est également restreinte car certains déficits, notamment visuels et cognitifs, peuvent la contre-indiquer or, ils ne sont pas rares dans une population âgée. Certains patients peuvent également y voir un abandon du thérapeute, surtout s'ils sont laissés en autonomie ce qui peut, mais ne devrait pas, être une utilisation détournée de la RV pour gagner du temps. La RV peut être également anxiogène en générant du stress dans certains cas où il faut être rapide et réactif. L'interface du visiocasque est également à double tranchant car il permet au patient d'oublier ses problèmes de santé en étant coupé du monde médical mais il le coupe également du monde extérieur, en ne lui laissant plus que la communication orale. Certaines interfaces peuvent également entraîner des confusions entre le réel et le virtuel.

2.3.3 Différentes interfaces

La RV, comme nous l'avons vu ne regroupe pas seulement le visiocasque. Ne seront abordés ici que les interfaces qui peuvent avoir un intérêt dans la rééducation de l'équilibre (**Annexe III**) [54][58][59].

2.3.3.1 Plateforme de force

Les plateformes de force permettent via des capteurs, d'enregistrer le déplacement du CDP. Au préalable, les données anthropométriques des patients sont rentrées dans un logiciel afin de s'adapter à eux. Ce type d'appareil permet des exercices de rééducation en travaillant le

déplacement du CDP à travers des jeux retransmis via un écran accompagné ou non de feedbacks auditifs et vibratoires. Il peut s'agir de plateformes conçues pour la rééducation, comme par exemple la plateforme Satel ; mais plus communément, elles se limitent à des plateformes de jeux vidéo, comme par exemple la Wii™, qui n'ont pas été créées dans un but rééducatif mais dont le prix est nettement plus abordable [60][61][62].

2.3.3.2 Capture de mouvements

Les premiers à avoir développé ce genre de système sont les jeux vidéo comme la Kinect™ de Microsoft conçue pour la console de jeu Xbox 360 par exemple. De nombreux fabricants ont ensuite repris ce concept en rééducation comme Kynapsys, MediMoove, Gesture Tek's ou encore le CAREN. Ces technologies permettent à l'utilisateur d'interagir avec son corps dans l'environnement virtuel sans avoir à porter d'autres équipements. Le feedback est la plupart du temps visuel en étant projeté sur un écran.

2.3.3.3 Visiocasque

Le visiocasque, est un casque porté sur la tête qui permet au patient d'être en immersion à 360°. Pour interagir dans cet environnement, le visiocasque doit être associé à un logiciel qui le permet. Plusieurs fabricants essaient de le développer en rééducation comme par exemple Kiné Quantum, Virtualis, l'Oculus Rift, EMagin3Dvisor ou encore le Leap Motion.

2.3.3.4 Salle immersive

La RV peut également être une salle immersive où l'environnement est diffusé du sol au plafond grâce à des murs équipés d'écrans, et dans lequel la personne peut interagir avec tout son corps, comme par exemple le dispositif Cave Automatic Virtual Environment (CAVE).

2.3.3.5 Ecran simple

Plus simplement, la RV peut être un logiciel affiché sur un écran avec lequel le patient peut interagir via différents systèmes (clavier, manette, joystick...)

3. Synthèse du cadre théorique et problématique

L'équilibre des PA est impacté par le vieillissement physiologique selon plusieurs mécanismes. Si certains sont immuables car soumis aux lois du vieillissement, d'autres sont accessibles en rééducation. Actuellement, de nombreuses stratégies sont développées après la chute d'un patient mais aucune rééducation préventive n'est réellement mise en place. Or, éviter la chute chez la PA permettrait d'une part, de prévenir de graves conséquences pour la personnes, et d'autre part, de réduire les coûts socio-économiques consécutifs aux hospitalisations et aux soins.

Il est donc nécessaire, au profit des PA, de chercher des solutions. Pour cela, nous devons continuer les recherches et mettre en place de nouveaux moyens de rééducation, nous masseur-kinésithérapeutes (MK), avec le concours des autres professionnels de santé. Actuellement, un outil de rééducation est de plus en plus mentionné : c'est la RV. Développée dans un premier temps en neurologie, elle se répand désormais en gériatrie. Beaucoup d'articles utilisent le terme de RV sans que l'on retrouve de consensus sur les modèles d'appareils utilisés et sur la manière de les inclure dans la rééducation conventionnelle (RC). Cette technique est souvent restreinte aux visiocasques ; pourtant elle dispose d'un large panel d'appareils pouvant servir en rééducation.

Beaucoup d'interrogations se posent sur ce nouvel outil innovant et sur son utilité en gériatrie, notamment pour la rééducation des troubles de l'équilibre liés au vieillissement physiologique. A quel moment de la prise en charge du patient pourrait-il servir et sous quelles modalités ? Que pourrait-il apporter de plus par rapport aux autres techniques déjà existantes ? Ceci m'a amenée à m'interroger sur les bénéfices que pourraient en tirer les PA, d'où ma problématique : « **Qu'apporte la réalité virtuelle dans la rééducation des troubles de l'équilibre liés au vieillissement physiologique chez la PA ?** »

4. Méthodologie de recherche

4.1 Formation du cadre théorique

4.1.1 Définition du cadre de la thématique

Mon premier axe de recherche s'est orienté sur la définition des mots-clés de ma thématique. Il a fallu rechercher ce qu'était réellement la gériatrie étant donné la forte évolution de la notion de vieillesse ces dernières années. Devant les nombreuses étiologies existantes des troubles de l'équilibre, j'ai dû définir celle que je souhaitais traiter dans ce travail. De plus, il a été également primordial de définir clairement la RV afin de voir ce qu'elle pouvait englober.

4.1.2 Recommandations

La recherche des recommandations en gériatrie a été le deuxième axe de ma recherche. Cela m'a permis d'étudier qu'elles étaient de nos jours les approches de rééducation les plus développées en gériatrie, puis de voir si ces recommandations traitaient ou non de la RV en gériatrie. Beaucoup de recommandations sont faites sur la prise en charge des PA, mais actuellement, aucune ne traite de la RV. Ma source principale a été la HAS.

4.1.3 Acquisition de connaissances fondamentales actualisées

Pour former mon cadre théorique, il a fallu étudier les données les plus récentes sur ma thématique. Différents supports ont été utilisés pour cela. Les livres, que j'ai pour la plupart consultés à la bibliothèque de l'IFMKD, ont constitué ma 1^{ère} ressource documentaire. Pour rechercher les plus pertinents, j'ai effectué mes recherches à travers le portail documentaire interne à la bibliothèque de Dijon. Ces livres m'ont permis de renforcer mes connaissances sur l'équilibre, la proprioception et sur la rééducation gériatrique en générale. En outre, consulter différents mémoires traitant de thèmes similaires aux miens m'a permis d'obtenir des connaissances et des références bibliographiques. J'ai également fait diverses recherches sur des bases de données afin de trouver des articles scientifiques récents sur ma thématique. Ceci m'a apporté des connaissances plus ciblées sur certains sujets. Les articles sous forme d'étude ont été majoritairement exclus des recherches pour former mon cadre théorique puisqu'ils seront le sujet des recherches de ma partie « résultats ».

En participant au Congrès International Francophone des Etudiants en Physiothérapie et Kinésithérapie 2018 (CIFEPK), j'ai pu assister à des conférences sur la gériatrie et l'équilibre en gériatrie ce qui a également concouru à l'apport de connaissances et de certaines pistes de réflexion sur le sujet. Ces conférences étaient réalisées par des MK français experts dans le domaine comme France Mourey, Alexandre Kubicki et Marine Brika. J'ai ainsi acquis des références bibliographiques et des connaissances actualisées grâce à ces conférences. Par ailleurs, pour accéder à certains articles j'ai dû contacter certains auteurs comme par exemple Michel Lacour, auteur de nombreux ouvrages sur l'équilibre et la posturologie. Certaines de mes connaissances sont issues du site <http://physio-4-frail.com/>, dédié à la gériatrie, créé par Alexandre Kubicki et qui recense des articles très récents autour de ce thème.

4.2 Organisation des résultats

4.2.1 Mots-clés et équations de recherche

Pour répondre à ma problématique, il a fallu dans un premier temps choisir les meilleurs mots-clés possibles. J'ai donc sélectionné les principaux termes de ma problématique que j'ai

Tab I : « Choix des mots-clés »

Mots-Clés	
Français	Anglais
Réalité Virtuelle	Virtual Reality
Rééducation	Rehabilitation
Equilibre	Balance
Personne âgée	Elderly

Tab II : « Equations de recherche retenues »

Equations de recherche		
	Français	Anglais
Equation 1	réalité virtuelle et rééducation et équilibre et personne âgée	virtual reality and rehabilitation and balance and elderly
Equation 2	réalité virtuelle et équilibre et personne âgée	virtual reality and balance and elderly
Equation 3	réalité virtuelle et rééducation et équilibre	virtual reality and rehabilitation and balance
Equation 4	réalité virtuelle et rééducation et personne âgée	virtual reality and rehabilitation and elderly

ensuite entrés dans Mesh à l'aide d'une recherche simple ou avancée pour obtenir les traductions anglophones correspondantes (**Tab.I**). Pour chaque mot-clé, Mesh propose différents descripteurs ou termes américains. Par conséquent, j'ai dû faire un choix afin de sélectionner leur traduction la plus pertinente parmi la liste proposée. Ceci dans l'objectif d'avoir ensuite les meilleurs résultats possibles dans les bases de données. Ci-dessous, seules les traductions des quatre mots-clés retenus au final seront expliquées.

Pour le mot-clé « Réalité Virtuelle » j'ai choisi la traduction « Virtual Reality » et non pas « Thérapie par Réalité Virtuelle » ou « Virtual Reality Therapy » car lors de mes premières recherches avec ces mots-clés, je me suis rendu compte que cela restreignait trop les résultats dans la plupart des bases de données explorées.

Concernant la traduction du mot-clé « équilibre », Mesh me proposait en descripteurs principaux les termes « équilibre postural » ou « postural balance ». Rappelons que dans l'ouvrage « la posture debout » de Gilles Peninou, une posture se définit comme étant « une position particulière des segments corporels les uns par rapports aux autres à un instant donné » [63]. Il existe donc une multitude de posture que peut prendre l'être humain, dont la station debout. Or ce mémoire ne se restreint pas à l'équilibre de la posture bipodale, mais traite de l'équilibre en globalité, ce qui m'a donc conduit à garder la traduction « balance » pour le mot-clé « équilibre ».

Pour le terme de « personne âgée » j'ai retenu la traduction « elderly » et non pas « aging » car dans mes précédentes recherches c'est le mot qui apparaissait le plus fréquemment dans les articles. Enfin, le mot-clé « rééducation » a été traduit en « rehabilitation ».

Ce sont donc ces quatre mots-clés et leur traduction respective qui figureront dans les équations de recherche qui ont été sélectionnées pour répondre à ma problématique (**Tab.II**). Avant d'arriver à retenir ces quatre mots-clés, j'avais au départ plus d'une dizaine de mots-clés différents. Ces différents mots-clés ont été testés dans plus d'une dizaine d'équations de recherche. Chacune de ces équations a été entrée dans six bases de données afin de voir combien d'occurrences elle donnait. Quatre équations de recherche ont été retenues : celles qui donnaient le nombre d'occurrences le plus pertinent dans chacune des bases de données interrogées. Parmi ces quatre équations, certaines donnent un nombre d'occurrences assez restreint et d'autres donnent des nombres d'occurrences volontairement plus larges afin d'explorer toute la littérature possible afin de faire le moins possible d'impasses. Dans ces quatre équations de recherche, ce sont les quatre mêmes mots-clés associés différemment qui finalement réapparaissent. C'est ce qui m'a permis de les retenir parmi tous les autres puisque ce sont eux qui donnaient les meilleurs résultats à chaque fois. Nous avons donc dans cette méthodologie, quatre équations finales constituées des quatre mêmes mots clés qui sont associées différemment entre eux.

4.2.2 Bases de données

Chacune de mes équations de recherche finales a été entrée dans six bases de données différentes : Pubmed, Cochrane, Pedro, Science Direct, Lissa et Kinédoc. Ces six bases de données ont été choisies pour couvrir le plus possible la littérature scientifique anglophone et

française actuelle aussi bien au niveau de la qualité que de la quantité. Les équations de recherche ont été inscrites dans Pubmed, Cochrane, Pedro, Science direct, Lissa et Kinédoc respectivement dans les champs « Title/Abstract », « Title/abstract/keyword », « Abstract & Title », « Title/Abstract/Keyword », « Titre/Mots-clés/Résumé ». En ne recherchant les mots-clés uniquement dans ces catégories, cela m'a permis d'obtenir des nombres d'occurrences acceptables. Chaque base de données étant construite différemment, les équations ne peuvent pas être entrées de manière identique à chaque recherche.

Dans mes recherches avancées sur Pubmed, j'ai fait le choix de ne pas inclure mes mots-clés comme des mots-clés Mesh, mêmes s'ils ont été traduits via ce modèle. Comme tous les articles ne référencent pas leurs mots-clés selon Mesh, cela aurait restreint certains résultats pouvant être tout aussi pertinents même si les recherches auraient pu être plus précises. J'ai estimé qu'en recherchant les mots clés seulement dans le titre et le résumé, les résultats seraient déjà assez précis. Dans cette base de données, les équations ont été entrées dans le mode de recherche avancée en inscrivant un mot-clé par ligne avec l'opérateur booléens AND entre chaque. Les équations de recherche ont été inscrites selon la même méthode dans Cochrane Library.

En faisant une recherche avancée dans Pedro, les champs à renseigner sont différents, ce qui donne une autre méthodologie. Pour faire mes recherches dans Pedro, à chaque fois que figurait le mot-clé « elderly » dans l'équation de recherche initiale, j'ai renseigné « gerontology » dans le champ « sousdiscipline » au lieu de l'inscrire dans le champ prévu pour l'équation. Les opérateurs booléens ne doivent pas apparaître dans l'équation initiale puisqu'ils sont directement mis en sélectionnant AND ou OR dans le champ « when searching ». Les mots-clés doivent être tapés simplement les uns à la suite des autres. Par exemple, pour l'équation 1 « virtual reality and rehabilitation and balance and elderly », j'ai renseigné « virtual reality rehabilitation balance » dans le champ « title/abstract », gerontology en sousdiscipline et « Match all search terms (AND) » dans « when searching », ce qui m'a donné 10 résultats. Lorsque le mot-clé « elderly » ne figure pas dans l'équation initiale, comme c'est le cas dans l'équation 3 « virtual reality and rehabilitation and balance », je n'ai pas renseigné gerontology en sousdiscipline, j'ai alors simplement entré « virtual reality rehabilitation balance » en choisissant AND dans le champ « when searching » ce qui m'a donné 48 résultats. La même méthode a été appliquée pour les équations de recherche 2 et 4.

Pour interroger Science Direct, les équations de recherche ont été inscrites en recherche avancée dans le champ « Title, abstract or keywords » en inscrivant les opérateurs booléens en majuscule entre chaque mot-clé. Par exemple pour l'équation 2, j'ai inscrit « virtual reality AND balance AND elderly » dans le champ « Title, abstract or keywords » et j'ai obtenu 10 résultats.

Pour la base de données Lissa, les équations de recherche ont été inscrites en recherche avancée de la même manière que dans Pubmed et Cochrane, avec les traductions françaises. Dans Kinédoc, les équations ont été entrées en recherche avancée en ne cherchant les mots-clés uniquement dans Titre, Résumé et Mots-clés et renseignant « articles » dans le champ « type de document » afin d'exclure la littérature grise de mes occurrences. Dans Kinédoc les opérateurs booléens doivent être inscrits manuellement. Par exemple pour l'équation 1, j'ai entré « réalité virtuelle et rééducation et équilibre et PA » dans le champ « texte à rechercher » ce qui m'a donné 1 résultat.

Au final, sans les critères de sélection et les critères d'exclusion et d'inclusion, puis en additionnant les résultats de chaque équation de recherche dans chaque base de données, j'ai obtenu un nombre d'articles initial égale à 557.

4.2.3 Critères de sélection

Pour sélectionner les articles les plus pertinents, j'ai appliqué deux critères de sélection à ma recherche initiale. Le premier critère de sélection concerne la date de publication des articles. Seuls les articles datant d'au moins 2013 ont été conservés, ce qui fait une période de recherche de cinq ans dans la littérature. En enlevant tous les articles publiés avant 2013, je suis passée de 557 articles à 440 articles.

Le deuxième critère de sélection est l'impact factor. Ce dernier représente le nombre moyen où les articles présents dans la revue sont cités par d'autres études ; ceci par rapport au nombre d'articles total publiés par la revue, ce qui estime indirectement la pertinence de la revue. Dans ma sélection, j'ai fixé un impact factor supérieur à 1. Cela permet d'éliminer certains articles publiés dans des revues qui peuvent paraître peu pertinentes, sans toutefois être trop restrictive et exclure des articles qui seraient tout de même de bonne qualité malgré une revue peu cotée.

Les impacts factors des revues où figurent les articles trouvés ont été principalement repris du site <https://www.researchgate.net>. Pour chaque article, les impacts factors recherchés sont ceux de l'année de publication de l'article. Lorsque l'impact factor de l'année concernée ne figurait pas sur le site, j'ai repris celui de l'année la plus proche de celle de la publication. Si l'impact factor ne figurait pas sur le site et n'était pas trouvable sur d'autres sites, alors l'article n'a pas été retenu. Après avoir retiré tous les articles ayant un impact factor inférieur à 1, j'ai pu diminuer mes articles de 440 à 285.

4.2.4 Critères d'inclusion et d'exclusion

Un second triage, effectué grâce aux critères d'inclusion et d'exclusion a permis d'enlever les articles qui ne font pas partie de mon sujet comme ceux traitant de :

- maladies neurologiques (maladie de Parkinson, maladie d'Alzheimer, accident vasculaire cérébral, sclérose en plaque, paralysie cérébrale, blessure médullaire, neuropathie, neuropathie diabétique...)
- pathologies vestibulaires (maladie de Ménière, vertiges...)
- populations atteintes de démences ou de troubles cognitifs sévères
- pathologies cardio-vasculaires
- populations ayant des troubles musculo-squelettiques (douleurs cervicales, chirurgie du genou...)
- populations pédiatriques

Dans ces 94 articles restants, j'ai enlevé tous les articles apparaissant plusieurs fois ce qui explique que je passe de 94 à **41 articles** au final.

Au cours de ma recherche, j'ai remarqué que plusieurs articles intéressants, mais ayant un impact factor inférieur à 1, réapparaissaient de nombreuses fois sur différentes bases de données avec chaque équation de recherche. Ces articles ne font pas partie des 41 articles finaux comme ils ne répondent pas à mon deuxième critère de sélection. Les articles qui semblaient intéressants avec un impact factor inférieur à 1 mais n'apparaissant qu'une seule fois dans une base de données n'ont pas été conservés.

En revanche, j'ai choisi de conserver, en plus, ceux qui apparaissaient plusieurs fois sur chaque base de données car il me semblait intéressant pour la construction de ma réflexion, de les inclure tout de même dans ce mémoire. Ces articles sont au nombre de 6. Au total, pour construire mes résultats, 41 articles sont issus de ma méthodologie de recherche et 6 articles serviront également malgré leur impact factor inférieur à 1.

Ce qui fait au total **47 articles**. La méthodologie figure dans un tableau en annexe qui reprend tous les résultats à chaque étape, pour chaque base de données et pour chaque équation de recherche (**Annexe IV**). La méthodologie de mon mémoire a été réalisée jusqu'au début du mois d'octobre 2018. Chaque étude figurant dans la discussion sera résumée dans le tableau suivant qui apparaîtra complété en annexe (**Annexe V**).

[illegible]

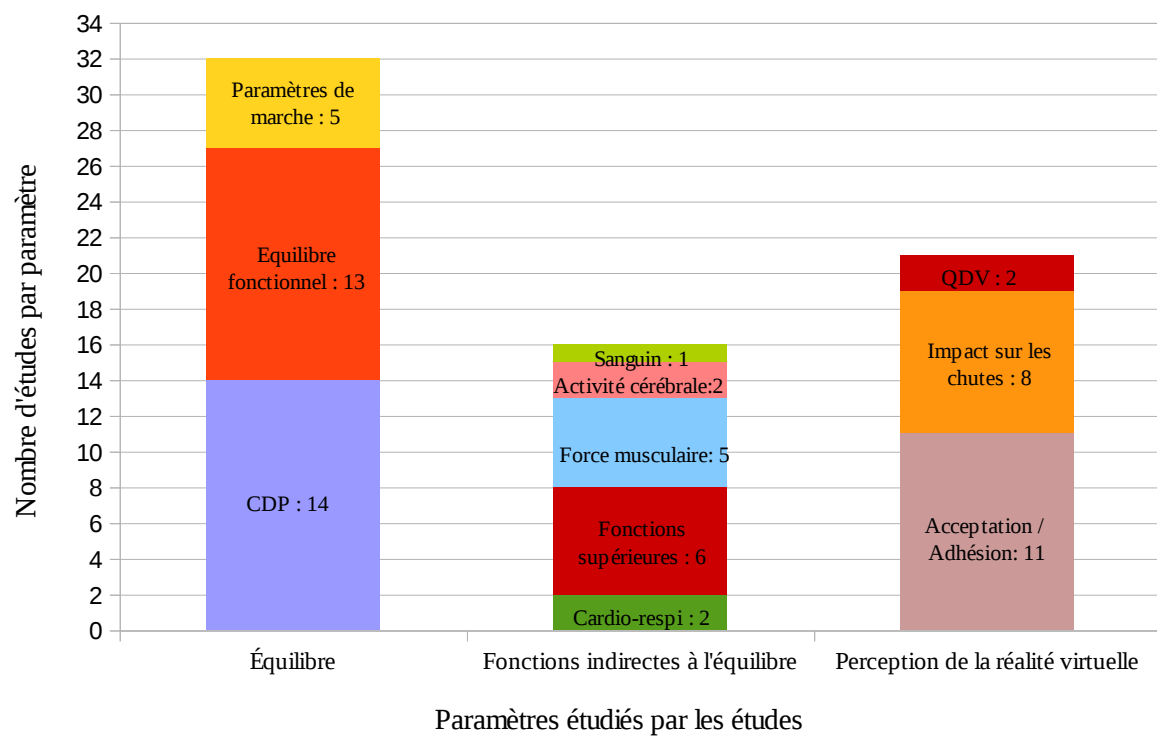


Fig 1 : « Paramètres étudiés dans les études »

5. Résultats

Plusieurs variables de l'équilibre sont analysées dans mes études. Mes résultats seront donc organisés en fonction de ces différentes variables. Cela permettra aux MK qui souhaitent rééduquer un déficit précis chez leurs patients gériatriques de voir quels modèles d'appareils de RV fonctionnent pour ce paramètre. Ils pourront ainsi se faire leur propre avis et, s'ils le souhaitent, investir dans l'appareil de RV qui leur semble le plus efficace au vu des résultats de la littérature.

Les différentes parties ont été élaborées en fonction des paramètres qui revenaient le plus fréquemment dans les études (**Fig.1**). Dans un premier temps nous verrons les résultats de la RV sur différents paramètres de l'équilibre, puis sur des fonctions n'impactant pas directement l'équilibre, mais ayant un intérêt indirect intéressant, et enfin en troisième partie nous verrons si la RV est un appareil facile d'utilisation, reproductible, fiable et bien perçu par les PA.

5.1 Impact de la réalité virtuelle sur le contrôle postural

5.1.1 Variations du centre de pression

Un des paramètres les plus étudiés sur le CP est la variation du CDP (**Fig.1**). Rappelons que le CDP est la résultante des forces de réaction au sol. Ce qui est différent du centre de gravité (CDG), qui lui, est le point où s'appliquent les résultantes de la gravité sur le corps. En pratique, nous sommes dans un espace gravitationnel considéré comme uniforme. Il est donc admis que le CDG se confond avec le centre de masse (CDM) qui, lui, est un point où s'applique l'ensemble de la masse du corps [64][65]. Dans mes études, le CDP a été étudié avec quatre types d'appareil de RV différents.

5.1.1.1 Centre de pression et plateforme de force

Sept de mes études évaluent le périmètre du CDP, et parfois du CDM, après ou pendant avoir réalisé un protocole incluant un appareil de RV de type plateforme de force. Sur ces sept études, cinq d'entre elles, après leur protocole de rééducation, trouvent une diminution du périmètre de ces variables, c'est-à-dire une amélioration du CP.

- Jeux vidéo

Parmi ces cinq études en faveur d'une amélioration, trois utilisent une plateforme de force de jeux vidéo. C'est le cas de **De Vries et al** qui comparent les bénéfices d'une rééducation avec la Wii™ avec ceux d'une rééducation avec la Kinect™ [66]. Pour cela, l'étude suit un groupe de 30 personnes jeunes (21 ans) et un groupe de 30 PA (70 ans), tous indépendants. Les

deux groupes vont pratiquer les deux types de jeux, chacun leur tour, dans un ordre aléatoire. L'exercice demandé avec les deux consoles est un jeu de ski où les sujets doivent déplacer leur CDP dans différentes directions, afin de traverser des portes lors d'un slalom. Durant les exercices, les mouvements des sujets et de leur CDM sont enregistrés par des caméras opto-électroniques afin d'obtenir leur Limite De Stabilité (LDS), c'est-à-dire le périmètre maximal de leur CDM. Seules les directions avec une composante postérieure ne sont pas améliorées. Les résultats sont également plus significatifs avec la Kinect™ qu'avec la Wii™, ce qui montre soit une supériorité des consoles avec capture de mouvements par rapport aux plateformes de force, soit une supériorité de la Kinect™ sur la Wii™.

Park et al reprennent la rééducation avec la Wii™, mais la compare cette fois avec une RC. Les deux rééducations incluent des jeux de ballon [67]. Les deux groupes sont constitués de 15 PA (65 ans) indépendantes. Le protocole se déroule lors de séances de 30 minutes, trois fois par semaine, pendant huit semaines. Les jeux avec ballon en RC sont des exercices où les PA doivent réaliser des déplacements latéraux et antéro postérieurs principalement, en étant assis sur un ballon. En RV, ce sont trois jeux qui demandent un déplacement du CDP dans différentes directions selon la consigne. Le groupe avec RC a également une amélioration significative du paramètre du CDP mais le groupe avec RV a une amélioration plus significative encore.

Par contre, dans l'étude de **Cho et al**, les auteurs comparent la rééducation avec la Wii™ avec l'absence de rééducation [68]. Le groupe contrôle est composé de 15 PA contre 17 PA pour le groupe expérimental. Les PA ont en moyenne 72 ans et sont indépendantes. Le protocole dure huit semaines avec trois séances de 30 minutes chaque semaine. Les mesures du CDP sont réalisées sur la plateforme de force BioRescue avant et après le protocole. On peut voir à la fin de l'étude que l'équilibre statique YO et YF s'est significativement amélioré avec la RV alors qu'aucune amélioration n'est retrouvée dans le groupe contrôle.

- Autres plateformes de force

Les deux autres études qui concluent sur une amélioration du paramètre du CDP utilisent des plateformes de force créées dans un but rééducatif.

Hwang et al utilisent la plateforme de force BioRescue qui dispose d'une modalité de rééducation et d'évaluation. Pour montrer l'amélioration du périmètre du CDP, les auteurs comparent un groupe contrôle de 12 PA sans rééducation avec un groupe expérimental de 12 PA réalisant 20 séances de 30 minutes pendant quatre semaines. La LDS des PA a été mesurée au début et à la fin du protocole. L'amélioration obtenue avec la RV n'est pas retrouvée dans le groupe contrôle [69].

Dans leur étude, **Duque et al** emploient la plateforme Balance Rehabilitation Unit (BRU) [70]. Comme dans l'étude de Hwang et al, la BRU est comparée avec une absence de rééducation. Les deux groupes comparés sont composés de 30 PA (78 ans) indépendantes. Les séances avec la RV se déroulent deux fois 30 minutes par semaine pendant une période de six semaines. Les exercices sont des déséquilibres posturaux et des déséquilibres visuo-vestibulaires. L'amélioration trouvée grâce à la RV, que l'on ne retrouve pas chez le groupe contrôle, semble se maintenir lors de l'évaluation réalisée neuf mois après le protocole.

En revanche, si ces cinq études trouvent une amélioration du périmètre du CDP, une de mes études ne trouve aucune amélioration. Ce résultat est tiré d'une étude utilisant une plateforme de force Tymoplate développée par Tyromotion. Cette étude inclut un groupe de 16 PA (76 ans) indépendantes avec un programme de trois séances de 30 minutes par semaine pendant 12 semaines. Cinq jeux différents sont demandés lors des séances. Les jeux peuvent exiger des tâches statiques ou dynamiques. Comparativement entre le début et la fin de l'étude, **Wüest et al** trouvent un périmètre de CDP inchangé voir même plutôt augmenté, mais cette augmentation n'est pas suffisamment significative pour conclure sur ce point [71].

Bernard-Demanze et Lacour, se servent du CDP avec la plateforme Multitest Equilibre de Framiral pour essayer de comprendre les différences entre des sujets chuteurs et non chuteurs [72]. Pour cela, ils comparent les variations du CDP d'un groupe de neuf sujets adultes (36 ans), et d'un groupe de 17 PA (77 ans) lors de l'utilisation de la plateforme. Les résultats montrent qu'après un déséquilibre arrière, le groupe des PA met plus de temps à stabiliser les variations de leur CDP. Ils montrent également que la RV peut servir en tant qu'outil évaluatif dans la rééducation de l'équilibre.

5.1.1.2 Centre de pression et capture de mouvements

Deux études utilisant le système de capture de mouvements en RV concluent sur une amélioration des variations du périmètre du CDP.

Pour montrer cette amélioration, **Prasertsakul et al**, utilisent la Kinect™ avec le logiciel Unity3D. Deux groupes de cinq PA sont comparés. Le groupe contrôle suit une RC incluant des exercices d'équilibre statique et dynamique tandis que le groupe avec la RV réalise trois jeux différents avec des consignes en DT. La fréquence des séances des deux groupes est de trois fois 45 minutes par semaine pendant quatre semaines. Les variations du CDP sont mesurées avant et après le protocole, avec une plateforme MatScan™. La rééducation par la RV montre un certain apprentissage moteur chez les PA car elles ont augmenté graduellement les niveaux de difficulté des différents jeux. Les deux groupes ont vu le contrôle de leur CDP amélioré, mais le groupe expérimental a eu une amélioration plus marquée et dans plus de directions [73].

Dans leur étude, **Kubicki et al**, ont recours à la capture de mouvements de Fovea Interactive™. Deux groupes de 23 PA (80 ans), hospitalisées, sont comparés. L'un suit une rééducation avec la RV associée à une RC alors que le groupe contrôle ne suit qu'une RC [74]. Les séances de RC des deux groupes se déroulent pendant trois semaines, avec trois séances hebdomadaires de 30 minutes. Au cours de ces trois semaines, le groupe expérimental a en plus six séances d'exercices avec la RV qui consistent à réaliser des déplacements du membre supérieur pour atteindre des cibles, tout en gardant un équilibre bipodal statique. La mesure du CDP a été ensuite effectuée sur une plateforme de force. Les améliorations des variations du CDP sont plus significatives dans le groupe expérimental. Par ailleurs, les déplacements du CDP ont été améliorés surtout dans leur composante anticipatoire ce qui montre qu'un réapprentissage moteur des APA est possible chez des PA.

5.1.1.3 Centre de pression et visiocasque

Trois de mes études incluant des visiocasques se servent du paramètre du CDP pour comparer ce qu'il peut apporter comparé à un outil de RC. Le visiocasque utilisé dans les trois études suivantes est le modèle Oculus Rift DK2.

Saldana et al veulent montrer la plus-value du visiocasque pour détecter les troubles de l'équilibre. Pour cela, ils comparent un groupe contrôle de 5 PA non chuteurs et un groupe expérimental de 8 PA chuteurs [75]. Les PA ont en moyenne 80 ans et résident dans une maison de retraite. Les deux groupes sont évalués dans un ordre aléatoire sur une plateforme de force Clinton et avec le visiocasque. Ainsi, il sera permis de voir si les deux technologies donnent les mêmes résultats et arrivent à retrouver les sujets chuteurs des non chuteurs. Les variations du CDP ont été mesurées dans différentes postures : debout YO/YF et assis YF/YO. Les résultats montrent qu'il n'y a pas de différences significatives entre les deux appareils. L'utilisation d'un visiocasque serait donc possible dans le cadre de l'évaluation initiale de l'équilibre d'une PA.

Dans l'étude de **Robert et al**, les auteurs étudient l'impact de la vision d'un environnement à travers un visiocasque sur l'équilibre. Pour cela, ils mesurent les variations du CDP d'un groupe de 14 jeunes adultes (26 ans) indépendants sur une plateforme de force AMTI, avec et sans le visiocasque. L'environnement diffusé par le visiocasque est un environnement le plus similaire possible à l'environnement réel. Ainsi, la seule variable qui diffère entre les deux situations est l'observation de l'environnement à travers un visiocasque ou non. Aucune différence n'est retrouvée entre l'environnement réel et l'environnement virtuel concernant l'équilibre statique YO et YF. En revanche, lorsqu'on demande aux sujets de réaliser le BBS, avec et sans le visiocasque, on retrouve des différences significatives montrant un équilibre dynamique de moins bonne qualité avec le visiocasque. Les auteurs expliquent cela par le fait qu'en dynamique, les entrées sensorielles et vestibulaires sont plus sollicitées et qu'elles sont davantage perturbées par le visiocasque que sans. La rééducation par visiocasque en statique serait donc possible mais, concernant l'équilibre dynamique, l'étude émet des réserves [76].

Chiarovano et al, quant à eux, proposent au cours d'une même étude, trois tests incluant plateforme de force et visiocasque. La plateforme de force qui est utilisée pour mesurer les variations du CDP pendant les tests est la plateforme de la Wii™ [77]. Dans une première partie, les auteurs comparent l'équilibre de 161 PA (57 ans) indépendantes, dans deux conditions : équilibre statique sur la Wii™ avec ou sans une mousse disposée en plus sur la plateforme. Une seconde partie compare, parmi les 161 sujets initiaux, les tests de 27 sujets, réalisés avec la Wii™ et avec l'appareil Equitest. Dans une troisième partie, seulement neuf sujets sont sélectionnés parmi la totalité initiale afin d'étudier leur CP lors de challenges visuels proposés par un visiocasque sur la plateforme de Wii™ avec ou sans mousse. Le premier test ne montre pas de différences significatives entre les conditions YO/YF sur la plateforme de Wii™ que ce soit avec ou sans la mousse ajoutée. Le deuxième test ne montre pas de différences significatives entre les résultats obtenus avec la Wii™ et l'Equitest, ce qui fait dire aux auteurs que les deux sont valables pour évaluer l'équilibre d'une PA. Concernant le test avec le visiocasque, l'étude montre que plus les amplitudes des perturbations visuelles du visiocasque augmentent, plus les variations du CDP augmentent également. Cette corrélation est d'autant plus forte que le sujet se trouve sur la plateforme de Wii™ avec une mousse en plus.

5.1.1.4 Centre de pression et système CAVE

Deux de mes études se servent d'un système CAVE.

La première, de **Michnik et al**, investigue le CDP à travers un dispositif CAVE réel, qui projette des environnements virtuels avec le logiciel Quazar 3D [78]. Le but de cette étude est d'analyser les effets que peuvent avoir des stimuli visuels dans un système CAVE sur l'équilibre. Pour ce faire, 24 jeunes adultes (20-28 ans) indépendants sont placés chacun leur tour dans l'appareil de RV, avec des lunettes pour voir efficacement la 3D. Le logiciel leur montre successivement un environnement ouvert ou fermé associé ou non à un tremblement de terre simulé seulement visuellement. Les résultats montrent qu'une telle influence visuelle a un impact sur les paramètres stabilométriques du CDP. Plus la fréquence des stimuli est élevée dans le système CAVE, plus les variations du CDP sont grandes.

Dans l'étude de **Park et al**, le système de RV, créé par les auteurs, est un dispositif reproduisant un kayak qui est placé face à un écran [79]. Les exercices concernent les membres supérieurs des PA qui doivent pagayer en suivant le parcours d'une rivière qui s'affiche à l'écran. Un groupe de 36 PA suit cette rééducation avec en plus une RC, alors que le groupe contrôle comparatif de 36 PA ne suit qu'une RC, qui est composée d'exercices d'équilibre statique et dynamique. Toutes les PA de l'étude sont indépendantes et âgées en moyenne de 74 ans. L'étude dure six semaines avec, pour les deux groupes, deux séances hebdomadaires de 30 minutes de RC. Le groupe expérimental a en plus deux séances de 20 minutes de RV par semaine. Le périmètre du CDP est mesuré par une plateforme de force Good Balance System. Contrairement au groupe contrôle, le groupe expérimental montre une amélioration significative de son équilibre debout et assis.

5.1.2 Effets sur l'équilibre fonctionnel statique et dynamique

Pour étudier l'équilibre fonctionnel des PA, les études utilisent des tests fonctionnels. Les résultats sur l'équilibre fonctionnel seront donc présentés par appareil, en fonction de ces tests, afin de voir pour chacun d'eux, quelle dimension de l'équilibre statique ou dynamique est améliorée ou non en fonction des tests utilisés.

5.1.2.1 Equilibre fonctionnel et plateforme de force

Six de mes études évaluent l'équilibre fonctionnel de PA après avoir réalisé un protocole avec une plateforme de force. Les tests principaux pour évaluer l'équilibre fonctionnel sont principalement le TUG (et ses variantes 7mTUG et iTUG), le Tinetti et le SPPB (Short Physical Performance Battery). Dans une moindre mesure, le test du TST (Ten Step Test) et de l'OPI (Overall Performance Index) sont utilisés.

- Jeux vidéo

Sur ces six études, trois se servent de la plateforme de force Wii™.

Le temps de réalisation du TUG a diminué significativement après le protocole de rééducation avec la Wii™. Les autres tests utilisés sont également améliorés. En revanche, les auteurs ne réalisent pas le même protocole pour obtenir des résultats identiques.

Singh et al, eux, étudient un groupe expérimental de 18 PA qui doit performer dans sept jeux différents avec la Wii Fit™, face à un groupe contrôle ayant une RC qui inclut cinq exercices d'équilibre basés sur le protocole de Seidler et Martin [80]. Les PA incluses dans l'étude sont uniquement des femmes (60 ans), indépendantes. Le protocole dure six semaines avec deux séances de 30 minutes par semaine. Cette étude, en plus du TUG, utilise le TST et l'OPI. Les deux groupes ont une amélioration des trois tests mais le groupe RV a une plus grande amélioration du test OPI. En revanche, pour le TUG et le TST, il n'y a pas de différences significatives entre les deux groupes à la fin de l'étude [81].

Le protocole de **Prata et al**, n'inclut également que des femmes (72 ans), indépendantes. Le protocole de rééducation dure 12 semaines avec deux séances hebdomadaires d'une heure. Durant les séances, les PA exercent, pendant la première moitié du temps, trois jeux d'équilibre sur la Wii Fit™ où l'objectif des jeux est principalement de déplacer son CDP en fonction de la consigne. L'autre moitié de la séance est consacrée à des exercices de renforcement musculaire, principalement des muscles quadriceps, gastrocnémiens et tibiaux antérieurs. Pendant toute la durée de l'étude, il est demandé aux participantes de ne pratiquer aucun autre exercice ou aucune autre activité physique [82].

Quand à eux, **Lim et al**, comparent deux groupes de 10 PA (78 ans), issus de la même maison de retraite, qui suivent respectivement, soit un protocole d'exercices dits « complexes », soit un protocole d'exercices dits « simples » sur la Wii Fit Plus™. Le programme de l'étude dure cinq semaines avec deux séances d'une heure par semaine. L'objectif de cette étude est de comprendre quel type d'exercice est le plus pertinent pour la rééducation des PA [83]. Les exercices dits « complexes » comprennent des exercices d'équilibre, de renforcement musculaire, d'endurance et d'assouplissement alors que les exercices dits « simples » comprennent seulement des exercices d'équilibre. Les exercices d'équilibre réalisés sont les mêmes pour chaque groupe avec une durée plus longue pour le groupe d'exercices « simples » afin de compenser l'absence des autres types d'exercices. Une amélioration plus significative est trouvée pour le groupe qui suit le protocole « complexe ».

- Autres plateformes de force

Ces améliorations du temps de réalisation du TUG sont également retrouvées grâce à d'autres plateformes de force.

Delbroek et al retrouvent ce résultat avec la plateforme BioRescue. Deux groupes de 10 PA (87 ans), indépendantes, suivent soit une rééducation avec la RV soit aucune rééducation. Les séances, qui passent progressivement de 18 à 30 minutes, ont lieu deux fois par semaine pendant six semaines. Neuf jeux différents, principalement avec des consignes de DT et de transfert de poids, sont proposés avec la RV. La version instrumentalisée du TUG est réalisée

dans cette étude et les résultats montrent que le groupe expérimental a une amélioration significative de l'iTUG, surtout dans les composantes de transfert. Le groupe contrôle n'a pas eu d'améliorations significatives. En revanche, Delbroek et al, qui ont aussi utilisé le test de Tinetti, n'ont pas vu de différences significatives entre les deux groupes pour ce test [84].

Avec leur plateforme Tymoplate, **Wüest et al** étudient l'équilibre fonctionnel en comparant les résultats du 7mTUG, du BBS et du SPPB avant et après leur protocole [71]. Les trois tests sont améliorés mais dans le score du SPPB, seul l'item « équilibre statique » s'est amélioré.

Dans leur étude, **Eggenberg et al** comparent trois groupes de 25 PA (78 ans), indépendantes. Le 1^{er} groupe suit une rééducation avec une plateforme de force associée à un jeu de danse. Le 2^{ème} suit une rééducation sur tapis de marche associé simultanément à des exercices de mémoire tandis que le 3^{ème} groupe suit une rééducation uniquement sur le tapis de marche. Chaque groupe a en plus des exercices de renforcement musculaire et d'équilibre. Les séances se déroulent deux fois une heure par semaine pendant six mois. Les tests sont réalisés juste avant, au milieu et juste après le protocole ainsi que 12 mois plus tard. Le test utilisé est le SPPB. Les résultats montrent une amélioration pour les trois groupes, sans supériorité de l'un par rapport à l'autre. En revanche, ces résultats diminuent légèrement dans le suivi à long terme, lors de l'évaluation 12 mois après [85].

5.1.2.2 Equilibre fonctionnel et capture de mouvements

Sur cinq études qui étudient l'impact de la capture de mouvements en RV sur l'équilibre fonctionnel, quatre utilisent la technologie de la Kinect™ associée à différents logiciels.

Seule l'étude de **Griswold et al**, utilise un autre type de capture de mouvements ; l'OmniVR™. L'objectif de leur étude est de voir si cet outil de RV peut être effectif dans le bilan des troubles de l'équilibre. Pour cela, ils comparent les tests TUG, FTSS, FFR, et 30-s stand test, exécutés en RV et en RC [86]. Quarante PA (68 ans), indépendantes, réalisent successivement ces tests dans un ordre aléatoire avec la RV et la RC. Les consignes verbales lors de la RC sont issues des consignes officielles des tests alors que les consignes fournies par la RV sont issues du logiciel lui-même, et peuvent donc être différentes. Les résultats montrent une excellente fiabilité entre les tests réalisés avec la RV et la RC. Par conséquent, la RV semble efficace dans les tests de détection des troubles de l'équilibre.

Gschwing et al, eux, reprennent la technologie de la Kinect™ couplée au logiciel IStoppFalls qu'ils installent au domicile du groupe de PA concernées. Leur étude inclut 160 PA (75 ans), indépendantes, venant de différents pays. Un 1^{er} groupe de 80 personnes suit le protocole de RV. Le logiciel IStoppFalls permet de créer un programme de rééducation adapté à la personne. L'objectif de l'étude est de voir si ce logiciel peut être performant pour la mise en place d'un protocole de rééducation autonome à domicile, dans un but de prévention des chutes [87]. Les programmes créés par le logiciel sont basés sur les recommandations d'activité physique et associent par conséquent, exercices d'équilibre, de renforcement musculaire et d'assouplissement. La personne doit réaliser le protocole de rééducation en autonomie à

domicile. Le logiciel est également capable de réaliser des évaluations du risque de chute. Le 2^{ème} groupe de 80 personnes est un groupe contrôle qui n'a pas de protocole imposé d'exercices, ni par RV ni par RC. Au début de l'étude, les patients des deux groupes reçoivent les recommandations sur la durée hebdomadaires des activités physiques, soit 180 minutes. Ces recommandations sont basées sur les protocoles de prévention des chutes de Sherrington et al [88]. Des conseils sur l'hygiène de vie et un livret explicatif sont également donnés. Ensuite, les deux groupes sont laissés en autonomie pendant 16 semaines. Les évaluations fonctionnelles (TUG, PPA, SPPB) sont réalisées comparativement au sein des deux groupes, au début, au milieu, à la fin et six mois après le protocole. Les résultats, publiés dans une seconde étude, montrent que le PPA a été significativement plus amélioré dans le groupe RV. En revanche, pour le TUG et le SPPB, il n'y a pas eu d'amélioration significative dans chacun des groupes [89].

Par contre, une amélioration du TUG et du BBS est trouvée dans l'étude de **Hsieh et al** qui utilise la Kinect™ reliée au logiciel Unity3D [90]. Le protocole dure six semaines avec deux séances hebdomadaires de 30 minutes. Deux groupes de quatre PA (63 ans), indépendantes, sont constitués. Le 1^{er} suit la rééducation avec la RV, l'autre ne suit aucune rééducation. Les séances du groupe expérimental avec la RV contiennent des exercices d'équilibre.

Bacha et al proposent de se servir d'une évaluation systémique, le mini BESTest pour évaluer l'équilibre fonctionnel des PA. C'est la seule de mes études qui utilise cette catégorie de test. Dans leur étude, les auteurs comparent une rééducation par RV utilisant la Kinect™ associée au logiciel de la Xbox avec une RC. Pour cela, ils prennent deux groupes de 23 PA chacun (60-80 ans), indépendantes. Les deux groupes suivent un protocole hebdomadaire de deux séances d'une heure pendant sept semaines. Le groupe avec la RV réalise quatre jeux différents qui combinent des consignes d'équilibre, de coordination motrice, de renforcement musculaire et de tâche cognitive. Le groupe contrôle, lui, doit réaliser sept exercices d'équilibre statique et dynamique, de renforcement musculaire, de coordination et d'étirement. Les séances du groupe contrôle se déroulent en groupe. Les évaluations sont réalisées juste avant et après le protocole ainsi que quatre semaines plus tard. Les résultats montrent que les deux groupes ont une amélioration significative, sans montrer de supériorité l'un par rapport à l'autre après le protocole. Leurs améliorations sont maintenues lors de l'évaluation quatre semaines après [91].

Dans leur étude, **Kim et al** se servent également, comme Bacha et al, de la Kinect™ couplée à la Xbox, mais ils exploitent le test de la réaction de force au sol pour évaluer l'équilibre fonctionnel [92]. Pour ce faire ils comparent deux groupes de 18 PA chacun (68 ans), indépendantes, avec un groupe qui suit la rééducation avec la RV, alors que l'autre ne suit aucune rééducation. Le protocole dure huit semaines avec trois séances d'une heure par semaine. Les séances se déroulent en autonomie chez la PA. Comme dans l'étude de Gschwing et al, un des objectifs de l'étude est de voir si un programme de RV peut être mis en place sans surveillance physique, uniquement avec le rétrocontrôle d'un thérapeute fictif inclus dans le jeu de la RV, chez une PA. La force de réaction au sol a été évaluée avant et après le protocole à l'aide d'une plateforme de force. Elle a été enregistrée dans quatre conditions différentes : YO/YF durant le « backward stepping test » et YO/YF durant le « crossover stepping test ». Les résultats montrent une amélioration significative du test dans les quatre conditions, particulièrement lors des tests exécutés avec les YF, pour le groupe avec la Kinect™. Aucune amélioration significative n'a été retrouvée dans le groupe contrôle.

5.1.2.3 Equilibre fonctionnel et tapis de marche associé à la réalité virtuelle

Shema et al étudient l'impact d'un tapis de marche combiné à un système de capture de mouvements [93]. Le jeu proposé est un parcours de marche sur un pont au dessus d'une rivière. La trajectoire du pont et les obstacles obligent le patient à travailler la hauteur et la longueur de ses pas. Soixante PA sont incluses dans ce protocole pendant cinq semaines avec trois séances d'une heure par semaine. Pour évaluer leur équilibre fonctionnel, le TUG et le FTSS sont réalisés avant et après le programme de rééducation. A la fin des cinq semaines, les deux tests sont améliorés significativement.

5.1.2.4 Equilibre fonctionnel et télé-rééducation

L'étude de **Kizony et al** essaie de regarder si la mise en place d'une rééducation en autonomie chez les PA serait possible avec un système de télé-rééducation associé au logiciel de CogniMotionVR, lui aussi basé sur le système de capture de mouvements [94]. Le protocole serait étudié sur les fonctions physiques et d'équilibre sur plus de 200 utilisateurs. Les résultats ne sont pas encore parus.

5.1.3 Conséquences sur les paramètres de marche

5.1.3.1 Paramètres de marche et plateforme de force

Les deux études qui évaluent les paramètres de marche avec des plateformes de force se servent du même système : le GAITRite®. C'est un système portatif qui peut s'installer facilement et qui ressemble à un tapis de marche mesurant sept mètres de long. Il fonctionne comme une plateforme de force, avec des capteurs de pression qui mesurent les paramètres spatio-temporels de la marche. Le patient peut marcher normalement sur cette passerelle ou alors l'examineur peut lui demander de marcher selon certaines consignes.

Dans leur étude, **Eggenberg et al** évaluent la marche des PA avec et sans DT, à leur vitesse confortable de marche ou à leur vitesse maximale. Les paramètres mesurés dans ces quatre conditions sont la vitesse de marche, la longueur des pas, la variabilité de longueur des pas, la vitesse d'un pas et la variabilité de vitesse entre les pas. Les résultats montrent une amélioration des paramètres spatio-temporels dans les trois groupes, sans supériorité d'un groupe par rapport à un autre. Par contre, 12 mois après, les améliorations ne se sont pas maintenues pour chacun des paramètres [85]. En revanche, alors que **Wüest et al** évaluent les mêmes paramètres de marche avec le même outil, ils ne trouvent, eux, aucune amélioration significative après leur protocole incluant la plateforme Tymo plate [71].

5.1.3.2 Paramètres de marche et capture de mouvements

Deux de mes études évaluent les paramètres de marche avec des systèmes de capture de mouvements.

Bacha et al, pour étudier la marche des PA, utilisent le test FGA (Functional Gait Assessment) [91]. Les résultats montrent que les groupes expérimental et contrôle ont une amélioration significative de ce test après l'intervention. Cette amélioration est maintenue quatre semaines après le protocole. La Kinect™ associée au logiciel de la Xbox pourrait donc améliorer les paramètres de marche.

Après leur protocole avec le logiciel IStoppFalls, **Gschwind et al**, eux, mesurent la vitesse de marche avec et sans DT [89]. Les deux groupes ont tendance à avoir une diminution de leur vitesse de marche avec et sans DT et cette diminution est légèrement plus importante en DT dans le groupe qui a suivi la rééducation avec la RV. Cependant, ces résultats ne sont pas assez importants pour être significatifs.

5.1.3.3 Paramètres de marche et tapis de marche associé à la réalité virtuelle

Dans leur étude, **Franz et al** se servent des paramètres de marche pour étudier l'impact d'un environnement virtuel sur la marche d'une PA [95]. Pour cela, ils prennent un groupe de 12 sujets jeunes (24 ans), qui servira de référence, et un groupe de 11 PA (71 ans). Durant le protocole, les deux groupes vont devoir marcher sur un tapis de marche en regardant sur un écran un environnement virtuel proposant la vue d'un couloir qui défile, avec des virages sur le plan médio-latéral. L'objectif est de voir si la vision d'un environnement virtuel perturbe ou non la cinématique de marche et dans le même temps, de montrer que l'entrée visuelle a un rôle important dans le maintien de l'équilibre dynamique. Les paramètres de marche qui sont enregistrés dans cette étude sont les mouvements médio-latéraux du sacrum et le placement médio-latéral des pas. Les résultats montrent que dans le groupe de sujets jeunes, il n'y a pas de différences significatives sur ces paramètres entre les conditions de marche avec ou sans les perturbations visuelles. En revanche, l'équilibre dynamique est significativement plus perturbé dans le groupe des PA lorsque l'on compare leur marche avec ou sans les perturbations virtuelles, soulignant l'importance de la vision chez des sujets âgés comparés à des sujets jeunes.

5.2 Systèmes et fonctions participant indirectement à l'équilibre

Plusieurs études, parallèlement aux paramètres de CP, évaluent des fonctions connexes. Il me semble important de décrire ces résultats même s'ils seront présentés plus succinctement que les précédents puisqu'ils interviennent dans une moindre mesure sur le maintien de l'équilibre.

5.2.1 Système cardio-respiratoire

La fonction d'endurance est importante dans l'équilibre en permettant le maintien d'une position sur le long terme. Si la PA ne parvient pas à soutenir un effort dans la durée, alors il lui sera plus difficile de répondre à des déséquilibres qui peuvent venir se surajouter ponctuellement. Deux de mes études, utilisant la RV avec capture de mouvements, couplée ou non à un tapis de marche, ont trouvé une amélioration des capacités cardio-respiratoires des PA.

Pour voir ce résultat, **Bacha et al** utilisent le test 6MST (6-Minute Stepper Test) [91]. Le 6MST est un test où la PA doit réaliser le plus de steps en six minutes et durant lequel la VO₂ et la FC sont calculées. Les deux groupes ont une amélioration de leur endurance après le protocole mais le groupe ayant bénéficié de la RV, contrairement au groupe contrôle, voit ses résultats maintenus quatre semaines après le protocole. Dans l'étude de **Shema et al**, le test de marche de deux minutes (TDM2) confirme ce résultat. La vitesse de marche semble également augmentée mais pas de manière significative [93].

5.2.2 Système musculaire

La force musculaire d'une PA est le reflet de sa sarcopénie, qui est un prédicteur de chute. C'est donc un paramètre important à évaluer parallèlement au CP. Dans mes études, elle est évaluée avec la mesure de la force de préhension et avec des mesures de la force de certains groupes musculaires.

- Force de préhension

La force de préhension, et également le test de flexion des bras (Arm Curl Test) semblent améliorés avec le système CAVE de **Park et al**. Le groupe contrôle a lui une diminution de ces deux tests [79]. En revanche, aucune amélioration de la force de préhension n'est retrouvée avec la plateforme Wii Fit™ dans l'étude de **Prata et al** et avec l'IStoppFalls de **Gschwind et al** [82][89].

- Force musculaire

Par contre l'IStoppFalls révèle une amélioration significative de la force d'extension du genou. Cette amélioration est également trouvée dans le groupe contrôle [89]. Des améliorations de la force des muscles fléchisseurs, extenseurs, abducteurs et adducteurs de la hanche sont trouvées avec la Kinect™ associée à la Xbox dans l'étude de **Kim et al**. La force musculaire a été mesurée par un dynamomètre en prenant la moyenne de trois essais [92]. **Lim et al** mesurent la force musculaire des extenseurs et fléchisseurs du genou avec un appareil d'isocinétisme Biodex Multi-Joint System 4. A la fin du protocole, seul le groupe avec des exercices « complexes » sur la Wii Fit™ a eu des améliorations [83].

5.2.3 Fonctions supérieures

Les fonctions cognitives et exécutives sont souvent testées dans mes études. Stimuler ces fonctions, pour mieux les conserver, permet aux PA d'avoir de meilleures capacités visuo-spatiales, ce qui favorise les bonnes conditions de l'équilibre. Les activités en DT, souvent source de chutes, peuvent également être mieux appréhendées. Le test le plus utilisé est le MoCA (Montréal Cognitive Assessment). Il peut être utilisé en première ligne pour détecter un trouble cognitif léger qui sera ensuite à explorer plus en détail par un professionnel de santé formé.

L'étude de **Bacha et al**, avec un système de capture de mouvements trouve une amélioration du MoCA dans son groupe expérimental et contrôle. Cette amélioration est maintenue quatre semaines après la fin du protocole [91]. **Park et al**, avec un système CAVE trouvent aussi une amélioration de ce test. Inversement, le groupe contrôle voit son score diminué [79]. En revanche, **Delbroek et al**, avec la plateforme BioRescue, ne trouvent pas d'amélioration significative dans le groupe expérimental [84].

Par contre, **Hwang et al** trouvent une amélioration avec la plateforme BioRescue des tests VST (Visual Span Test) et WCT (Word Color Test) qui portent plutôt sur la mémoire et la concentration. Cette amélioration n'est pas retrouvée dans le groupe contrôle [69].

En reprenant le même protocole que leur étude portant sur les fonctions physiques des PA, **Eggenberg et al** consacrent une étude entière sur l'évaluation des fonctions cognitives [96]. Pour cela, ils utilisent une dizaine de tests. Globalement, les résultats montrent une amélioration significative des tests pour les trois groupes. Mais les groupes ayant suivi un protocole en DT, dont celui avec la RV, ont une amélioration plus significative que ceux avec une simple tâche. Les améliorations sont retrouvées un an après, même si elles ont diminué. **Gschwind et al**, qui utilisent le même genre de test qu'Eggenberg et al, trouvent également une amélioration des fonctions supérieures avec leur logiciel IStoppFalls [89].

5.2.4 Activité cérébrale

Deux de mes études analysent la répercussion d'une séance de RV sur l'activité cérébrale. Ces deux études utilisent des dispositifs de RV passant par la vue : visiocasque et lunette 3D.

L'objectif de **Chang et al** est d'étudier la corrélation entre l'activation corticale et la réponse posturale mise en place lors d'un déséquilibre, chez des personnes ayant plus ou moins un risque de chute [97]. Pour cela des PA avec un risque de chute plus ou moins grand sont placées sur une plateforme de force Stewart qui génère des perturbations, associées ou non à un environnement virtuel diffusé par un visiocasque HMZ-T3W. La consigne est de rester le plus stable possible. En même temps, un EEG est enregistré. On remarque que les interactions entre les différentes régions corticales sont mieux faites pour les PA avec un faible risque de chute comparées à celles plus à risque. Avoir un déficit au niveau cortical peut donc représenter un risque de chute supplémentaire chez une PA.

Ferrari et al étudient eux aussi l'activation corticale dans un environnement virtuel, mais pour cela, ils mesurent le taux d'hémoglobine et de désoxyhémoglobine par spectrophotométrie infrarouge. Ces mesures sont réalisées sur le cortex préfrontal uniquement [98]. Dans leur étude, ils étudient un groupe de 22 jeunes adultes indépendants, pour pouvoir établir une norme afin d'en tirer des hypothèses sur le fonctionnement de sujets potentiellement pathologiques. Lors du test, les sujets sont debout dans une pièce, et voient un environnement semi-virtuel grâce à des lunettes 3D. Deux modalités d'exercices sont proposées : soit le niveau de difficulté reste constant soit il s'accroît dans le temps. Pendant la réalisation des exercices, l'oxygénation du cortex préfrontal est enregistrée. Les résultats montrent, qu'au début de l'exercice, le taux d'oxyhémoglobine augmente rapidement, alors que le taux de désoxyhémoglobine diminue. Que la difficulté soit constante ou croissante, une phase de plateau apparaît au bout de quelques minutes. Quand l'exercice s'arrête, les taux reviennent très rapidement à leur niveau initial.

5.2.5 Système circulatoire

L'étude de **Hsieh et al** est la seule de mes études qui analyse l'impact d'un protocole de RV sur des paramètres sanguins. La Kinect™ associée au logiciel Unity3D montre une légère augmentation de la SpO2 et de la FC pendant les séances et également entre le début et la fin du protocole. Mais cette augmentation n'est pas assez significative pour réellement conclure [90].

5.3 Perception de la réalité virtuelle par les personnes âgées

Beaucoup de mes études n'évaluent pas l'impact de la RV sur l'équilibre en tant que tel mais s'intéresse plutôt à la perception, la facilité d'utilisation et l'acceptation qu'ont les PA de la RV. Pour cela sont utilisés soit des questionnaires validés scientifiquement ou créés spécialement pour l'étude, soit des données plutôt qualitatives issues d'observations ou d'interrogatoires.

5.3.1 Acceptabilité et adhésion

Onze de mes études évaluent l'acceptabilité et l'adhésion (**Fig.1**). Elles montrent toutes, en général, une très bonne perception de la RV de la part des PA, ainsi qu'une forte adhésion à ce genre de rééducation. Seules les méthodes pour le démontrer varient.

5.3.1.1 Perception des plateformes de force

Glännfjord et al évaluent de manière qualitative le ressenti de PA utilisant le jeu Wii Sport Bowling™ en maison de retraite. Pour cela, ils observent sur une période de 17 semaines,

15 sessions de 30 minutes de huit PA avec lesquelles ils réalisent également un entretien semi-directif. Les PA rapportent un sentiment positif de pouvoir réaliser des activités en RV qu'elles ne peuvent plus faire en réalité. Une émulation de groupe pousse les PA à rester motivées et à se dépasser, avec une adhésion forte dans le jeu. Les PA trouvent que l'immersion dans ce jeu est bonne ce qui leur permet de détourner leur attention de leurs douleurs quotidiennes [99].

Une bonne motivation et un engagement fort des PA avec la plateforme BioRescue de **Delbroek et al** sont également trouvés. Ces résultats sont issus du questionnaire IMI (Intrinsic Motivation Inventory) avec des scores allant de 5.4 à 6.6 selon les items, le maximal étant sept. Le questionnaire OERS (Observed Emotion Rating Scale) montre que les PA ont ressenti des émotions positives associant plaisir et attention durant les exercices. La tristesse et l'anxiété ont été très minimales mais sont survenues parfois lorsque les patients échouaient à un exercice [84]. **Eggenberg et al** montrent aussi, avec le questionnaire PACES (Physical Activity Enjoyment Scale), un engouement supérieur pour les groupes ayant eu une rééducation physique associée à une tâche cognitive par rapport au groupe n'ayant eu qu'une tâche physique [96].

Pour évaluer l'acceptation de leur plateforme Tymoplate, **Wüest et al** utilisent le questionnaire TAM (Technology Acceptance Model) et montrent que les PA ont trouvé la plateforme facile à utiliser et décrivent une attitude positive avec cet appareil. L'adhésion a été mesurée par le nombre de personnes ayant terminé le protocole entièrement. Trois personnes n'ont pas terminé le protocole, mais pour des raisons n'impliquant pas la RV. L'auteur conclut donc sur une adhésion de 100% [71].

5.3.1.2 Perception de la capture de mouvements

L'acceptabilité de la Kinect™ associée à la Xbox est plutôt bonne dans l'étude de **Bacha et al**. Les deux groupes ont été motivés mais ceux avec la RV semblent l'avoir été davantage. De plus, 100% du groupe expérimental se voit refaire ces exercices à la maison, contre 91% pour le groupe contrôle. En revanche, 91% du groupe contrôle a jugé que le temps d'intervention était adéquat alors que seulement 13% du groupe expérimental l'a rapporté. Le seul effet indésirable a été une douleur musculaire rapportée par les deux groupes après le premier jour du protocole. L'adhésion, mesurée de la même manière que Wüest et al, a été similaire dans les deux groupes [91].

Gschwind et al montrent aussi une bonne acceptabilité de la Kinect™ couplée à l'IStoppFalls en obtenant une moyenne de 62 au questionnaire SUS (System Usability Scale) [100]. De plus, le groupe expérimental a eu une satisfaction plus élevée que le groupe contrôle lorsque l'on compare les résultats du questionnaire DART (Dynamic Acceptance Model for the Reevaluation of Technologies). Ils montrent également un niveau élevé de plaisir en reprenant le score PACES [87][89].

5.3.1.3 Perception des visiocasques

Aucune différence n'est retrouvée entre le visiocasque et la plateforme de force au niveau des effets indésirables dans l'étude de **Saldana et al.** Seules les sensations de nausée semblent être légèrement supérieures avec le visiocasque, selon les résultats du SSQ (Simulator Sickness Questionnaire). La comparaison des résultats entre deux sessions avec le visiocasque montre une bonne fiabilité [75].

5.3.1.4 Perception des tapis de marche couplés à la réalité virtuelle

En comparant un groupe expérimental sur tapis de marche agrémenté de RV, avec un groupe seulement sur tapis de marche, **Dockx et al.**, avec le questionnaire AQ (Attitude Questionnaire), montrent qu'au départ, le groupe avec la RV pense que son programme aura moins de bénéfice sur la prévention des chutes, contrairement au groupe sans RV. A la fin du protocole de l'étude, ce résultat change et les PA semblent satisfaites et convaincues par la RV. D'après l'USQ (User Satisfaction Questionnaire), les deux groupes semblent satisfaits de leur intervention et disent ressentir des bénéfices sur les plans physique et cognitif [101].

5.3.1.5 Perception des systèmes CAVE

Deux études évaluent de manière qualitative un dispositif de système CAVE.

Le dispositif de **Pedroli et al** est un ergomètre (Cosmed Eurobike 320) pour membres inférieurs installé dans un système CAVE, appelé « Positive Bike » [102]. Cinq PA (70 ans) sont interrogées après une participation de 15 minutes dans ce système. Avec le « Positive Bike », la PA se voit sur un chemin, où peut apparaître différents animaux ou objets, de différentes couleurs, avec des consignes en DT. Les PA testent le système avec le niveau de difficulté le plus simple. La facilité d'utilisation est jugée comme « acceptable » grâce à un score de 76.88 au SUS. De plus, chaque item de l'échelle « Short flow state scale », version réduite du Flow State Scale, a été en moyenne évalué à 4/5 par les utilisateurs, avec l'item « enjeu du défi » qui a obtenu la note la plus haute [103]. La réalisation d'un entretien semi-directif montre un sentiment positif des utilisateurs qui ont trouvé cet appareil facile à utiliser avec une immersion correcte, donnant une bonne motivation. En revanche, certains ont rapporté ne pas voir le bénéfice par rapport à un autre type de rééducation et ne pas se sentir à l'aise dans l'environnement virtuel.

Dans l'étude de **Bourrelier et al**, les PA doivent réaliser un exercice, dans un ordre aléatoire, avec un système CAVE et lors d'une RC. Ce qui est intéressant dans cette étude, c'est que dans les deux situations, l'exercice demandé est identique en matière de tâches cognitive et motrice. La différence réside seulement sur le fait que la PA est, soit dans un environnement réel, soit dans un environnement virtuel. Un entretien réalisé après le protocole montre que peu des

PA incluses avaient déjà eu une expérience avec la RV. Le ressenti des personnes est, encore une fois, positif avec une bonne perception de l'environnement virtuel, à l'exception parfois des nuances de couleurs. Les tâches demandées ont été facilement comprises avec la RV, qui induit une consigne implicite. L'exercice dans le monde réel, qui induit une consigne explicite, était parfois plus difficile à comprendre mais la présence du MK était appréciée [104].

5.3.1.6 Perception de la réalité virtuelle par les professionnels de santé

Levac et al s'intéressent à la perception de la RV par des MK et des ergothérapeutes qui exercent au Canada. Pour cela, ils recueillent à travers un questionnaire intitulé « Assessing Determinants of Prospective Take-up of Virtual Reality Instrument (Version 2) » (ADOPT-VR2), 562 réponses d'ergothérapeutes et 506 de MK [105]. La moitié des professionnels de santé a déjà eu une expérience avec la RV mais seulement 12% l'utilisent dans leur pratique. La RV semble être utilisée en priorité pour des populations souffrant d'atteintes neurologiques ou orthopédiques. Son usage en gériatrie est classé seulement en 5^{ème} position alors que la RV est proposée en priorité lors de troubles de l'équilibre. Aucun usage en prévention ou en évaluation n'est mentionné. Les principaux appareils connus ou utilisés sont restreints aux jeux vidéo commerciaux. Les principales barrières à l'usage de la RV, rapportées par les professionnels, sont le coût, le manque d'espace et de temps ainsi que le manque de preuve. L'avantage principalement cité est la motivation des patients. Globalement, il est rapporté un manque de connaissance sur la RV, ce qui freine son utilisation.

5.3.2 Conséquences sur les chutes

5.3.2.1 Nombre et risque de chute

Mes études concluent toutes sur le fait que la RV aboutit à une diminution du risque et du nombre de chutes. Pour évaluer ce risque, mes études utilisent un test fonctionnel dont le résultat exprime ou non un risque de chute. Quant au nombre de chutes, il est étudié rétrospectivement en interrogeant les PA ou le personnel soignant.

Fu et al évaluent le risque de chute en analysant le résultat de la version réduite du PPA (short Physiological Profile Assessment) [106]. À la fin des six semaines de protocoles, les résultats du test montrent que le groupe de 30 PA ayant suivi la rééducation avec la plateforme de force Wii Fit™ a une diminution plus significative du risque de chute par rapport au groupe contrôle, notamment dans les items sur la force musculaire, le balancement postural, et le temps de réaction posturale. Les résultats de **Gschwind et al**, qui utilisent le système de capture de mouvements couplé à l'IStoppFalls, corroborent ceux de Fu et al [89]. **Shema et al**, après leur protocole sur tapis de marche couplé à la RV, utilisent le test du FSST (Four Square Step Test) et montrent également un risque de chute diminué même s'il est toujours présent [93].

De plus, dans les études de Fu et al, Gschwind et al, et dans celle de **Duque et al** qui utilise la plateforme BRU, le nombre de chutes diminue de manière plus significative dans les groupes avec RV [70]. En revanche, même si dans l'étude d'**Eggenberg et al** les trois groupes ont également une diminution de leur fréquence de chutes à la fin du protocole, on voit une ré-augmentation de cette fréquence entre le 6^{ème} et le 12^{ème} mois post-protocole. Seul le groupe ayant eu des séances sur tapis de marche avec des exercices de mémorisation, a une fréquence de chutes maintenue entre le 6^{ème} et 12^{ème} mois [85].

En 2014, **Pietrzak et al** réalisent une revue systématique pour interroger la littérature sur les effets de la RV sur la prévention des chutes. Pour cela, 21 études sont incluses dans leur revue [107]. Les résultats de douze de ces études montrent une amélioration de l'équilibre après les protocoles de rééducation alors que les sept autres ne montrent pas d'amélioration. L'étude conclut qu'il n'y a pas de corrélation entre les améliorations potentielles de l'équilibre et la prévention des chutes, mais la RV semble tendre vers cet objectif.

5.3.2.2 Rapport des personnes âgées face à la chute

La peur de chuter dans différentes situations de la vie quotidienne est évaluée par le questionnaire FES-I (Falls Efficacy Scale International). **Eggenberg et al** reprennent ce questionnaire dans leur protocole, mais ne trouvent pas d'améliorations significatives dans les trois groupes [85]. En revanche, une diminution de la peur de chuter est trouvée dans l'étude de **Prata et al** qui utilisent la WiiFit™ [82]. **Duque et al** trouvent également ce résultat avec la plateforme BRU, mais en utilisant le questionnaire SAFFE (Survey of Activities and Fear of Falling in the Elderly) [70].

Bloch et al réalisent une rapide revue systématique sur les effets de la RV sur le stress post-traumatique [108]. En étudiant 23 études, la revue systématique semble montrer un effet bénéfique de la RV sur le stress post-traumatique, notamment sur le plan psychologique. Par analogie, les auteurs écrivent que la RV pourrait alors être utilisée en rééducation d'un stress post-traumatique d'une PA ayant chuté. Les modalités d'environnement à utiliser et le type d'exercice restent à déterminer [109].

5.3.2.3 Qualité de vie

Seules deux de mes études utilisent des échelles pour étudier l'impact que peut avoir la RV sur la QDV des PA. **Gschwind et al** ne trouvent pas de variations significatives pour les scores évaluant la QDV, le niveau d'activité physique ainsi que la dépression [89]. Le score GDS (Geriatric Depression Scale) évaluant la dépression des PA, dans l'étude d'**Eggenberg et al** montre de légères augmentations ou diminutions selon les différents temps d'évaluation et selon les groupes. Cependant, ces variations ne sont pas assez significatives pour en tirer des conclusions. En tout cas, aucun score ne dépasse cinq, seuil à partir duquel le terme de dépression peut être évoqué [85].

5.3.3 Efficacité de la réalité virtuelle

- Réalité virtuelle versus rééducation conventionnelle versus aucune rééducation

En 2014, **Glegg et al** s'intéressent à cette comparaison mais étudient seulement les appareils de la gamme GestureTek, qui sont des appareils créés pour la rééducation. Après avoir analysé 44 études, la revue montre que ces appareils, principalement des captures de mouvement, sont surtout utilisés pour l'équilibre, la mobilité, la coordination et les mouvements du membre supérieur chez des populations neurologiques. Peu d'études concernant la population gériatrique ont été retrouvées [110]. Dans la même année, **Laufer et al** utilisent le même protocole que Glegg et al, mais eux, étudient seulement la Wii Fit™. Cette revue systématique inclut sept études et les auteurs concluent que la rééducation avec la Wii™ reste supérieure à aucune rééducation mais, selon cette revue, les bénéfices seraient à peu près égaux en RC [111].

Il faudra attendre 2016 pour que **Donath et al** réalisent une revue systématique qui inclut tous les types d'appareils de RV [112]. Les résultats des 18 études analysées montrent la même conclusion que la revue de Laufer et al, mais les auteurs rapportent un manque de méthodologie. En 2017, la revue de **Neri et al** inclut également tous les types d'appareils de RV et il semble ressortir des 28 études analysées, que la rééducation avec la RV est plus intéressante pour améliorer l'équilibre et diminuer la peur de chuter des PA par rapport à la RC. Un atout majeur décrit dans cette revue est l'adhésion des PA avec la RV. En revanche, devant une trop grande hétérogénéité, la revue ne conclut pas sur un type d'appareil précis et sur sa posologie [113].

- RV seule

En 2014, **Molina et al** étudient les effets de la RV sur les fonctions physiques des PA [114]. A noter que sur 13 études, la plupart utilise la Wii Fit™ et le test du TUG. Devant une trop grande hétérogénéité, aucune conclusion n'est faite sur la supériorité de la RV par rapport à une autre technique. Le seul consensus qui apparaît est la motivation des PA.

En 2017, **Howard et al** cherchent à identifier si la RV est réellement bénéfique en rééducation et à expliquer quels sont ses bénéfices potentiels [115]. Pour cela, 27 études sont incluses dans leur revue. Les résultats semblent en faveur de la RV par rapport à la RC pour le paramètre du CP. Trois hypothèses expliquant cela sont citées. La RV, par rapport à la RC, recrée des situations proches de la vie quotidienne, d'autant plus que les exercices proposés sont souvent en DT, ce qui permet de transposer plus facilement les acquis obtenus en séances. La motivation est également citée.

- Autre

Skjæret et al analysent quels sont les appareils de RV les plus utilisés, leur taux d'adhésion, leurs avantages ou inconvénients, ainsi que les paramètres qu'ils étudient [53]. Les appareils de RV les plus utilisés, parmi les 60 études incluses, sont les jeux vidéo. L'adhésion semble être forte et peu d'effets indésirables sont rapportés. Le CP et la mobilité fonctionnelle sont les paramètres les plus étudiés, et selon les auteurs, la RV semble supérieure, ou au moins égale à la RC, si son usage est adapté au patient. Un autre avantage que décrivent **Giggins et al** dans leur revue est le fait que la RV peut proposer de nombreux feedbacks simultanément [116].

6. Discussion

Lors de l'écriture de mes résultats, regrouper mes études en différentes parties n'a pas été aisé. Ceci est lié à une très grande hétérogénéité au sein de mes études. En effet, les appareils de RV testés, les protocoles, les méthodes, les objectifs ainsi que les populations étudiées sont rarement les mêmes. Par conséquent, leur regroupement est complexe puisque, même si des résultats convergent, ils n'expriment pas forcément la même idée selon le protocole utilisé pour les obtenir. Rares ont été les études qui ont pu être regroupées au niveau d'un seul et même protocole. Par conséquent, pour faciliter l'interprétation de mes résultats, des tableaux et des diagrammes statistiques seront proposés dans cette discussion afin de mieux l'illustrer et l'appuyer. A noter que les tableaux et les diagrammes ont été construits uniquement avec les résultats des études utilisant un protocole d'essai contrôlé randomisé.

6.1 Synthèse des résultats

Pour résumer les principaux résultats issus de mes études et afin d'essayer d'amorcer synthétiquement une réponse à ma problématique, un tableau résumant les résultats trouvés pour chaque modèle d'appareil de RV testés dans mes études, a été réalisé (**Annexe VI**). Ce tableau permet aux MK, avec une lecture horizontale, de voir pour un appareil donné quels paramètres sont améliorés ou, avec une lecture verticale, de voir pour un paramètre donné quels appareils fonctionnent.

A noter que ce tableau ne tient pas compte des hétérogénéités des études entre elles et permet seulement une lecture brute des résultats de la littérature, sans pondération. Chaque différence au sein des protocoles sera étudiée plus loin dans cette discussion. Je m'attacherai, dans la partie qui suit, à faire l'état des lieux des appareils qui semblent pertinents pour un paramètre donné, reprenant ainsi le plan utilisé pour décrire mes résultats. Cela permettra également de voir quelles études ont été utilisées pour construire le tableau de synthèse.

- Equilibre

Nous pouvons voir que pour le contrôle des variations du CDP, les plateformes de force Wii™, BioRescue et BRU semblent efficaces [66][67][68][69][70]. En revanche, le modèle Tymoplate n'a pas montré d'efficacité [71]. Concernant les appareils de RV de type capture de mouvements, c'est la Kinect™ couplée au logiciel Unity3D et au dispositif Fovea Interactive qui semble la plus efficace [73][74]. Le système CAVE avec le dispositif de Kayak a également fait ses preuves [79]. En revanche, aucune étude avec des visiocasques ou des tapis de marche couplés à la RV investiguent ce paramètre de l'équilibre.

L'équilibre fonctionnel est amélioré par les plateformes de forces Wii™, BioRescue, Dance et Tymoplate ainsi que par la capture de mouvements associant la Kinect™ à la Xbox, à

Unity3D et à l'IStoppFalls [81][82][83][84][85][71][91][92][90][89]. Un tapis de marche associé à la capture de mouvements se montre également intéressant [93].

Concernant les paramètres de marche des PA, la plateforme Tymoplate n'a une nouvelle fois pas montré d'efficacité alors que la plateforme Dance et la capture de mouvements couplant la Kinect™ à la Xbox et au logiciel IStoppFalls semblent fonctionner [71][85][91][89].

- Paramètres indirects impactant l'équilibre

Seules deux études analysent et montrent un impact positif d'une rééducation avec RV sur les paramètres de marche d'une PA, en utilisant le couple Kinect™ et Xbox ainsi qu'un tapis de marche couplé à la RV [91][93]. La force musculaire semble, elle, pouvoir être améliorée par la capture de mouvements qui couple la Kinect™ à la Xbox et par le système CAVE avec le dispositif kayak [92][79]. En revanche, le programme avec l'IStoppFalls ne semble pas effectif et les résultats des études utilisant la plateforme de la Wii™ sont controversés [89][82][83].

A propos des fonctions supérieures, la plateforme Dance apparaît valable alors que la plateforme BioRescue semble plus controversée [96][69][84]. Les modèles de capture de mouvements associant Kinect™ et Xbox ou IStoppFalls ainsi que le système CAVE associé au kayak montrent un intérêt pour ce paramètre [91][89][79]. Deux études qui utilisent la plateforme Stewart et le visiocasque HMZ-T3W montrent un intérêt dans l'activité cérébrale lors de séance avec de la RV [97][98]. La capture de mouvements de Kinect™ avec le logiciel Unity3D révèle un effet positif sur le système circulatoire [90].

- Perception de la RV par les PA

Si sur certains paramètres, les résultats sont parfois controversés, les études qui évaluent l'adhésion et l'acceptabilité des appareils de RV, et celles qui évaluent la RV en tant qu'outils d'évaluation pour les troubles de l'équilibre des PA, semblent toutes favorables à la technologie de la RV. On retrouve ce résultat avec les plateformes de force Wii™, BioRescue, Multitest Equilibre de Framiral, Dance et Tymoplate et également avec les captures de mouvements OmniVR system, DepthSense et celles associant Kinect™ avec Xbox ou IStoppFalls [99][84][72][96][71][91][89][86][98]. Ces résultats sont également retrouvés dans les études utilisant les visiocasques Oculus Rift DK2 et HMZ-T3W, les système CAVE Positive Bike, Quazar 3D et Nvidia3D Vision Pro ainsi que les tapis de marche couplés à la RV [75][76][77][97][101][102][104].

Concernant le risque ou le nombre de chutes ainsi que les émotions des PA face aux chutes, les études sont également toutes en accord sur l'apport positif de la RV. Les appareils qui retrouvent ce résultat sont les plateformes de force Wii™, Dance et BRU, le logiciel IStoppFalls avec la capture de mouvements, ainsi que les tapis de marche couplés à la RV [106][82][96][70][89][93]. En revanche, les deux seules études qui incluent une analyse de la QDV dans leur protocole avec l'IStoppFalls et la plateforme Dance ne trouvent pas d'amélioration significative sur ce paramètre [89][96].

6.2 Retour sur quelques résultats principaux

Après avoir réalisé une rapide synthèse de mes résultats pour chaque déficit, il me semblait nécessaire de revenir sur l'interprétation de certains. Les résultats détaillés de manière plus exhaustive correspondent aux parties les plus importantes de mes résultats.

6.2.1 Résultats concernant l'équilibre

6.2.1.1 Variation du périmètre du centre de pression

Le CDP est un des paramètres les plus étudiés dans l'étude de l'équilibre, puisque sur 32 études analysant l'équilibre, 14 mesurent le périmètre du CDP (**Fig.1**). Mais on peut s'interroger sur la pertinence d'étudier ce paramètre.

En effet, on peut se demander si des variations du CDP ne peuvent pas constituer un phénomène physiologique d'équilibration mis en place par le corps. Ceci pouvant alors traduire une réponse à la pesanteur qui s'exerce sur lui et prouvant ainsi son adaptabilité à son environnement [64][65]. Si le corps était figé sans variations possibles de son CDP, perdant ainsi son adaptabilité, est-ce que cela ne constituerait pas plutôt une source de déséquilibre ? Ces variations ne sont alors peut-être pas obligatoirement néfastes, mais leur absence ou leur exagération peut constituer un indicateur du niveau de perturbation de l'équilibre. Rechercher à tout prix une réduction de ces variations pour améliorer l'équilibre serait alors à modérer. Etablir une norme, à laquelle se référer, qui prendrait en compte un certain niveau de variations qui sont l'expression de l'adaptabilité du corps à son environnement sans être néfastes, pourrait être pertinent.

Mais établir des normes n'est pas chose aisée puisqu'aucune d'entre elles n'est spécifique à un individu, chacun étant différent. Il s'agirait alors de construire une norme adaptable. Contrairement à certains tests qui évaluent l'équilibre fonctionnel, aucune étude ne parle d'un objectif ou d'une norme à atteindre concernant les variations du CDP. Elles cherchent toutes à les réduire. Ceci rend difficile l'interprétation de ce résultat puisqu'on ne sait pas vers quelle norme il faut tendre. De plus, il est difficile de transposer un résultat sur le CDP dans la vie quotidienne. En effet, on peut se demander si les sujets chez qui le périmètre de CDP a diminué grâce à la RV auront obligatoirement un meilleur équilibre et un risque de chute moindre dans leur environnement. Or, ceci est l'objectif propre de la rééducation. Nous pouvons donc voir que l'interprétation de ce paramètre est complexe et qu'elle soulève plusieurs interrogations.

Cette difficulté d'interprétation est complexifiée par la prise en compte des biais et des différences méthodologiques inhérentes à chaque étude. On peut constater, par exemple, que sur les 14 études analysant le périmètre du CDP, dix l'utilisent dans le but de montrer ou non une amélioration de l'équilibre des PA. Dans ces dix études, chacune utilise des appareils de mesure

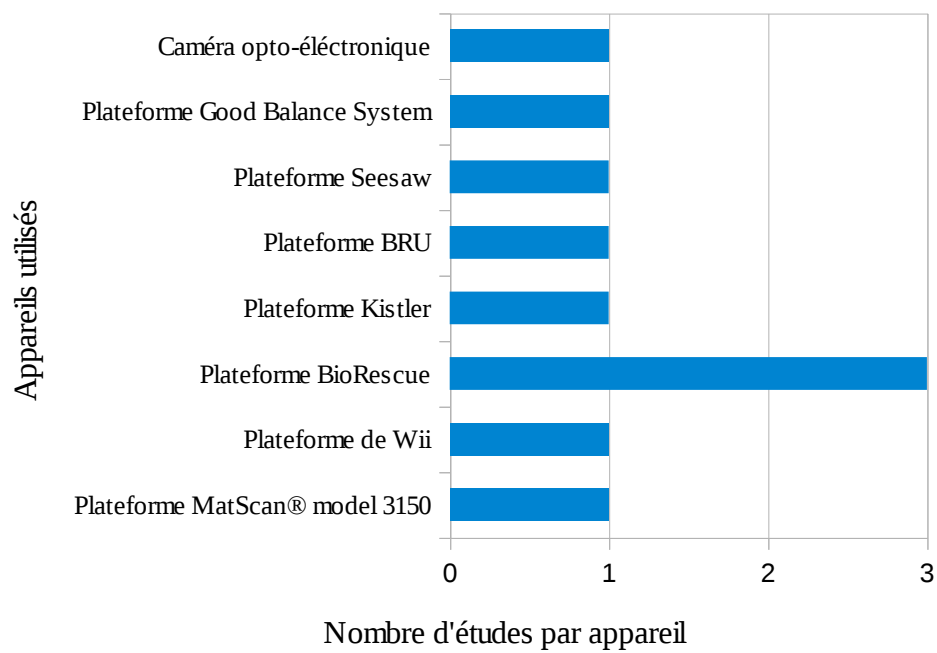


Fig 2 : « Appareils utilisés pour mesurer les variations du CDP »

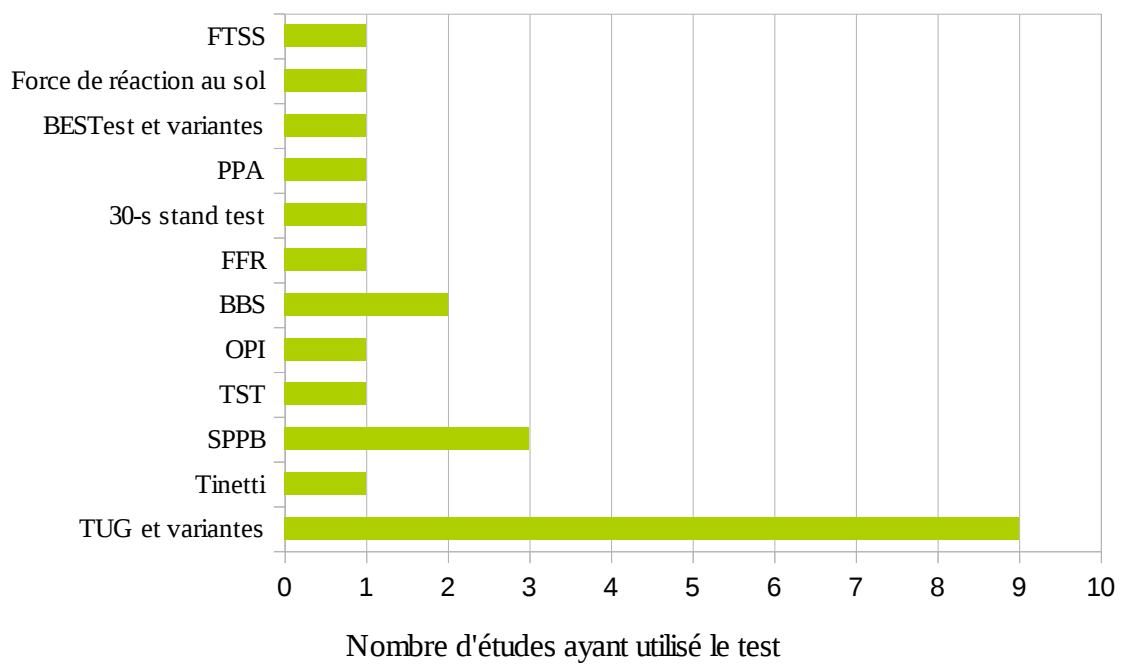


Fig 3 : « Tests utilisés pour évaluer l'équilibre fonctionnel »

différents (**Fig.2**). Seules les études de **Park et al**, **Cho et al** et **Hwang et al** utilisent la même plateforme de force BioRescue pour mesurer les variations du CDP [67][68][69]. Les autres utilisent des plateformes de force différentes comme nous pouvons le voir sur le diagramme (**Fig.2**) [73][77][71][70][74][79]. Par ailleurs, **De Vries et al** mesurent le CDP à l'aide d'un dispositif de caméras optoélectroniques [66].

Si on peut constater que la plupart des études utilisent des plateformes de force assez précises pour leurs mesures, on voit que dans l'étude de **Chiarovano et al**, la plateforme utilisée pour mesurer les variations du CDP est celle de la Wii™ [77]. La plateforme de la Wii™ est souvent utilisée dans les protocoles des études, elle montre même une amélioration de l'équilibre. En revanche, il faut tout de même garder à l'esprit qu'elle n'a pas été conçue pour la rééducation, et que sa précision est moindre que des plateformes dédiées. La précision des résultats de cette étude est alors à pondérer.

D'autant plus que dans cette étude, la méthodologie propose trois expériences au sein d'une même étude, avec des choix en matière de sélection du nombre de participants qui ne sont pas explicités de manière détaillée. En effet, on peut voir que l'on passe de 161 PA dans la première condition évaluée, à 27 PA dans la deuxième, pour terminer avec seulement neuf PA dans la dernière. Ceci amène à beaucoup d'incertitude sur la fiabilité de cette méthodologie et sur ses résultats. D'autre part, dans l'étude de **De Vries et al**, les auteurs concluent à partir de résultats obtenus après un unique essai de chaque jeu ce qui questionne sur l'origine des améliorations obtenues après seulement une séance [66].

Les quatre autres études qui analysent le paramètre du CDP s'en servent pour montrer que la RV est un outil valable dans la détection des troubles de l'équilibre ou en rééducation [75][72][76][78]. Seulement, dans l'étude de **Saldana et al**, les deux groupes comparés qui permettent de conclure que le visiocasque Oculus Rift DK2 est fiable pour détecter les troubles de l'équilibre, ont été construits sur la base de réponses subjectives à un questionnaire. On peut alors se demander si les PA ont été initialement classées correctement dans les groupes à risques ou sans risques de chute, remettant en cause le résultat final qui visait justement à retrouver les chuteurs des non chuteurs [75]. De plus, les conclusions des résultats des études de **Bernard-Demanze et Lacour**, **Robert et al** et **Michnik et al** ne s'appuient également que sur un unique essai [72][76][78].

6.2.1.2 Equilibre fonctionnel

Concernant l'équilibre fonctionnel des PA, nous pouvons voir que les tests utilisés pour évaluer ce paramètre sont également très hétérogènes (**Fig. 3**). En effet, sur un total de 13 études, nous constatons que 12 tests différents sont utilisés et que la plupart des études utilisent des tests différents pratiquement à chaque fois [81][84][86][91][92]. Malgré ces disparités, un test se montre prépondérant dans l'évaluation de l'équilibre fonctionnel puisque neuf études sur 13 s'en servent: c'est le TUG [81][82][83][86][90][93]. Certains auteurs utilisent ses variantes [84][71]. Le test du BBS est également repris deux fois et le test du SPPB trois [71][85][87][90]. Si les

tests utilisés sont pour la plupart différents, on peut se demander si les résultats de ces études peuvent être réellement comparés entre eux puisque chaque test évalue des items différents.

En outre, même lorsque les tests sont identiques entre certaines études, rares sont celles qui en fournissent le détail, ce qui rend difficile leur interprétation. Seules trois études donnent les détails de certains tests. **Wüest et al** fournissent le détail du score SPPB et montrent que seule la partie statique du test a été améliorée [71]. **Gschwind et al** abordent légèrement le détail du score PPA mais expliquent seulement que chaque sous-partie a été légèrement améliorée sans plus d'explications [89]. En revanche, **Kim et al** développent de manière plutôt exhaustive les résultats de leur test de réaction de force au sol lors des conditions de « backward et crossover stepping test » [92].

Aucune des neuf études qui utilisent le TUG ou ses variantes ne donne de détails qualitatifs sur la réalisation de celui-ci. Seul le temps de réalisation est donné et les études s'en contentent pour conclure sur une amélioration de l'équilibre dynamique des PA grâce à la RV. Or, avoir des informations qualitatives sur la réalisation du TUG aurait permis de voir ce que la RV a justement apporté dans l'amélioration de cet équilibre dynamique. Dans l'étude de **Wüest et al**, il aurait été d'autant plus intéressant de voir quelle composante du TUG a été améliorée pour comprendre pourquoi seule la partie statique du SPPB est améliorée alors que le TUG montre une amélioration de l'équilibre dynamique [71].

Par ailleurs, pour le test du SPPB, seul **Wüest et al** fournissent le détail des sous-parties du test, **Eggenberg et al** et **Gschwind et al** ne donnent pas le détail de ce test [85][89]. On ne sait donc pas quelle partie du test a concouru à son amélioration finale. Nous n'avons pas non plus la connaissance sur le détail des items statiques ou dynamiques du BBS dans les études de **Wüest et al** et **Hsieh et al** [71][90]. La même remarque est applicable pour le test Tinetti dans l'étude de **Delbroek et al** [84]. D'autre part, l'étude de **Bacha et al**, qui est la seule à utiliser un test systémique, se rapprochant ainsi des recommandations actuelles en matière de détection des troubles de l'équilibre, ne donne pas non plus le détail des sous-parties du test alors que c'est l'intérêt même de ce type de test [91]. Au final, ne pas avoir accès aux détails des scores ne débouche que sur des résultats superficiels qui concluent sur une potentielle amélioration de l'équilibre, sans réellement savoir ce que la RV a amélioré.

Certains tests ne possèdent pas de sous-parties à détailler mais on peut s'interroger sur leurs liens avec une éventuelle amélioration de l'équilibre des PA. Par exemple, dans l'étude de **Singh et al**, les auteurs montrent une amélioration du TST [81]. Ce test consiste à réaliser dix steps le plus rapidement possible. Une amélioration de ce test montrerait alors une amélioration de l'équilibre grâce à un meilleur CP et une meilleure force musculaire. On peut tout de même se demander si les PA pourront réellement transposer leur amélioration dans leur vie quotidienne.

On peut également s'interroger dans certaines études sur l'origine de l'amélioration à certains tests. En effet, dans les études qui proposent un protocole long, avec plusieurs temps d'évaluation, comme par exemple celui de **Gschwind et al**, on ne sait pas si l'amélioration des tests vient d'une amélioration de l'équilibre ou si elle vient du fait que les PA, qui l'ont déjà réalisé plusieurs fois, se sont habituées aux tests à la fin du protocole [89].

6.2.1.3 Paramètres de marche

Les résultats concernant ces paramètres sont plutôt controversés. En effet, nous pouvons voir que même en évaluant des paramètres de marche identiques, avec le même outil d'évaluation (GAITRite®), **Eggenberg et al** et **Wüest et al** trouvent des résultats différents [85][71]. On peut alors s'interroger sur l'origine de ces différences. La première hypothèse serait de penser qu'elle provient des plateformes de force utilisées qui sont différentes entre les deux études. Nous pouvons également concevoir qu'elle puisse venir des méthodologies des études. L'étude d'**Eggenberg et al** inclut un groupe expérimental de 25 PA contre 16 PA dans l'étude de **Wüest et al** ; les caractéristiques des PA incluses semblent à peu près similaires entre les deux études.

En revanche, en ce qui concerne la posologie, le protocole d'**Eggenberg et al** dure six mois avec des séances d'une heure bi-hebdomadaires contre une durée de trois mois avec trois séances de 30 minutes par semaine pour **Wüest et al**. La divergence des résultats peut alors s'expliquer par le fait qu'un des protocoles, comparé à l'autre, soit beaucoup plus court avec des séances moins longues, même si elles sont plus fréquentes. La comparaison des résultats de ces deux études montre bien que même en évaluant le même paramètre avec le même outil, des résultats différents peuvent en découler. Il conviendra alors en rééducation d'utiliser les bons appareils de RV pour un paramètre donné, et à une posologie réfléchie et adaptée, afin d'obtenir les meilleurs résultats possibles pour nos patients.

Les améliorations des paramètres de marche rapportées par **Bacha et al** sont également assez floues puisque le détail du score FGA n'est pas fourni, rendant impossible son interprétation [91]. De plus, la diminution de la vitesse de marche avec et sans DT, trouvée par **Gschwind et al** n'est pas assez significative pour la confirmer ; d'autant plus que l'écart type des résultats en condition de DT est assez important [89].

Finalement, si on se fie seulement aux résultats des études, nous pourrions conclure facilement sur l'efficacité de la RV sur les paramètres de marche. Or, nous avons vu que conclure sur ce point n'est pas aussi simple qu'on aurait pu le penser initialement. Cela démontre l'intérêt de se questionner sur les moyens utilisés par les études pour obtenir leurs résultats afin d'en modérer certains, qui sont parfois très accrocheurs. Par ailleurs, **Franz et al** montrent que les paramètres de marche des PA sont perturbés dans un environnement virtuel comparé à un environnement réel. Par conséquent, si nous choisissons d'utiliser la RV pour évaluer la marche en rééducation, nous devons prendre en compte qu'un environnement virtuel, par rapport à un environnement réel, a des impacts différents sur l'équilibre [95].

6.2.2 Résultats concernant les paramètres indirects à l'équilibre

L'interprétation des résultats des deux parties suivantes sera moins exhaustive que précédemment puisque ce ne sont pas les résultats qui permettront de répondre principalement à ma problématique.

6.2.2.1 Système cardio-respiratoire

Les résultats de ce paramètre sont à modérer puisque l'étude de **Bacha et al** trouve des améliorations avec le système de la capture de mouvements de Kinect™ couplée à la Xbox alors que, avec leur système de tapis de marche associé à la RV, **Shema et al** n'en trouvent pas d'assez significatives pour conclure [91][93]. A noter que les deux études n'utilisent pas le même test pour évaluer l'endurance des PA. Concernant leur méthodologie, le groupe expérimental de **Bacha et al** est composé de 23 PA qui ont deux fois une heure de rééducation avec la RV pendant sept semaines contre un groupe expérimental de 60 PA qui suivent trois fois une heure de rééducation sur cinq semaines dans l'étude de **Shema et al**. La différence de résultats peut donc avoir plusieurs origines.

Elle peut venir de la différence des appareils testés ou des divergences concernant la posologie du protocole. Peut-être que suivre moins de séances sur une plus longue période apporte une meilleure efficacité qu'un protocole moins long, même si la fréquence de ses séances par semaine est plus forte. On voit, encore une fois, qu'il est difficile de conclure sur une cause responsable précise, l'intrication de plusieurs éléments étant surement incriminée. D'autre part, l'étude de **Shema et al** n'inclut pas que des PA avec des troubles de l'équilibre liés au vieillissement physiologique ; or les résultats donnés ne font pas de distinguos entre les étiologies, ce qui complique leur interprétation.

6.2.2.2 Force musculaire

La même problématique est retrouvée avec la force musculaire. On voit que pour l'évaluer, trois études mesurent la force de préhension. Les études justifient cela par le fait que la force de préhension serait le reflet de la force musculaire globale d'un sujet. En tout cas, les résultats sur ce paramètre sont controversés. La force de préhension est évaluée à l'aide d'un dynamomètre dans les trois études. **Prata et al** et **Gschwind et al** utilisent un dynamomètre hydraulique de deux marques différentes alors que **Park et al** utilisent un dynamomètre de poche [82][87][79]. Avec leur dynamomètre de poche, **Park et al** trouvent une amélioration, alors qu'avec leur dynamomètre hydraulique, **Prata et al** et **Gschwind et al** n'en trouvent pas. Ceci interroge sur la différence de mesure entre les deux types de dynamomètres et sur la validité de leur comparaison. Un biais également intéressant à étudier est le fait que dans l'étude de **Park et al**, les séances de RV consistent en des mouvements des membres supérieurs, simulant les mouvements sur un kayak, alors que dans les deux autres études, moins d'exercices avec les membres supérieurs sont proposés dans le protocole. Ceci pourrait aussi expliquer la différence des résultats ; ensuite il y a toujours la posologie des protocoles qui est différente parmi les trois études, ce qui joue également un rôle sur l'interprétation des résultats.

D'autre part, toujours dans l'étude de **Park et al**, les résultats exprimés par les auteurs et ceux décrits dans leurs tableaux sont différents, ce qui remet en cause leur fiabilité [79]. En effet, dans leurs résultats, les auteurs rendent compte d'une amélioration dans les deux groupes avec une amélioration plus significative dans le groupe avec la RV. Or, si on regarde les tableaux de

résultats, on retrouve bien l'amélioration du groupe RV lors du test de force de préhension et de l'ACT, mais on constate que le groupe contrôle voit plutôt ses scores diminuer. Les auteurs ne parlent pas de cette diminution et aucune explication ne la justifie. On aurait pu comprendre que le groupe contrôle n'ait pas d'amélioration, mais une diminution est plus difficilement concevable et pose question.

En revanche, les trois études qui évaluent la force de certains groupes musculaires sont principalement en accord sur une amélioration. Cependant, **Gschwind et al**, contrairement à **Kim et al** et **Lim et al**, ne renseignent pas quel modèle d'appareil de mesure a fourni les résultats dans leur étude [89][92][83]. D'autre part, les résultats de **Lim et al** pondèrent un peu les améliorations des deux autres études puisqu'ils ne trouvent pas d'amélioration significative concernant les fléchisseurs du genou. Sinon, les extenseurs du genou et les muscles de la hanche ont été améliorés dans les trois études.

6.2.2.3 Fonctions supérieures

Les résultats au test MoCA sont améliorés avec la Kinect™ associée à la Xbox ou encore avec le système CAVE et son kayak [91][79]. En revanche, cette amélioration n'est pas retrouvée avec la plateforme BioRescue [84]. La cause de ces différences fait une fois de plus débat. Par ailleurs, on retrouve encore dans l'étude de **Park et al**, comme pour la force musculaire, une diminution non expliquée du score du MoCA dans le groupe contrôle [79]. Comme dans les tests évaluant l'équilibre fonctionnel des PA, le détail du score du MoCA n'est pas fourni, ce qui explique que nous ne savons pas sur quel versant cognitif les PA se sont améliorées. En outre, si la plateforme BioRescue dans l'étude de **Delbroek et al** n'améliore pas le MoCA, on voit en revanche qu'elle améliore les tests VST et WCT dans l'étude de **Hwang et al** [69]. Ceci amène à nous interroger sur l'efficacité de cette plateforme, puisqu'entre les deux études, la méthodologie est pratiquement similaire. On peut alors se demander s'il serait possible que la plateforme ne soit efficace que sur certains paramètres cognitifs.

6.2.3 Résultats sur la perception de la réalité virtuelle

6.2.3.1 Acceptabilité et adhésion

- Acceptabilité

Les paramètres d'acceptabilité et d'adhésion sont des paramètres très subjectifs et qui dépendent de chaque personne. Il est alors important de concevoir que les résultats trouvés dans les études ne concernent que ses sujets et qu'extrapoler ces résultats à toute la population est difficile. De plus, tous les questionnaires utilisés pour évaluer ces paramètres proposent des réponses subjectives et sont différents entre chaque étude, sauf pour les questionnaires PACES et SUS, qui sont utilisés au moins dans deux études. Certains auteurs utilisent même des

questionnaires créés exclusivement pour l'étude et qui ne sont, par conséquent, pas validés scientifiquement, comme par exemple dans l'étude de **Bacha et al** [91]. De plus, évaluer la perception d'une personne sur un appareil est difficilement quantifiable objectivement puisqu'un ressenti est, par définition, subjectif. Par conséquent, une tolérance peut alors être acceptée sur ces biais qui seront difficilement évitables. Cela ne remet pas en cause les résultats, mais il faudra savoir les accueillir avec du recul.

Par ailleurs, lors de ce genre de questionnaire ou durant des entretiens semi-directifs, les PA interrogées peuvent se sentir influencées, et par conséquent, modifier leurs réponses et finalement ne pas exprimer exhaustivement ce qu'elles pensent. En outre, l'interprétation des questionnaires est complexe puisque nous n'avons, encore une fois, pas accès aux détails de ces derniers. Seuls les points clés sont repris par les auteurs. Nous serions alors légitimes de nous interroger sur la véracité mais surtout sur l'exhaustivité des propos rapportés. En effet, pour les bons résultats de l'étude et favoriser sa publication, certains auteurs peuvent être amenés à ne montrer que les points positifs sans rapporter les négatifs. D'ailleurs, peu d'études interrogent directement les PA sur les points négatifs. Une des seules à le réaliser est celle de **Pedroli et al** [102]. On voit dans cette étude, et dans celle de **Bacha et al**, que le réglage de l'intensité des jeux proposés en RV doit être adapté à chaque personne car certaines PA ont parfois jugé les séances trop simples [91].

Ces propos sont intéressants à prendre en compte mais il faut aussi se méfier de l'effet pervers que peut entraîner la RV en proposant des « jeux ». Parfois, la PA peut être entraînée par l'envie de réussir à réaliser tous les niveaux alors que ses capacités à un instant donnée ne le lui permettent pas forcément. C'est à nous, MK, de diriger la séance est de savoir jauger le niveau de difficulté en fonction des capacités du patient afin que la séance ne soit pas trop simple mais qu'elle ne mette pas non plus le patient en danger. Il ne faut pas oublier que les séances de RV sont réalisées avec un réel objectif et qu'elles ne sont pas seulement des jeux.

L'étude de **Bourrelrier et al**, pour évaluer l'acceptabilité, n'utilise pas de questionnaire mais elle l'évalue à travers son protocole. C'est en effet la seule de mes études qui compare une séance d'exercices identiques en RV et en RC, ce qui permet réellement de comparer les effets des deux techniques de rééducation [104].

- Adhésion

Si l'adhésion a été subjectivement analysée dans certaines études, d'autres ont choisi de l'évaluer quantitativement, par exemple en rapportant le nombre de personnes ayant suivi entièrement le protocole de l'étude comme proposé par **Wüest et al** ou **Bacha et al** [71][91].

- Perception par les MK

Levac et al sont les seuls à s'intéresser à l'avis des MK sur la RV. En revanche, il aurait été intéressant d'avoir accès aux détails du questionnaire utilisé afin de voir tous les items évalués [105].

6.2.3.2 La chute

- Risque de chute

Dans deux études, le risque de chute est évalué à l'aide des résultats de tests fonctionnels [106][89]. Même si les résultats des tests PPA et FSST sont corrélés à une baisse du risque de chute, on peut se demander si les PA seront réellement à même de moins chuter, en réussissant à transférer les améliorations de ces tests dans leur vie quotidienne.

- Nombre de chutes

Même si globalement toutes les études trouvent une diminution du nombre de chutes, il ne faut pas oublier que ces résultats peuvent avoir été biaisés par le fait que le nombre de chutes est soit rapporté par les PA elles-mêmes, soit par le personnel soignant. Par conséquent, des oublis ou des erreurs ont pu être commis [106] [89] [70]. A noter que l'étude d'**Eggenberg et al** interroge sur la conservation de ces diminutions puisque l'étude montre une ré-augmentation du nombre de chutes entre le 6^{ème} et 12^{ème} mois après le protocole [85].

- Rapport des PA avec la chute

Les mêmes difficultés que pour les paramètres de l'acceptabilité et de l'adhésion sont retrouvées. Même si la plupart des études utilise le même questionnaire FES et ses variantes, les résultats restent subjectifs et sont à prendre avec recul et leur extrapolation n'est pas aisée. D'autant que l'étude qui a le protocole le plus long parmi les trois qui l'étudient ne trouve pas d'amélioration significative contrairement à ce qu'on pourrait supposer [85].

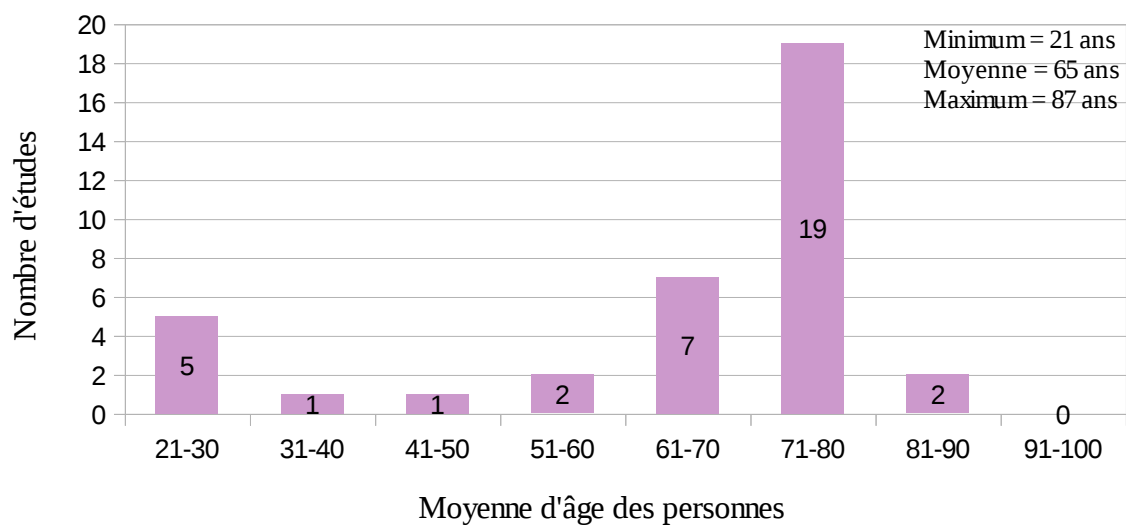
- QDV

Seules deux études s'intéressent à ce paramètre alors que l'objectif de toute rééducation est d'améliorer la QDV de nos patients. Mais ce paramètre est encore plus subjectif est difficile à analyser que les précédents, et les seules études qui l'analysent ne trouvent pas d'améliorations significatives [89][85]. On peut supposer que, soit la RV n'est pas efficace pour ce paramètre, soit que la QDV ne peut pas être améliorée par des protocoles aussi courts que ceux proposés dans mes études.

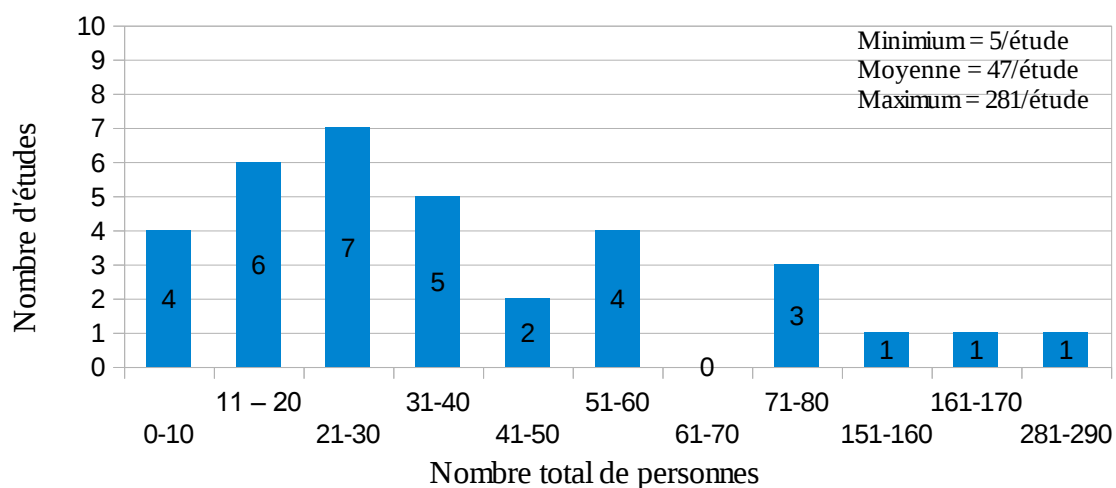
6.3 Principaux biais dans les études

A travers les paragraphes précédents, nous avons déjà pu voir que l'interprétation des résultats était largement biaisée par des protocoles très hétérogènes. Dans les parties qui suivent, j'aimerais exposer certains biais plus en détails, en m'appuyant sur des diagrammes statistiques. J'appuierai certaines données des diagrammes en ne donnant en exemple que les études qui en sont les plus représentatives, les autres études pouvant être retrouvées dans le tableau résumé de mes études, où figure chaque protocole (**Annexe V**).

Moyenne d'âge des personnes dans les études



Nombre total de personnes par étude



Nombre de personnes par groupe dans les études

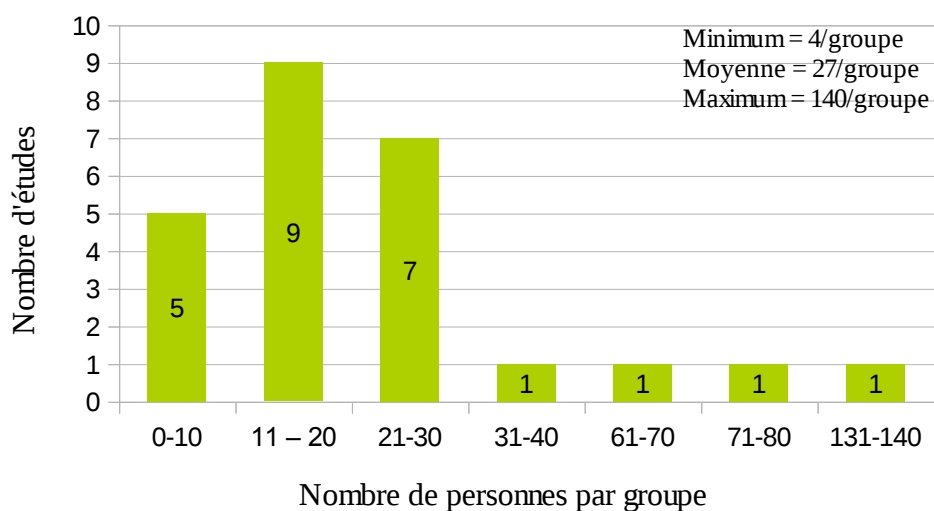


Fig 4 : « Statistiques sur les populations des études »

6.3.1 Biais d'échantillon

Un des plus gros biais dans mes études concerne les populations étudiées dans les protocoles (**Fig.4**).

- Age des sujets inclus

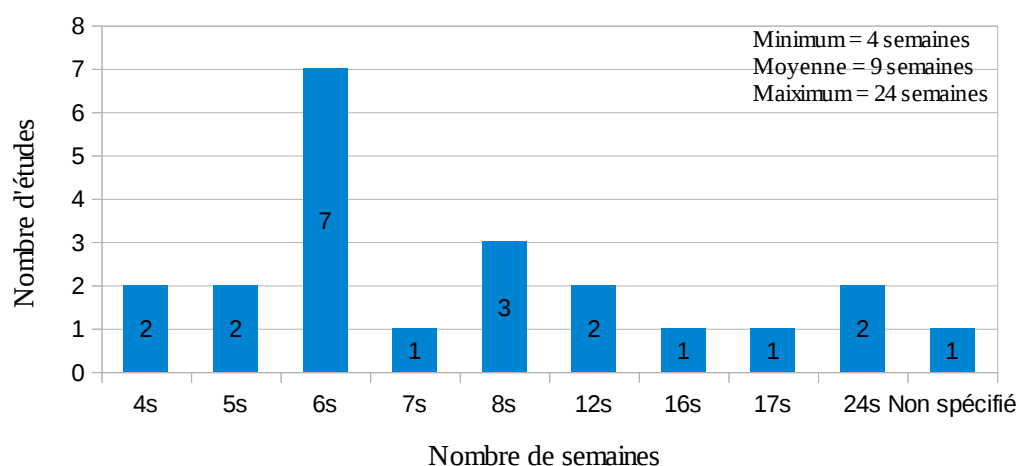
Si on regarde l'âge des PA incluses dans les protocoles, on voit que les études sont plutôt en accord sur ce point, en incluant majoritairement des PA entre 71 et 80 ans. En revanche, nous constatons que neuf études considèrent la population de leur protocole comme étant une population gériatrique alors que les sujets ont entre 61 et 70 ans et entre 51 et 60 ans. Ceci pose un problème au niveau des conclusions des études qui avancent des résultats pour des patients gériatriques, alors que leur protocole concerne plutôt des adultes. C'est le cas par exemple dans l'étude de **Chiarovano et al** [77]. On peut remarquer également que certaines études incluent des sujets très jeunes. Ce sont les études qui, comme énoncé dans la méthodologie, essaient d'étudier un appareil de RV particulier, ou de construire des normes à partir de sujets jeunes, pour pouvoir ensuite les comparer aux sujets âgés. Par ailleurs, certains protocoles comparent des groupes de sujets jeunes avec des sujets âgés, comme par exemple dans les études de **De Vries et al** ou de **Franz et al** [66][95].

- Nombre de sujets inclus dans les protocoles

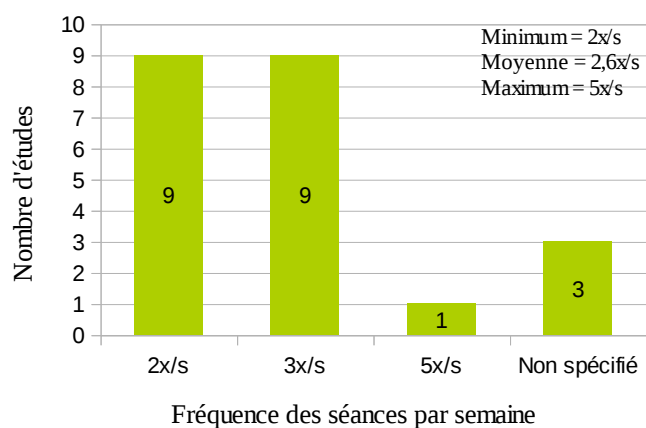
On observe que le nombre total de personnes participant aux études n'est en général pas très élevé, ce qui rend difficile l'extrapolation des résultats à l'ensemble de la population gériatrique. En effet, on peut voir que dans leur protocole, une majorité de sept études inclut entre 21 et 30 PA, et certaines incluent un nombre encore plus restreint, comme par exemple **Hsieh et al**, qui évaluent les paramètres hémodynamiques chez seulement huit PA [90][102]. Le mieux serait de tendre vers des études avec un nombre de sujets plus élevé, comme dans celles de **Dockx et al** ou d'**Eggenberg et al** [101][96].

Le nombre total de personnes dans les protocoles est important puisqu'il va conditionner le nombre de personnes dans les groupes comparés, qui sera lui aussi très faible, si le nombre initial de participants n'est pas élevé. En outre, on voit que seules quatre études comparent des groupes de plus de 30 PA [77][79][87][101]. Par conséquent, les études qui comparent, par exemple, un groupe avec RV à un groupe avec une RC ou sans rééducation, se retrouvent avec seulement un petit groupe qui suit véritablement le protocole incluant la RV. Il devient alors très difficile de conclure sur les effets de la RV si les résultats ne concernent finalement qu'un nombre très restreint de sujets. On peut retrouver cela par exemple dans l'étude de **Prasertsakul et al**, qui conclut sur une amélioration des variations du CDP en ne testant la RV sur un groupe expérimental ne comprenant que cinq PA [73].

Durée des protocoles en semaine dans les études



Fréquence des séances par semaine dans les protocoles des études



Durée des séances dans les protocoles des études

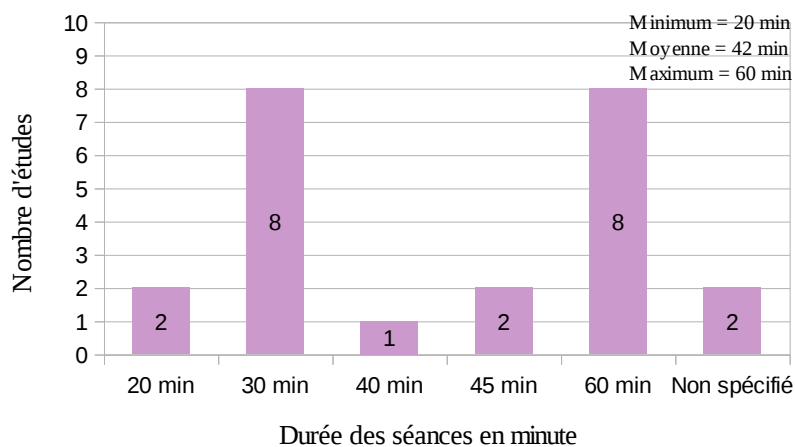


Fig 5 : « Statistiques sur la posologie des protocoles »

6.3.2 Hétérogénéité des protocoles

6.3.2.1 Différentes posologies

L'hétérogénéité des posologies des protocoles a déjà été évoquée pour certaines études lors du retour sur l'interprétation de certains résultats. Les diagrammes montrent parfaitement cette très grande diversité qui rend si difficile la comparaison des résultats entre les études (**Fig.5**).

En effet, nous pouvons comprendre qu'une étude qui trouve par exemple une amélioration de l'équilibre fonctionnel, avec deux séances d'une heure par semaine pendant six mois comme celle d'**Eggenberg et al**, n'exprime pas la même chose qu'une étude trouvant un résultat identique avec un protocole incluant 20 séances de 30 minutes pendant seulement quatre semaines comme dans l'étude de **Hwang et al** par exemple [85][69]. Toutes ces différences de protocole témoignent de l'absence de recommandations sur ce type de rééducation, ce qui conduit les études à pratiquer des protocoles très différents.

Nous remarquons également que la durée des protocoles est très variable et peu osciller entre quatre et 24 semaines. Cependant, on voit qu'une majorité de sept études a fait le choix d'un protocole de six semaines. Il faut aussi penser que le choix de la durée du protocole peut être influencé par la difficulté de sa mise en place. Un protocole long peut, d'une part, revenir plus cher et, d'autre part, mettre plus de temps à fournir les résultats qui en découlent ; ce qui influe obligatoirement sur le choix des scientifiques. Ainsi, peut être qu'un protocole de six semaines peut représenter soit une durée idéale de protocole, soit un juste milieu en ce qui concerne sa mise en place et sa rentabilité pour l'étude.

En revanche, pour la fréquence et la durée des séances hebdomadaires, on voit qu'à chaque fois, ce sont deux options qui ressortent principalement. La fréquence des séances balance entre deux à trois fois par semaine et la durée des séances est la plupart de temps de 30 minutes ou d'une heure.

De plus, avec ces diagrammes, nous pouvons voir que certaines études ne détaillent pas assez leur protocole puisque certains paramètres ne sont parfois pas spécifiés par les auteurs.

6.3.2.2 Différents modèles de réalité virtuelle et conflits d'intérêts

En plus de cette hétérogénéité des protocoles, la plupart des études testent des appareils de RV différents (**Fig.6**). Cinq grands types de RV différents ressortent de mes études (**Annexe III**). Les plus étudiés sont les plateformes de force et les systèmes de capture de mouvements, suivis par les visiocasques et les systèmes CAVE et enfin les tapis de marche couplés à la RV.

Sur le diagramme, nous distinguons que les cinq familles d'appareils de RV sont composées d'un panel d'appareils différents. Mais nous pouvons constater que les jeux vidéo

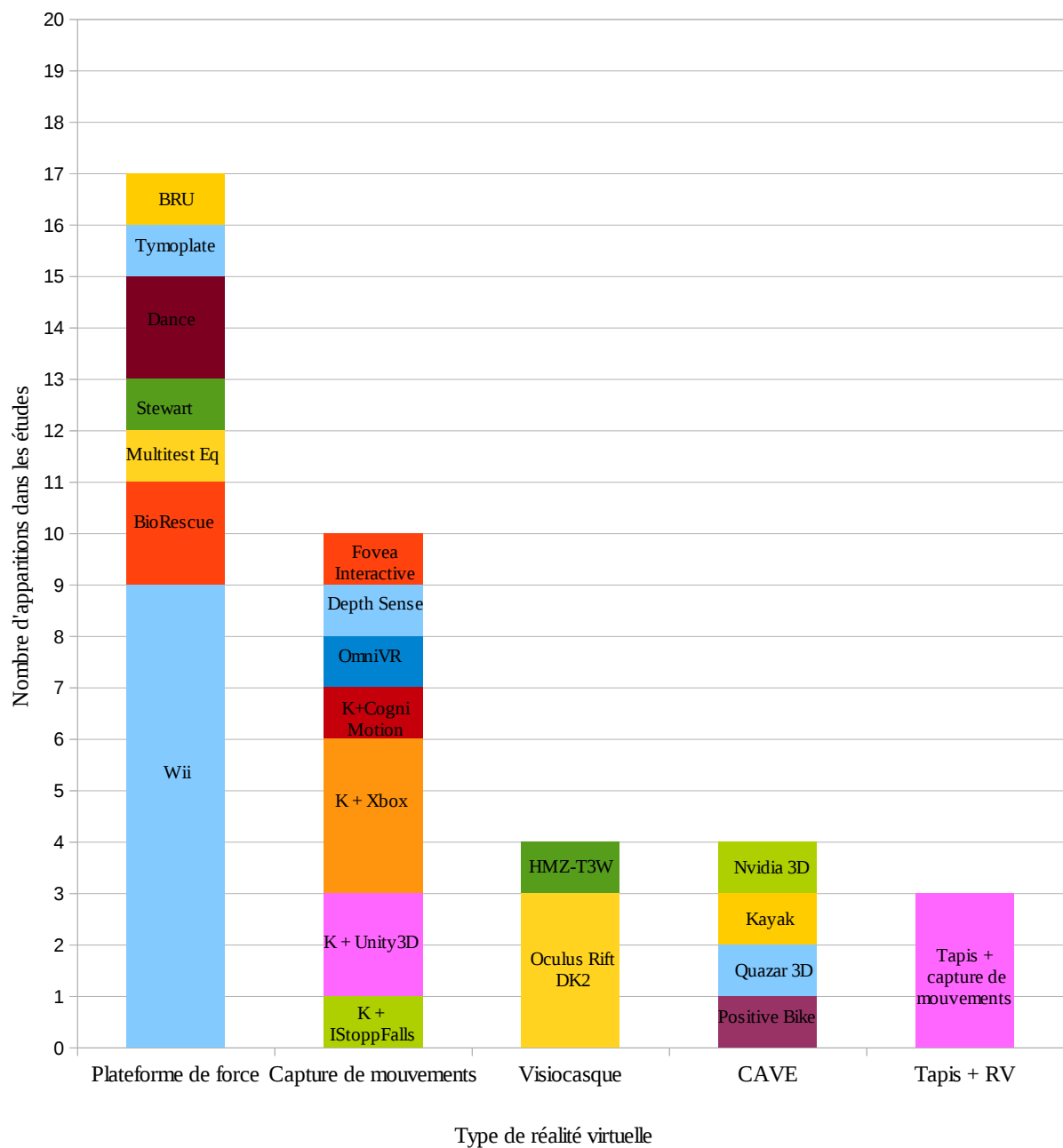


Fig 6 : « Appareils utilisés dans les protocoles »

sont prépondérants dans la famille des plateformes de force et des systèmes de capture de mouvements. En effet, on constate que la Wii™ est reprise dans neuf études sur les 17 qui analysent les plateformes de force. Pour la capture de mouvements, c'est la Kinect™ associée à la Xbox, qui est la plus souvent reprise ; même si elle peut aussi être couplée à d'autres logiciels. On constate également que la plateforme BioRescue ainsi que la capture de mouvements de Kinect™ associée à Unity3D reviennent dans plus d'une étude. À part ces quelques appareils cités, ce sont à chaque fois des appareils de marque indépendante qui sont testés.

En outre, nous remarquons que sur les quatre études qui se servent d'un système CAVE, aucune n'en utilise un identique. Par ailleurs, même si les études qui utilisent un tapis de marche l'associent toutes à une capture de mouvements ; elle est différente à chaque fois. En revanche, pour les visiocasques, trois études sur quatre ont utilisées le modèle Oculus Rift DK2, ce qui permet d'établir une conclusion plus pertinente.

Cette diversité d'appareils rend difficile la construction d'un consensus sur un appareil plus qu'un autre. Conclure, par exemple, sur l'efficacité ou non d'une famille de RV est compliqué puisque les études n'utilisent pas les mêmes appareils pour une même catégorie de RV. Seuls les jeux vidéo peuvent faire l'objet d'une réelle conclusion comme ce sont les seuls étudiés plusieurs fois. Le choix de l'appareil par les scientifiques est influencé de la même manière que le choix de la durée du protocole. Il peut venir du fait que certains appareils sont plus faciles que d'autres à acquérir et à mettre en place, expliquant peut-être le nombre d'études se restreignant aux jeux vidéo. De plus, il ne faut pas oublier le coût que peut engendrer la RV, car il sera obligatoirement pris en compte par l'étude.

Certaines études peuvent donc se servir d'appareils car ils sont moins onéreux pour les structures ou les professionnels de santé qui s'y intéressent. Par contre, d'autres peuvent utiliser des appareils plus onéreux en étant financés par des firmes. Il ne faut en effet pas oublier que la RV est en plein essor et constitue, de ce fait, un bon investissement pour les entreprises qui peuvent vouloir financer des études qui mettront en valeur leur marque d'appareil. Ceci rappelle l'effet Matthieu, qui explique que les firmes qui ont le plus de moyens auront plus de facilité à faire la promotion de leurs appareils par rapport à d'autres, qui ont peut-être de meilleurs outils de rééducation, mais moins de moyens. Les appareils qui figurent dans la littérature ne sont donc pas forcément les meilleurs pour la rééducation, mais sont peut-être ceux qui ont une firme suffisamment puissante pour les promouvoir.

- Enjeu financier et conflits d'intérêts

Après avoir amorcé cet impact du coût de la RV dans le choix des protocoles des études, il me semblait important de faire un point sur l'importance des biais que peut représenter cet enjeu financier, ainsi que sur les conflits d'intérêts qui en découlent.

En premier lieu, concernant le financement des études, 19 de mes études sur les 47 incluses dans ce mémoire sont financées par des organismes ou des entreprises. Même si aucune ne déclare de conflits d'intérêts malgré leur financement, on comprend que cela va forcément avoir une influence, consciente ou non, sur les scientifiques. Certaines études, comme celle de **Chang et al**, sont financées par des hautes instances, ce qui peut amener une certaine pression de résultats [97]. De plus, certaines études, comme celles de **Dockx et al** et **Gschwind et al**, avec respectivement, le système V-Time et l'IStoppFalls, sont financées par les entreprises qui ont

créé les appareils qu'ils testent dans leur étude. Ceci fait émerger beaucoup d'interrogations sur la véracité des résultats qui peuvent être fortement influencés [101][87].

Outre ce financement, 10 études déclarent que leurs auteurs ont contribué à la réalisation et à la vérification du protocole de leur étude. Ceci a inconsciemment une influence sur les auteurs qui vont vouloir que leur protocole fonctionne. Certains auteurs ont même participé à la création de l'appareil de RV qu'ils étudient, comme par exemple dans les études de **Prasertsakul et al** et **Pedroli et al** [73][102].

Par ailleurs, parmi mes 47 études, 11 ne spécifient pas si elles ont ou non, des conflits d'intérêts, ou si elles sont financées par un quelconque organisme. Cela peut traduire soit un manque de méthodologie, soit un manque de transparence des informations communiquées. C'est le cas par exemple des deux études qui étudient la plateforme de force BioRescue, remettant en question les résultats obtenus pour cet appareil [69][84].

6.3.2.3 Des séances différentes

Les séances de rééducation dans les protocoles seront différentes entre chaque étude étant donné qu'en général, chaque appareil de RV propose une gamme d'exercices qui lui est propre. De plus, même si un modèle de RV similaire est utilisé, différents jeux peuvent être choisis. Lors des séances avec la Wii™, les jeux qui sont les plus utilisés dans les études sont, pour le jeu Wii Sport, le bowling et pour le jeu Wii Fit, la course à ski ou en snowboard, le parcours dans une bulle, le parcours d'une bille et les arrêts du gardien de football. Pour les séances de Kinect™, ce sont des jeux de ski, de danse et de fusée dans l'espace qui sont les plus choisis. A noter qu'en général, tous les jeux en RV sont des exercices en DT.

Si on considère tous les appareils de RV, les jeux qui reviennent le plus sont ceux avec beaucoup de couleurs, avec des consignes variées, des mémorisations, des environnements différents (pâtisseries, supermarchés...). Ce peut être aussi des parcours d'obstacles, des jeux incluant des transports (bus, voiture...), des labyrinthes, des animaux et des sports. Le but est de créer des environnements qui favorisent la création de consignes en DT. Il est important de contrebalancer cette diversité présente dans les séances de RV, puisque le même biais figure dans les séances de RC qui peuvent proposer une multitude d'exercices différents.

6.3.3 Méthodes d'évaluation

Les protocoles diffèrent aussi selon l'objectif recherché par l'étude et la façon dont elle va procéder pour répondre à cet objectif (**Fig.7**). On voit déjà, conformément à ma revue de l'art, que seulement trois de mes études ont intégré un objectif préventif, témoignant soit du manque d'investissement dans ce domaine, soit d'une difficulté à imaginer un usage de la RV en prévention. En revanche, on voit que 23 études utilisent la RV avec un objectif curatif, c'est-à-dire pour montrer qu'elle peut améliorer certains déficits présents lors de troubles de l'équilibre,

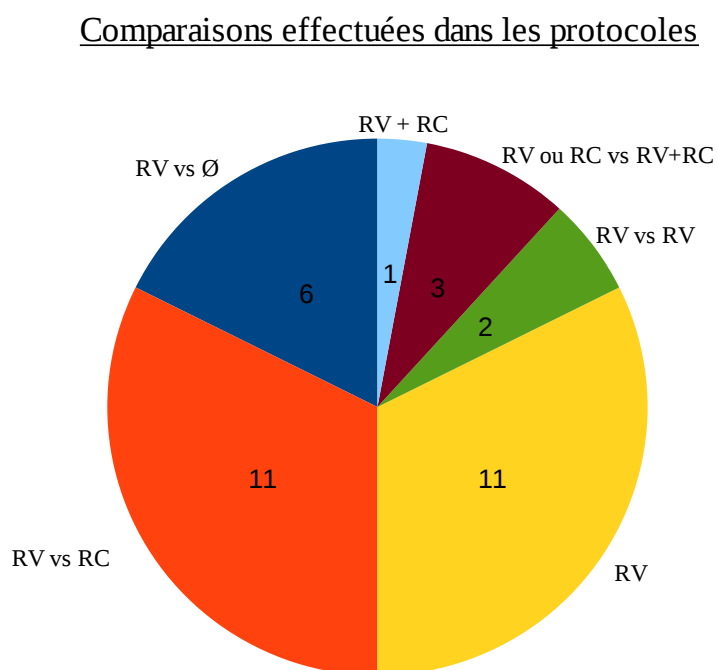
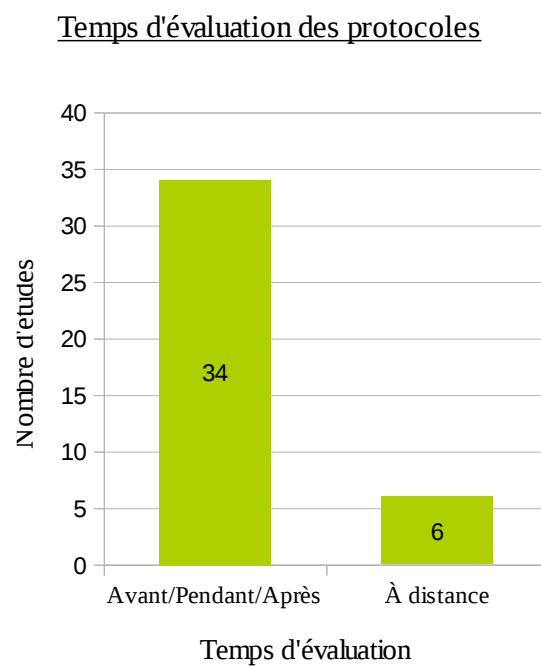
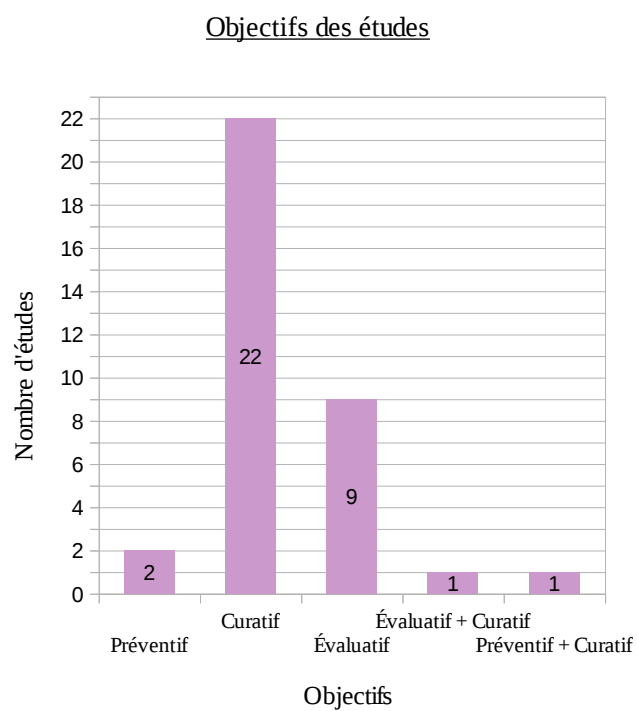


Fig 7 : « Statistique sur les objectifs et les évaluations des études »

et que 10 l'utilisent avec un objectif évaluatif, c'est-à-dire pour montrer que la RV permet de détecter les troubles de l'équilibre. En fonction des objectifs des études, les temps d'évaluation n'ont pas été les mêmes. Un point important à souligner est que seulement six études réalisent des évaluations à distance de leur protocole. Par conséquent, même si la RV montre une efficacité pour certains déficits, on ne sait pas si les gains obtenus se maintiennent dans le temps ; d'autant que les études qui réalisent ce genre d'évaluation sont controversées. En effet, elles trouvent parfois des résultats maintenus et d'autres pas. La plupart des études se contentent d'une évaluation initiale et finale pour voir l'impact de leur protocole. Certaines en utilisent une intermédiaire pour suivre l'évolution, mais en général, les études qui se servent d'une évaluation pendant leur protocole sont celles qui veulent montrer que leur appareil de RV est efficient dans la détection des troubles de l'équilibre.

Les résultats fournis par les études sont également à interpréter selon la méthode utilisée pour les obtenir. Pour moi, les études les plus intéressantes sont celles qui comparent deux groupes suivant deux protocoles différents. En effet, celles qui étudient seulement un groupe, que ce soit un groupe suivant un protocole de RV seule ou de RV associée à de la RC ne permettent pas de savoir si d'autres techniques auraient été au moins égales ou supérieures au protocole proposé. Cela permet seulement de voir qu'une technique est efficace, ce qui est déjà positif, mais insuffisant en rééducation, puisque le but final est d'avoir des comparaisons de techniques entre elles pour orienter concrètement le choix de l'utilisation d'une technique par rapport à une autre.

Au final, on distingue sur le digramme circulaire, que seulement 11 études comparent la RV à la RC. De plus, parmi ces études, seuls **Bourrelier et al** comparent efficacement la RV et la RC en proposant deux exercices similaires dans les deux rééducations [104]. Dans les autres études, même si la RV et la RC sont confrontées, ce n'est pas forcément le même genre d'exercice qui va être proposé en séances, ce qui rend difficile de montrer une éventuelle supériorité de la RV sur la RC. Les études qui comparent un groupe avec des séances de RV seule à un groupe avec des séances de RV et de RC sont également intéressantes pour montrer une éventuelle supériorité de l'association de ces deux rééducations par rapport à des séances ne comprenant que de la RV ou que de la RC.

7. Conclusion

Etablir l'état des connaissances scientifiques de ma thématique initiale m'a permis de cibler ce mémoire sur une problématique précise pour la masso-kinésithérapie. Suite à cela, j'ai dû mettre en place une méthodologie de recherche rigoureuse afin d'analyser le plus exhaustivement possible la littérature dans le but de la synthétiser et de l'analyser au mieux dans le cadre de ma problématique.

J'aimerais tout d'abord, à travers la conclusion de ce mémoire, aborder ce que ce travail m'a apporté dans ma pratique future en tant que MK. Ensuite, une réponse à ma problématique sera proposée ; j'aborderai ensuite certaines limites qui peuvent la pondérer. A l'aide de mes connaissances, de ma sensibilité rééducative, et à travers ce que j'ai pu retenir de la littérature, je proposerai des recommandations à propos de la RV dans le cadre de la prise en charge des

troubles de l'équilibre liés au vieillissement physiologique des PA. Par une ouverture, je terminerai ce mémoire comme je l'ai commencé, c'est-à-dire en formulant un autre questionnement.

7.1 Apport personnel de ce mémoire

Au-delà de la réponse en tant que telle à ma problématique, c'est plutôt les démarches réflexive et méthodologique de ce travail qui m'ont semblé intéressantes. En effet, pour moi, ce travail est le reflet de la réflexion que nous aurons plus tard, dans le cadre de notre pratique. Chaque patient sera différent et va nous amener à nous interroger ; c'est d'ailleurs ce qui rend notre métier si riche. Ce questionnement peut concerner leurs pathologies et surtout la manière de les prendre en charge le plus efficacement possible pour répondre au mieux à leurs attentes et à leurs besoins. Il s'agira, selon le concept Evidence Based Practice, de proposer la meilleure technique possible en fonction de notre expérience et dans le cadre d'une prise en charge globale afin de pouvoir leur offrir le meilleur.

Bien souvent, pour choisir une technique, nous nous référons aux recommandations des hautes instances telles que la HAS ou encore, par exemple, de sociétés savantes. Cependant, l'absence de recommandation ne doit pas nous exonérer de la recherche du meilleur pour nos patients. Ce mémoire m'a permis de développer cette sensibilité étant donné que l'outil de rééducation que j'ai étudié ne fait l'objet d'aucune recommandation. Il s'agit alors d'analyser ce que dit la littérature en interrogeant des bases de données scientifiques à partir d'une problématique précise qui nous fournira les différents mots-clés à associer entre eux. Mais s'arrêter aux résultats bruts que fournit la littérature est finalement très restrictif. En effet, nous avons vu, à travers ma discussion, que l'analyse des résultats montre de nombreux biais qui peuvent les modérer voir les discréditer. Il ne s'agit pas d'être dans une démarche de vouloir à tout prix réfuter ce que dit la littérature mais simplement de savoir accueillir ce qu'elle propose avec du recul et un esprit critique.

Il faut également prendre en compte que les résultats que l'on trouve dans la littérature concernent les sujets inclus dans les études. Appliquer une technique décrite comme efficace dans la littérature ne le sera pas forcément pour le patient que nous prenons en charge. De plus, si nous ne maîtrisons pas la technique décrite, en choisir une autre apparaîtra peut-être plus pertinent. D'où l'intérêt de savoir se remettre en cause et de connaître nos limites en tant que rééducateur. Tout est une question d'adaptabilité et de modération.

Cette méthodologie réflexive m'a guidée tout au long de ce mémoire, et c'est ce qui doit selon moi, guider une pratique masso-kinésithérapique, en se demandant que faire et comment le faire quand finalement aucune recommandation ou aucun texte n'est là pour nous aider. C'est dans cette logique que j'ai structuré, synthétisé et analysé les données de la littérature, ce qui m'a permis d'amener une réponse à ma problématique que je vais vous proposer dans la partie qui suit. Le terme « proposer » est pour moi important car cette problématique a été traitée à travers ma sensibilité personnelle. Ceci constitue obligatoirement un biais, et une réponse différente aurait sûrement été apportée si une autre personne avait traité ma problématique. Je ne prétends

pas proposer une réponse qui soit une vérité absolue, qui d'ailleurs n'existe pas, mais j'ai simplement essayé d'exposer celle qui me semblait la meilleure possible en fonction de ce que j'ai pu extraire et comprendre de la littérature. Ceci dans un but d'éclairer les MK sur l'utilisation de cet outil, afin de l'inclure de façon optimale dans la prise en charge de nos patients âgés.

7.2 Réponse à la problématique

Plusieurs axes de réponse m'ont semblé intéressants pour répondre à ma problématique qui était la suivante « **Qu'apporte la réalité virtuelle dans la rééducation des troubles de l'équilibre liés au vieillissement physiologique chez la PA ?** ». Nous verrons ce que la RV apporte selon les différents temps de la prise en charge mais également son rôle face à la RC puis nous aborderons également ses intérêts selon le lieu où elle est utilisée.

7.2.1 Apports selon le temps de la prise en charge

La RV peut intervenir dans différents temps de la prise en charge. Par conséquent, ils seront présentés dans un ordre chronologique, c'est-à-dire en amont des troubles, au moment de leur détection, puis en aval, une fois qu'ils sont déjà installés.

7.2.1.1 Apport préventif

Les études qui investiguent l'apport de la RV dans un objectif préventif, proposent d'utiliser la RV dans le cadre d'un protocole de rééducation mis en place au domicile du patient [87][94]. Ainsi, ce dernier pourrait suivre, en autonomie, un programme de rééducation basé sur des recommandations en ce qui concerne la prévention des chutes et les activités physiques. La RV a un intérêt majeur à se développer dans ce sens, en proposant des séances très ludiques. La PA n'aurait alors pas l'impression de subir une contrainte et prendrait plaisir à jouer à des jeux sans qu'elle ne démasque le réel objectif de rééducation qui se cache derrière cette interface et ce protocole.

Pour ce genre d'utilisation, des systèmes de RV simples et peu onéreux pourraient être mis en place comme des plateformes de force ou des systèmes de capture de mouvements. Ceci est conforté par le fait qu'une de mes études a montré que les PA, après avoir essayé un dispositif de RV, se montrent réceptives à l'usage de la RV en prévention [101].

7.2.1.2 Apport évaluatif

La RV peut également représenter un outil d'évaluation des troubles de l'équilibre, que ce soit pour les détecter ou pour suivre leur évolution afin de réajuster la rééducation si nécessaire. La RV me semble être un outil intéressant à mettre en place dans ce domaine car elle est capable de fournir des résultats précis et chiffrés. Cela permet au patient de suivre facilement son évolution, et aux rééducateurs d'obtenir des résultats plus reproductibles intra et inter examinateurs.

Plusieurs types de RV pourraient être utilisés pour cet objectif. Dans mes études, le premier type d'appareil le plus étudié en matière d'évaluation de l'équilibre, et qui a montré son efficacité, est le visiocasque ; plus précisément le modèle Oculus Rift DK2. Mais certaines études pondèrent un peu son usage, qui serait à employer avec précaution dans la détection des troubles de l'équilibre. En effet, elles montrent qu'il perturbe le fonctionnement physiologique de l'entrée visuelle, ce qui peut modifier les résultats des tests, d'autant plus si l'évaluation concerne des tests dynamiques. De plus, certains patients ayant des lunettes de vue ont rapporté une gêne avec le port du visiocasque [75][77][97][76].

Les deux autres types de RV étudiés dans l'évaluation des troubles de l'équilibre sont les plateformes de force et les systèmes de capture de mouvements [72][86]. Ces deux systèmes ont montré moins d'effets indésirables et apparaissent par conséquent plus sécuritaires pour les patients. Même si, dans tous les cas, visualiser un environnement virtuel reste moins physiologique pour les entrées sensorielles, ce qui sera donc à prendre en compte lors d'une évaluation avec la RV [78].

7.2.1.3 Apport curatif

La plus grande contribution de la RV montrée dans la littérature est une contribution curative, c'est-à-dire pour améliorer certains déficits présents lors de troubles de l'équilibre liés au vieillissement physiologique. Ce qui est tout de même encourageant puisque c'est, par définition, le cœur de la rééducation.

En premier lieu, toutes les études qui analysent l'acceptabilité de la RV sont d'accord pour dire que c'est un outil acceptable, fiable et pour lequel les PA semblent motivées. Les améliorations les plus grandes ont été remarquées dans les déficits directement corrélés à des troubles de l'équilibre, comme par exemple les variations du CDP, l'équilibre fonctionnel ou encore les paramètres de marche. Des améliorations moins importantes, mais tout de mêmes présentes, et ayant un rôle dans l'équilibration des PA, ont également été rapportées, telles que l'amélioration de l'endurance cardio-respiratoire, de la force musculaire et des fonctions supérieures.

En revanche, le modèle d'appareil ainsi que la posologie sont très hétérogènes dans la littérature et aucune recommandation n'est fournie. C'est pourquoi, un peu plus loin dans cette conclusion je m'attacherai à proposer des recommandations sur l'apport curatif de la RV.

7.2.2 Apports par rapport à la rééducation conventionnelle

Le plus grand intérêt que la plupart des études incluses dans ce mémoire rapportent est la motivation. En effet, les patients semblent grandement motivés par l'usage de la RV en séance de rééducation. Le fait de masquer la rééducation à travers des jeux permet de créer un certain engouement et une plus grande implication des PA dans leur rééducation. La RV apporte un renouveau, avec des objectifs concrets à atteindre que les patients doivent réaliser à travers les jeux. De plus, lorsqu'elle est utilisée en groupe, une émulation peut potentialiser encore plus cet avantage. Par conséquent, la RV augmente l'adhésion des patients dans leur rééducation ce qui est très favorable dans le cadre de leur prise en charge.

Un des autres avantages de la RV est qu'elle permet d'obtenir des résultats précis et chiffrés que ce soit lors d'une évaluation, ou simplement lors d'un exercice de rééducation. Cela permet au patient de voir clairement ses progrès à chaque séance et ainsi d'entretenir, une fois de plus, sa motivation. Par ailleurs, la RV favorise la création d'exercices en DT. En effet, lors des exercices, la PA a beaucoup de choses à prendre en compte, de par l'environnement sonore et visuel qu'elle perçoit, ce qui est un atout dans une rééducation des troubles de l'équilibre chez les PA.

En revanche, même s'il a été montré que la RV est efficace dans la prise en charge des troubles de l'équilibre, ce qui va majoritairement conditionner son usage en pratique est son apport face à la RC. Dans la littérature, la plupart des revues systématiques sont très controversées sur sa supériorité par rapport à une RC. Les études avec un protocole en essai contrôlé randomisé dans lesquels sont comparées la RV avec la RC montrent souvent des améliorations dans les deux groupes. Même si les améliorations semblent significativement plus grandes avec la RV, la différence reste souvent minime et il est difficile de réellement conclure sur une supériorité de la RV sur la RC.

Certaines études comparent également l'usage de RV couplée à la RC face à une RV seule. Les améliorations trouvées dans les deux groupes semblent tout de même plus significatives lorsque la RV est combinée à une RC. Son usage serait alors intéressant en tant qu'adjuvant d'une RC mais la substitution complète d'une RC pour une rééducation avec la RV n'est pas encore démontrée.

7.2.3 Apports dans différents lieux d'exercices

Dans ma revue de l'art, j'ai décrit différents lieux de prise en charge possibles pour la rééducation des PA que je n'ai pas retrouvés dans la littérature concernant l'usage de la RV. En effet, les études montrent que la RV peut être utilisée dans des structures salariales telles que des centres de rééducation ou des hôpitaux ou encore dans des protocoles à domicile, ou en maison de retraite. Mais elles ne la décrivent pas pour des modes d'exercices libéraux. Cela ne signifie pas que la RV n'est pas utilisable dans ce mode d'exercice, mais cela peut venir du fait que les études soient difficile à réaliser dans ces conditions. En revanche, on comprend que la RV sera plus facilement mise en place dans des structures telles que des centres, des hôpitaux ou encore

des maisons de retraite, de par son coût, mais également par les contraintes temporelles et spatiales qu'elle impose.

7.3 Limite : la réalité virtuelle en pratique

Si nous avons vu que la RV a de nombreux apports dans la rééducation, elle présente également de nombreuses limites venant pondérer ses atouts.

- Programme de rééducation à domicile

En premier lieu, si on reprend le principe des programmes de rééducation à domicile dans un but préventif mais qui pourrait également être envisagé dans un but curatif, plusieurs difficultés et problématiques apparaissent.

La difficulté majeure sera de s'assurer que les programmes soient réellement ajustés aux capacités du patient. Pour créer des protocoles préventifs adaptés à chacun, il impose que le système de RV puisse proposer, au début, des évaluations des capacités du patient afin de programmer des exercices à son niveau. Si ce n'est pas le cas, cela requiert alors un bilan initial réalisé par un MK qui devra ensuite paramétrer lui-même le protocole, qui sera réalisé en autonomie par le patient. La même logistique se pose pour des évaluations intermédiaires pour que les protocoles s'adaptent au fur et à mesure des progrès de la PA. Sachant qu'une évaluation réalisée par l'expertise d'un MK est difficilement remplaçable par une machine, laquelle ne connaîtra finalement le patient qu'à travers des résultats. Or, chaque patient est à prendre en charge dans sa globalité et ne se limite pas qu'à une série de chiffres. Nous pouvons donc considérer une première limitation de la RV.

Le deuxième enjeu sera de veiller à la sécurité du patient. Ce dernier devra être capable de réaliser correctement les exercices en autonomie sans qu'il ne se mette en danger. Pour cela, le programme de RV devra disposer d'un système de feedback très poussé afin de détecter les erreurs et de les corriger rapidement. Ceci reste très complexe puisque, même si la RV détecte les erreurs du patient et les corrige, elle ne peut pas prendre en compte l'environnement du patient ainsi que d'autres éléments qui peuvent présenter des perturbations. En revanche, on pourrait imaginer un programme qui interroge la PA sur son niveau de fatigue ou sur ses douleurs avant chaque début de séance. L'appareil serait alors capable, en fonction des réponses, de modérer le niveau de tolérance d'erreurs et de difficulté dans les exercices.

Pour l'instant, ceci reste difficile à concevoir. Si cela n'est pas possible, alors cela suppose encore une fois, la présence d'un MK qui devrait assister aux premières séances afin de s'assurer que la PA réalise le protocole d'une manière effective et sécuritaire, confirmant ainsi qu'elle est apte à continuer en autonomie. Des contrôles réguliers pourraient être également proposés. Mais si au final le MK doit venir régulièrement au domicile de la PA pour contrôler la sécurité du patient, on peut se demander s'il n'aurait pas meilleur compte de réaliser directement une séance de RC avec la PA.

- Evaluation et rééducation avec la RV

Finalement, l'évaluation et la rééducation des troubles de l'équilibre avec la RV peuvent être modérés par les mêmes éléments que cités précédemment. Pour l'évaluation, la RV ne tiendra pas compte de la manière dont l'évaluation est réalisée mais ne tiendra compte que du résultat final. Il en est de même pour des exercices qui seraient réalisés avec ce genre d'outil. En fait, la RV peut représenter un puissant outil pour fournir des données quantitatives précises en rééducation, ce qui permet d'avoir un suivi très fiable et reproductible. Par contre, elle ne prend pas en considération la manière dont sont réalisés les évaluations ou les exercices. Cela impose au MK de détecter les éventuelles compensations que le patient pourrait mettre en place et qui peuvent pondérer un exercice ou une évaluation considérés comme acquis.

- En pratique

En outre, même si la RV présente un large panel d'appareils, certains modèles seront plus faciles que d'autres à mettre en place. En effet, on conçoit aisément que les systèmes CAVE, ou encore les tapis de marche couplés à la RV puissent être difficiles à mettre en place, que ce soit en terme de coût, mais surtout d'espace, notamment dans des structures libérales ou à domicile. Les plateformes de force et les systèmes de capture de mouvements seront plus facilement accessibles. Les visiocasques sont également faciles à acquérir mais nous avons vu que leur usage modifie les entrées sensorielles et impose donc une surveillance accrue. Par conséquent ils seront peut-être moins privilégiés par rapport aux plateformes de force ou à la capture de mouvements.

De plus, même si les études montrent plusieurs bénéfices de la RV dans la rééducation gériatrique des troubles de l'équilibre liés au vieillissement physiologique, je n'ai vu qu'une seule fois son utilisation au cours de mes différents stages et l'appareil utilisé était la plateforme de Wii™. Ceci pondère tous les résultats très théoriques que j'ai pu exposer à travers cette revue de littérature. Même si la RV semble efficace, cela interroge sur l'intérêt que les rééducateurs lui consacrent dans leur pratique. Beaucoup s'y intéressent et sont admiratifs de l'avancée technologique qu'elle représente, mais au final, très peu l'utilisent.

Il ne faut pas oublier que la première barrière à ce type d'appareil reste son prix mais cela peut être aussi un manque de connaissances sur la technique elle-même, à laquelle nous ne sommes pas formés. Les MK peuvent également penser que ce genre de rééducation est plus chronophage qu'une RC ou ne pas voir son intérêt par rapport à une RC. Choisir un appareil parmi tout le panel qu'explore la littérature et savoir à quel moment et fréquence l'utiliser reste également difficile.

C'est pourquoi, dans la partie qui suit, je vais proposer des recommandations sur l'usage de la RV selon les différents objectifs présentés dans la réponse à ma problématique afin d'aider les MK souhaitant l'utiliser en pratique. Ces recommandations n'engagent que moi et ne sont que des avis que les MK peuvent, ou non, prendre en compte.

Tab III : « Recommandations sur le choix du type de réalité virtuelle »

		Evaluatif	Préventif / Curatif	
Type d'appareil de RV			Equilibre statique	Equilibre dynamique
	Domicile	Plateforme de force Capture de mouvements Visiocasque (si surveillance par un MK)	Plateforme de force Capture de mouvements Visiocasque (si surveillance par un MK)	Capture de mouvements +/- Visiocasque (si surveillance par un MK) +/- Plateforme de force
	Libéral	Plateforme de force Capture de mouvements	Plateforme de force Capture de mouvements Visiocasque	Tapis de marche + RV +/- Capture de mouvements +/- Visiocasque
	Salariat	Visiocasque	Plateforme de force Capture de mouvements Visiocasque	Tapis de marche + RV Système CAVE +/- Capture de mouvements +/- Visiocasque

7.4 Recommandations

7.4.1 Quels appareils pour quels objectifs ?

Dans cette partie, je ne parlerai que des cinq grandes familles d'appareils décrites dans les résultats de mon mémoire sans détailler quel modèle pour une famille (**Tab.III**). D'une part parce que leur diversité est trop importante, et les études pas assez nombreuses pour conclure sur un modèle précis et d'autre part, parce qu'il me semble qu'en recommander un plus qu'un autre serait trop restrictif par rapport au panel qui existe. Par ailleurs, certains modèles existants et qui ne sont pas décrits dans mes études pourraient être tout aussi pertinents. Recommander un modèle précis est également difficile puisque je ne connais pas les moyens dont disposeront les MK qui seront potentiellement intéressés. Il conviendra alors, à ceux le souhaitant, d'étudier au sein d'une famille de RV quel appareil lui serait le plus accessible au niveau du prix, mais aussi de mise en place dans le cadre de leur pratique.

- Usage à domicile et usage évaluatif

Pour une utilisation à domicile préventive ou curative, et une utilisation évaluative quelque soit le lieu d'exercice, je recommanderais davantage les systèmes de capture de mouvements ou de plateformes de force. En effet, ces types d'appareils permettent de répondre aux impératifs de facilité d'utilisation, de rapidité et de simplicité de mise en place nécessaires pour ces modes d'utilisation. A l'heure actuelle, je ne préconiserais pas l'usage du visiocasque en autonomie à domicile car même si son immersion est meilleure, il isole fortement la personne de son environnement et peut être source de confusion et de mise en danger du patient. En revanche, si le MK est présent, son usage pourrait être envisagé, sous condition que le patient donne son consentement et soit à l'aise avec ce type de RV. Il peut être également utilisé en évaluation mais le MK devra prendre en compte que le visiocasque, au niveau sensoriel, n'est pas physiologique et peut donc biaiser les résultats.

- Usage en libéral

Pour des nécessités identiques, je recommanderais les mêmes types d'appareils de RV pour une pratique libérale, que ce soit pour un usage préventif, évaluatif ou curatif. Un tapis de marche couplé à la RV peut également être envisageable, si le MK possède déjà un tapis de marche dans son lieu d'exercice.

- Usage curatif

Afin de rééduquer les déficits présents lors de troubles de l'équilibre liés au vieillissement physiologique, je préconiserais, pour le versant statique, l'usage de plateformes de force, de

Tab IV : « Recommandations sur la posologie de la réalité virtuelle »

		RV et RC dans la même séance			RV et RC alternées		
		Libéral / Domicile		Salariat	Libéral / Domicile		Salariat
		Séance de 30 min	Séance d'une heure	Séance d'une heure	Séance de 30 min	Séance d'une heure	Séance d'une heure
Durée des séances de RV		Difficile à mettre en place	30 minutes	30 minutes	30 minutes	Une heure	Une heure
Fréquence des séances	Durée rééducation < 4 semaines		Autant de fois que le nombre de séances par semaine fixé par le MK		3x/sem	3x/sem	3x/sem
	Durée de rééducation > 4 semaines				2x/sem	2x/sem	2x/sem
A individualiser en fonction de chaque patient							

capture de mouvements et de visiocasques. En revanche, pour le versant plus dynamique de l'équilibre, par exemple pour travailler la marche, je recommanderais davantage les systèmes tapis de marche couplés à la RV et les systèmes CAVE. La capture de mouvements et les visiocasques pourraient également être envisagés dans une moindre mesure. En revanche, l'usage de plateformes de force me paraît moins pertinent dans l'équilibre dynamique puisque, la plupart du temps, elles ne permettent qu'un travail très statique en demandant aux patients de contrôler les variations de leur CDP. Diminuer son CDP, en condition statique, peut être utile dans l'équilibre dynamique, encore faut-il que le patient puisse transposer les acquis statiques dans des tâches dynamiques.

Pour un usage dans le cadre d'un stress post-traumatique, après une chute par exemple, ou pour des patients avec peu de capacités, l'usage de système CAVE et de visiocasque me paraît intéressant car ces deux systèmes sont ceux qui permettent une plus grande immersion dans le monde virtuel. Cela permettrait, avec des logiciels diffusant des jeux adaptés, d'autoriser la personne à vaincre ses peurs et dépasser sa kinésiophobie. De plus, réaliser des tâches ou des activités dans le monde virtuel, qu'elle ne peut plus faire dans sa vie quotidienne, permettrait de lui redonner confiance et motivation, et de la faire progresser à son rythme.

Concernant les fonctions connexes, qui rappelons-le, ne sont pas l'objectif principal, il me semble que chaque famille de RV peut concourir à les améliorer si les logiciels proposent des jeux avec des consignes adaptées.

7.4.2 Quelle posologie ?

- RV versus RC

Avant de déterminer la posologie de la RV en tant que telle, je commencerais par exprimer que, à mon avis, une des meilleures possibilités serait d'utiliser la RV en complément d'un protocole de RC. En effet, son usage seul n'est pas encore assez significatif. Même si certaines études montrent des bénéfices supérieurs de la RV par rapport à la RC, les protocoles sont trop hétérogènes et l'utiliser seule serait, pour moi, diminuer son potentiel ; d'autant plus que certaines études montrent une supériorité lorsqu'elle est couplée à une RC. D'ailleurs, en rééducation, il est souvent recommandé de coupler différentes techniques afin qu'elles soient plus efficaces.

- Durée et fréquence des séances (Tab.IV)

Concernant la durée d'une séance elle devrait être, selon moi, au minimum de 30 minutes et au maximum d'une heure. Il me semble qu'en dessous de 30 minutes le patient n'a pas le temps de vraiment s'investir dans l'exercice demandé et qu'au-delà, un phénomène de lassitude peut survenir en plus d'être très chronophage. Ce choix va être conditionné par la façon dont la RV sera incorporée à la RC. Le MK peut choisir d'inclure à chaque séance RV et RC auquel cas la durée de rééducation avec la RV serait plutôt de 30 minutes. Mais il peut également choisir d'alterner des séances de RV et de RC séparément, auquel cas la séance de RV serait plutôt

d'une heure ou de 30 minutes dans des conditions d'exercice libérales, ou salariales avec des patients qui nécessitent une rééducation moins conséquente.

Après avoir fixé la durée de la séance, il faut déterminer la fréquence des séances. Elle va être déterminée par la durée de la rééducation estimée pour notre patient. Une rééducation plus courte impose une fréquence plus élevée qu'une rééducation plus longue où la fréquence peut être plus espacée. Cette fréquence est également conditionnée par les besoins rééducatifs du patient. Si la RV est couplée à la RC à chaque séance, alors sa fréquence sera fonction du nombre de séances hebdomadaires fixé par le MK. Si les séances de RV et RC sont séparées, on pourrait considérer qu'en dessous de quatre semaines, la RV devrait tendre vers une fréquence de trois fois par semaine si on veut que les améliorations lui soient attribuées. Si la rééducation dure plus de quatre semaines, idéalement six, peut-être que le MK peut se permettre de l'utiliser seulement deux fois par semaine.

Dans des conditions d'exercice libéral, la fréquence et la durée des séances sera plus variable. Si on considère que le MK pratique des séances de 30 minutes, il sera difficile de proposer RV et RC dans la même séance, alterner les deux peut alors sembler plus pertinent. Si la séance dure une heure, alors les mêmes conditions qu'en salariat peuvent être réalisées.

7.4.3 Le patient au centre de sa rééducation

L'élément qui conditionnera le plus ces recommandations, aussi bien pour le choix de l'appareil que pour la posologie, sera le patient lui-même. En effet, même si un type de RV peut paraître plus efficace pour un déficit, si le patient ne se sent pas à l'aise avec cet appareil, il conviendra de respecter son choix et de lui proposer soit un autre appareil de RV, soit une alternative en RC. Il en est de même pour la posologie qui est à déterminer en coordination avec le patient. S'il ne souhaite utiliser la RV que ponctuellement alors nous devons respecter ce choix. Au contraire, parfois, si le patient ne se montre pas coopérant en RC, peut-être que la RV peut-être une alternative qui peut lui redonner une certaine motivation dans sa rééducation. Comme déjà cité à travers ce mémoire, tout est une question d'adaptabilité et de modération. Il faut savoir contrebalancer ce que nous, en tant que rééducateur, nous estimons le mieux pour le patient, avec ce que lui pense être le meilleur. Ceci, toujours dans un but de proposer la rééducation la plus pertinente possible avec la meilleure alliance thérapeutique qui soit.

7.5 Ouverture

Nous vivons actuellement dans une société où les progrès technologiques sont très rapides et remplacent de plus en plus de professions. Dans une de mes études, un logiciel mis en place dans un programme de prévention à domicile est capable d'évaluer le patient, afin de lui proposer un programme de rééducation adapté et qui, si nécessaire, peut le corriger. Le logiciel joue alors le rôle d'un véritable MK. Face à ce genre de progrès, on peut se demander si, dans le

futur, notre profession pourrait être remplacée entièrement ou en partie par la RV ou d'autres technologies et quelle devrait être leur place dans notre profession.

Lorsque j'ai abordé la RV dans le cadre de la prévention et de l'évaluation des troubles de l'équilibre, nous avons vu qu'une des limites de la RV est le fait qu'elle ne prenne en compte que des données quantitatives. Or, le patient ne peut pas être réduit à des chiffres. Chaque patient est unique et sa prise en charge ne peut se faire qu'en tenant compte de toutes les sphères qui le composent dans sa globalité. C'est d'ailleurs une des richesses de notre profession que de chercher à prendre en charge le patient en fonction de son histoire de vie et de sa personnalité afin d'établir une relation humaine, qui aboutira à une meilleure prise en charge. Pour moi, peu importe les avancées technologiques de la science, elles ne pourront jamais remplacer le contact humain que peut offrir l'Homme.

Substituer nos actes de rééducation à une utilisation trop fréquente d'appareils techniques peut conduire à une déshumanisation, ce qui va à l'encontre de la masso-kinésithérapie qui est avant tout un métier de contact humain. Le danger est alors de nous nuire à nous-mêmes. C'est pourquoi l'usage d'appareils techniques devrait être utilisé avec parcimonie. En outre, si la RV permet au départ d'apporter de la motivation et un renouveau dans la rééducation, l'utiliser trop souvent peut mener à une lassitude de la même manière qu'elle peut survenir en RC. Par conséquent, si son usage est trop fréquent, l'avantage principal que la RV présentait au départ peut alors disparaître.

Lors des séances avec la RV, le patient peut également se lasser du manque de contact humain. En effet, les séances de RV ne sont pas propices à la communication et n'incitent pas les patients à s'ouvrir et à rechercher l'échange, sauf éventuellement lors d'une utilisation en groupe. Or, nos patients âgés sont pour certains déjà repliés sur eux-mêmes avec parfois très peu d'entourage. La RV peut certes, améliorer certains déficits très techniques dans une prise en charge, mais elle ne peut pas suppléer les bénéfices qu'une personne peut retirer d'une véritable relation humaine.

Je conclurai alors en disant que les progrès techniques peuvent être très intéressants dans certains domaines de la rééducation, mais qu'ils sont à utiliser avec précaution afin de ne pas nuire à notre profession. La masso-kinésithérapie est avant tout un métier de contact et de relation humaine. Si le MK dispose d'un panel de techniques de rééducation qu'il doit choisir en fonction de son expérience et des recommandations, c'est avant tout en fonction de son patient et de ses spécificités propres, qu'il doit appliquer une rééducation adaptée. L'objectif étant de placer le patient au cœur de toute rééducation afin de lui permettre d'atteindre le meilleur niveau de QDV tout au long de sa vie.

ANNEXES

Sommaire des annexes

Annexe I : Arbre décisionnel des tests fonctionnels dans la détection des troubles de l'équilibre des personnes âgées vu par la HAS

Annexe Ibis : Arbre décisionnel des tests fonctionnels dans la détection des troubles de l'équilibre des personnes âgées orienté sur la rééducation

Annexe II : Description du test Timed Up and Go par la HAS

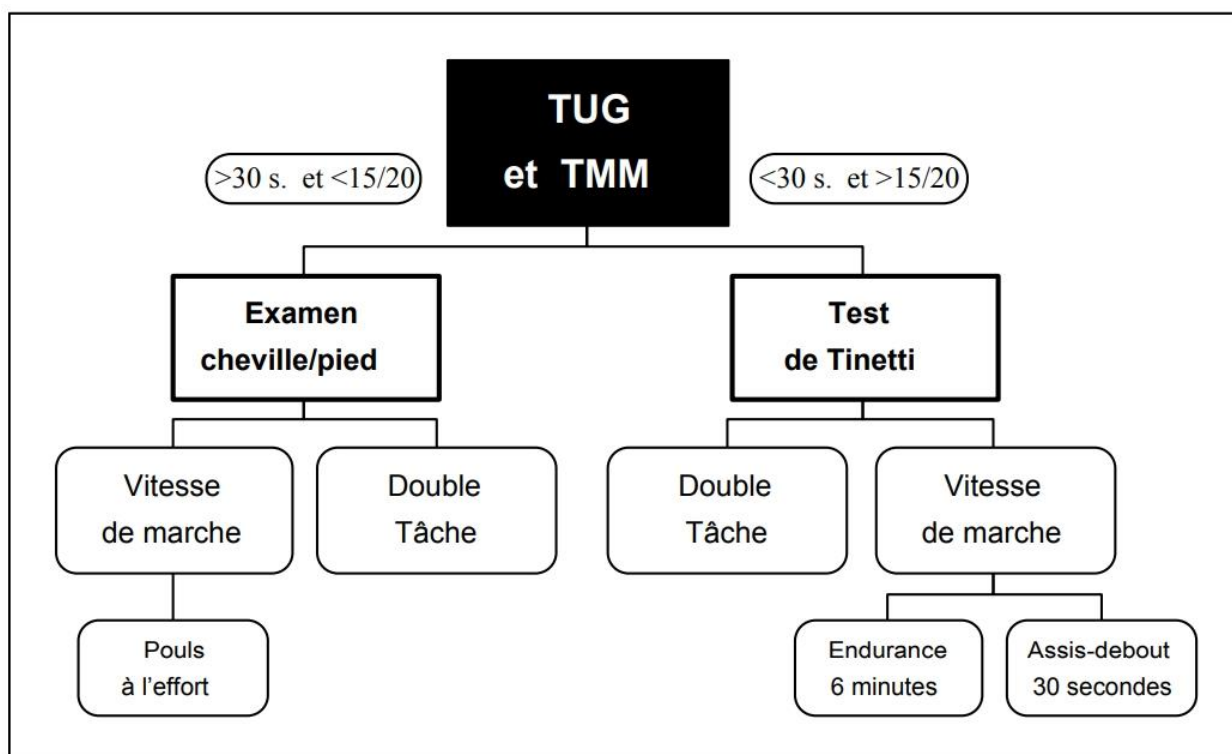
Annexe III : Appareils de Réalité Virtuelle les plus fréquents

Annexe IV : Méthodologie de Recherche

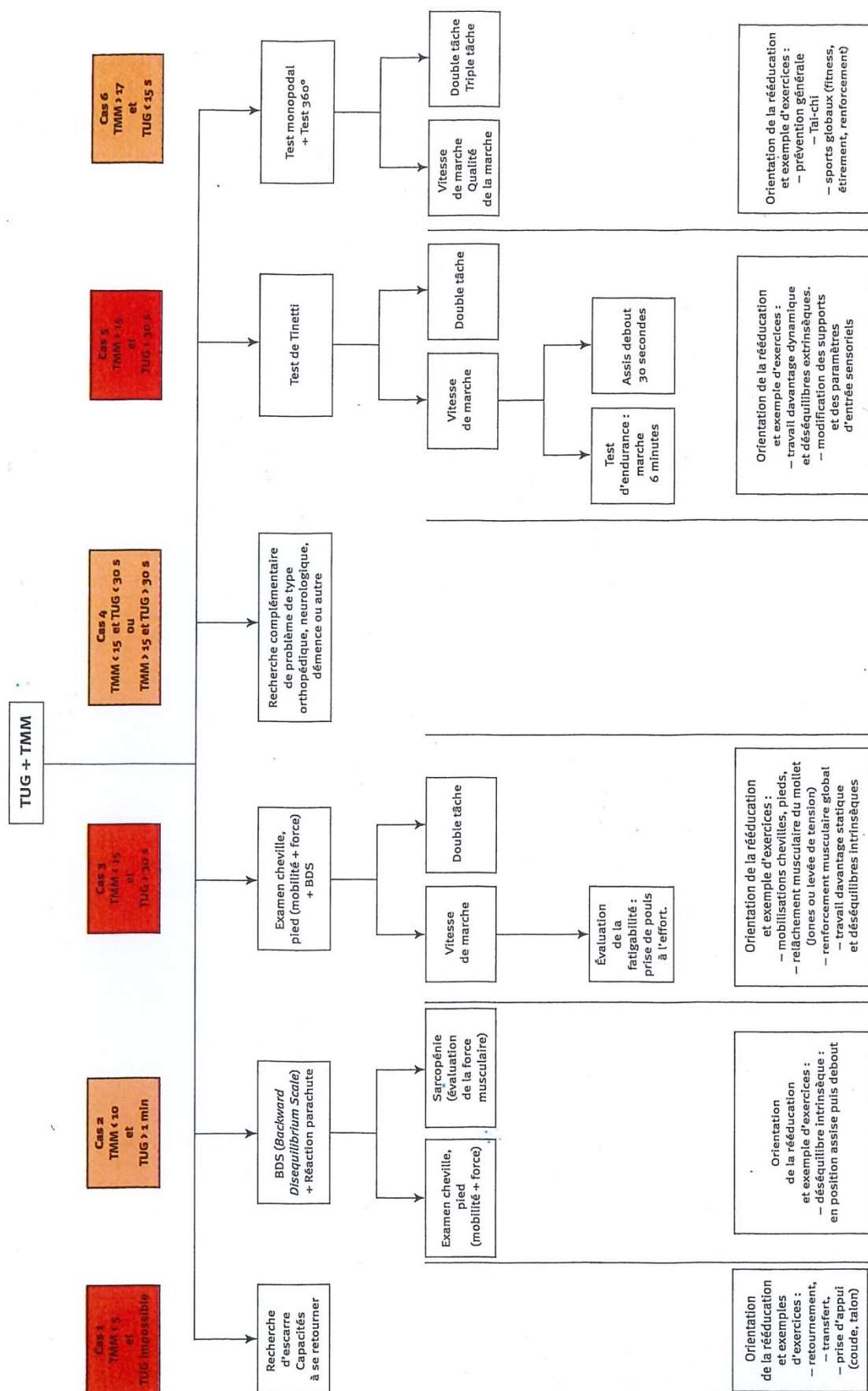
Annexe V : Tableau résumé des études

Annexe VI : Tableau synthèse des résultats

Annexe I : « Arbre décisionnel des tests fonctionnels dans la détection des troubles de l'équilibre des personnes âgées vu par la HAS » [22]



Annexe Ibis : « Arbre décisionnel des tests fonctionnels dans la détection des troubles de l'équilibre des personnes âgées orienté sur la rééducation » [10]



Annexe II : « Description du test Timed Up and Go par la HAS » [18]

Ce test évalue globalement la marche et l'équilibre postural dynamique de la personne âgée. Il consiste à mesurer le temps (exprimé en secondes) mis pour se lever d'une chaise avec accoudoirs, marcher 3 mètres, faire demi-tour et revenir s'asseoir.

Les conditions de réalisation du test sont les suivantes :

- le sujet doit utiliser ses chaussures habituelles ;
- il peut se lever en s'aidant éventuellement des accoudoirs ;
- il doit exécuter le test à une vitesse de déplacement la plus naturelle possible et avec un outil d'aide à la marche s'il l'utilise habituellement
- la pièce où le test est réalisé doit être fermée, l'une de ses dimensions doit être supérieure à 3,50 mètres, elle doit être bien éclairée, sans bruit ni stimulations extérieures (autres personnes que l'examineur, etc.).

La réalisation du test se décompose toujours en deux étapes : explication du test au sujet, puis réalisation du test avec chronométrage.

Annexe III : « Appareils de Réalité Virtuelle les plus fréquents »

- Plateforme de force



Plateforme de force Wii Fit™



Jeu Ski Slalom



Jeu Balance Bubble



Jeu Soccer Heading



Jeu Penguin Slide



Rowing Squats



Différentes postures de Yoga

Différents jeux proposés avec la plateforme de force Wii Fit™

- Capture de mouvements



Capture de mouvements Kinect™ de Microsoft reliée à la Xbox 360™



Différents jeux proposés par le jeu Kinect Sports 8™

- **Visiocasque**



Oculus Rift DK2™ (Oculus VR™)



HMZ-T3W™ (Sony™)

Visiocasques utilisés dans mes études

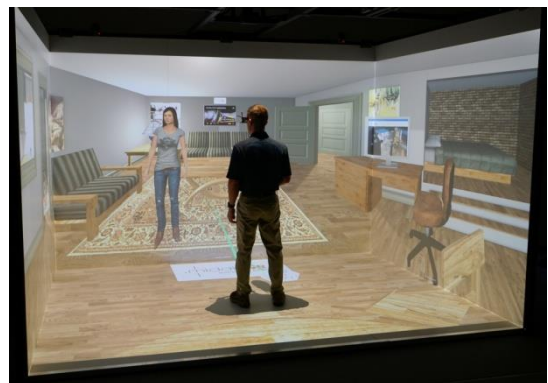
- **Tapis de marche couplé à la réalité virtuelle**



Walker View Med Pro Tecnobody™

Tapis de marche couplé à la capture de mouvements

- **Système CAVE**



Système Cave avec et sans environnement virtuel

Dispositif VisCube™ M4 CAVE Immersive 3D Display

Annexe IV : « Méthodologie de recherche »

BASES DE DONNEES		Pubmed (Title, abstract)	Cochrane (Title, abstract, keyword)	Pedro (Abstract & Title)	Science Direct (Title, abstract, keyword)	Lissa (TI, MC, Résumé)	Kinédoc (TI, MC, Résumé)	Total nombre d'occurrences
Equation 1	virtual reality and rehabilitation and balance and elderly	12	15	10	7	3	1	48
	Critère de sélection n°1 ≥ 2013	8	13	8	6	2	0	37
	Critère de sélection n°2 IF > 1	6	7	7	4	0	0	24
	Critères d'inclusion/exclusion	3	1	2	4	0	0	10
								Sans les doublons : 7
Equation 2	virtual reality and balance and elderly	40	28	36	10	3	1	118
	Critère de sélection n°1 ≥ 2013	31	24	31	9	2	0	97

	Critère de sélection n°2 IF > 1	24	12	24	6	0	0	66
	Critères d'inclusion/exclusion	20	7	13	5	0	0	45
								Sans les doublons : <u>19</u>
Equation 3	virtual reality and rehabilitation and balance	175	2	48	61	8	2	296
	Critère de sélection n°1 ≥ 2013	139	2	38	50	6	0	235
	Critère de sélection n°2 IF > 1	96	2	27	30	0	0	155
	Critères d'inclusion/exclusion	12	0	2	7	0	0	21
								Sans les doublons : <u>10</u>
Equation 4	virtual reality and rehabilitation and elderly	31	29	16	13	5	1	95

	Critère de sélection n°1 ≥ 2013	20	25	12	10	4	0	71
	Critère de sélection n°2 IF > 1	13	11	8	7	1	0	40
	Critères d'inclusion/exclusion	6	2	3	6	1	0	18
								Sans les doublons : 5
Total équations 1+2+3+4	Occurrences initiales équations 1+2+3+4	258	74	110	91	19	5	557
	Critère de sélection n°1 ≥ 2013	198	64	89	75	14	0	440
	Critère de sélection n°2 IF > 1	139	32	66	47	1	0	285
	Critères d'inclusion/exclusion	41	10	20	22	1	0	94
								<u>Total équations 1+2+3+4 sans les doublons : 41</u>

Annexe V : « Tableau résumé des études »

		<u>OBJECTIFS DE L'ETUDE</u>			<u>RESULTATS DE L'ETUDE</u>			<u>INTÉRÊTS POUR LE MÉMOIRE</u>		
<u>Auteurs et Source</u>	<u>Année et IF</u>	<u>Appareils de RV testés</u>	<u>Populations étudiées</u>	<u>Posologie</u>	<u>Comparaisons</u>	<u>Jeux de la RV</u>	<u>Paramètres évalués</u>	<u>Temps d'évaluations</u>	<u>Évaluations à distance</u>	<u>Buts</u>
Prasertsakul T et al. BioMedical Engineering OnLine	2018 IF= 2.03	Evaluer les effets de la RV sur la rééducation de l'équilibre chez des adultes sains à travers l'apprentissage moteur et le CP			Amélioration plus significative avec le programme de RV Diminution du CDP avec la RV mais pas avec la RC Résultats trouvés pour un petit échantillon			Intérêt de la RV car elle favorise l'apprentissage moteur et les acquis dans la vie réelle Importance des feedbacks Améliore l'équilibre, la prévention des chutes		
		Kinect™ reliée à un ordinateur (logiciel Unity3D® version 5.3.2)	10 PA : 5/5 50 ans Indépendantes	3x/sem 45 min 4 sem	RV : 3 jeux en DT versus RC : équilibre stat/dyn	Couleur Pâtisserie Mémorisation Nombres	CDP avec plateforme MatScan® model 3150	Avant/Après	Non	Curatif
Bacha JMR et al. Games for health journal	2018 IF= 1.9	Comparer la RV versus la RC sur le CP, le système cardio-respiratoire, les paramètres de marche, les fonctions cognitives			Les deux groupes ont une amélioration significative du CP, des paramètres de marche, du système cardio-respiratoire et des fonctions cognitives			Résultats presque similaires entre la RV et la RC Mais la RV faciliterait l'apprentissage par sa sollicitation cognitive		
		Kinect™ couplée à la Xbox	46 PA : 23/23 60-80 ans Indépendantes	2x/sem 1 h 7 sem	RV : 4 jeux versus RC : équilibre stat/dyn, endurance, renforcement musculaire, coordination, étirements	Space Pop 20,000 Leaks Reflex Ridge River Rush	MiniBEST-test FGA 6MST MoCA Acceptabilité Adhésion	Avant/Après	4 sem après	Curatif

De Vries AW et al. Gait Posture	2018	Evaluer l'impact de deux jeux de ski similaires (un sur la Wii™ et un sur la Kinect™) sur l'équilibre			LDS a augmenté en antéro et médio latéral mais pas en postérieur. Amélioration plus significative avec la Kinect™ qu'avec la Wii™. Le CDP est resté le même ou a augmenté avec la Kinect™ mais pas avec la Wii™			Importance de l'évaluation du jeu en lui-même, sur son mode d'évaluation et de captation des mouvements Wii Fit™ < Kinect™ : supériorité potentielle de la technologie de capture de mouvements sur la plateforme de force		
	IF= 2.84	Wii™ + Kinect™ reliée à la Xbox	30 jeunes adultes : 21 ans 30 adultes agés : 70 ans Indépendants	3fois les 2 jeux - ordre aléatoire	RV versus RV	Wii™ balance board ski Kinect™ ski	CDP et LDS (MXT20 opto-electronical cameras Vicon, Oxford Metrics, UK)	Pendant	Non	Curatif
Kizony S et al. Annals of Physical and Rehabilitation Medicine	2018	Etudier la faisabilité de la mise en place d'une rééducation en autonomie chez les PA avec un système de rééducation par télé-rééducation			Etude en cours			Inclusion de la RV en télé-rééducation		
	IF= 1.64	Kinect™ reliée au programme CogniMotion VR	Plus de 200 personnes		RV	-	Fonctions physiques et d'équilibre	-	-	Préventif
Pedroli E et al. Sensors	2018	Evaluer l'acceptabilité d'un dispositif de RV			Le système a une fonctionnalité jugée plutôt bonne par les utilisateurs Réponses positives des PA aux questionnaires			Le système semble efficace malgré des ajustements à prévoir Permet de travailler la force et la DT		
	IF= 2.80	Cyclo-ergomètre dans système CAVE : Positive Bike	5 PA 70 ans	15 min du jeu	RV	Double tache sur cyclo-ergomètre	Facilité d'utilisation Adhésion Ressentis	Pendant/Après	Non	Evaluatif + Curatif

Glännfjord F et al. Scandinavian Journal of Occupational Therapy	2017	Etudier la perception qu’ont les PA du jeu Wii™ Sport Bowling			PA semblent satisfaites de la RV, notamment par la facilité du bowling en RV comparé à la réalité Forte adhésion dans le jeu avec une bonne immersion			La RV permet de réaliser des activités que les PA ne peuvent pas faire dans la vie réelle Emulation de groupe Détourner l’attention des douleurs grâce aux jeux. PA réceptives aux technologies		
	IF= 1.10	Wii™ sport	8 PA 78 ans Vivant en centre	15 séance 30 min 17 sem	RV	Wii™ Sport Bowling	Interview qualitative Observation	Pendant/Après	Non	Curatif
Dockx K et al. Gerontology	2017	Etudier l’attitude des PA sur l’utilisation de la RV en prévention des chutes			Meilleure attitude des PA face à la prévention des chutes avec la RV après le protocole			PA réceptives et prêtes à s’ouvrir à de nouvelles technologies		
	IF= 3.60	Tapis de marche + RV (Kinect™ associée à la Xbox)	281 PA : 144 / 137 75 ans	3x/sem 45 min 6 sem	RV : tapis de marche + RV versus RC : tapis de marche seul	Kinect™ : parcours de marche avec obstacles + DT	Questionnaires AQ et USQ	Avant/Après	Non	Préventif
Neri SG et al. Clinical Rehabilitation	2017	Synthétiser le niveau de preuve de la RV, de la RC, ou d’une absence de rééducation sur la prévention des chutes			RV améliore plus l’équilibre et la peur de chuter qu’une RC et une absence de rééducation			Il reste à préciser avec quelles modalités la RV est mieux (type d’appareil, posologie) La RV favorise l’adhésion comparée à la RC		
	IF= 1.29	Revue systématique : RV versus RC et versus aucune rééducation								
Matt C.Howard et al. Computers in Human	2017	Faire un bilan sur la rééducation avec la RV : principaux avantages et modalités à utiliser			La RV améliore la force, les paramètres de marche, le contrôle moteur et l’équilibre. RV + RC > RC			RV intéressante car elle reproduit des situations des AVQ, avec des jeux en DT, souvent présentes dans la vie courante. Apporte une notion d’enjeu face au challenge proposé par les jeux		
	IF= 4.61									

Behavior		Revue systématique : La RV est-elle efficace ? Et si oui, grâce à quoi ?								
Saldana SJ et al. Clinical Interventions in Aging	2017	Evaluer l'usage d'un visiocasque dans la détection des troubles de l'équilibre			Le visiocasque semble efficace pour détecter les troubles de l'équilibre			Possibilité d'usage de la RV pour évaluer l'équilibre et détecter les troubles de l'équilibre Permet d'évaluer le patient dans des conditions proches de la réalité		
	IF= 2.04	Visiocasque (Oculus Rift DK2 VR, Irvine, CA, USA)	13 PA : 8/5 80 ans Maison de retraite	2 essais espacés de 1 sem	RV versus RC (plateforme de force)	Environnement d'une salle de classe	Acceptabilité : SSQ Reproductibilité Vitesse de déplacement du CDP	Avant/Après	Non	Evaluatif
Hwang J et al. The Journal of Physical Therapy Science	2017	Evaluer l'impact de la RV comparé à une RC sur les fonctions cognitives et l'équilibre de PA avec des troubles cognitifs légers			RV semble améliorer la mémoire et l'équilibre			Intérêt de la RV sur l'équilibre et les fonctions supérieures		
	IF= 1.98	Plateforme BioRescue	24 PA : 12/12 74 ans Vivant en centre	20 séances 30 min 4 sem	RV versus Aucune rééducation	-	Mémoire : VST, WCT Equilibre : CDP	Avant/Après	Non	Curatif
Delbroek T et al. The Journal of Physical Therapy Science	2017	Evaluer l'impact de la RV sur la cognition, l'équilibre et les performances en DT chez les PA			Peu d'amélioration que ce soit pour le groupe contrôle ou le groupe intervention Seul l'équilibre dynamique du groupe contrôle s'est significativement amélioré			Résultats qualitatifs : bonne motivation et perception de la plateforme BioRescue par les PA		
	IF= 1.98	Plateforme BioRescue	20 PA : 10/10 87 ans Institution	2x/sem 18 à 30 min 6 sem	RV versus Aucune rééducation	9 jeux : mémoire, ski, parcours marche, rallie,	Tinetti-POMA iTUG avec et sans DT OERS :	Avant/Après	Non	Curatif

						montgolfière, tableau, navette, labyrinthe, tortue	émotions MoCA IMI : motivation			
Bernard-Demanze et Lacour Current Aging Science	2017	Développer un test clinique pour détecter les différences entre les PA chuteurs et non chuteurs			Après un déséquilibre, les PA retrouvent leur stabilité plus lentement que les sujets jeunes			Intérêt de trouver et de combiner différentes méthodes pour prévenir la chute		
	IF= 1.33	Plateforme Multitest Equilibre Framiral	9 sujets jeunes : 36 ans 17 PA : 77 ans	1 essai	RV	Déséquilibres arrières à différentes vitesses	CDP	Pendant	Non	Evaluatif
Levac D et al. Games for health journal	2017	Etudier l’avis des MK sur la RV : utilisation, avantages, freins...			La moitié des MK interrogés ont déjà eu une expérience avec la RV mais seulement 12% l’utilise actuellement. Utilisation en priorité pour l’équilibre dans les populations neurologiques (gériatrie en 5 ^{ème} position) Aucune notion de prévention ou évaluation Les jeux vidéo sont les plus utilisés Les réponses des MK et des ergothérapeutes ne sont pas séparés			Principales barrières : manque de fond, de preuves, d’espace, de temps, de patients appropriés Facilitateurs : motivation des patients, connaissances de la part du MK Manque de connaissances sur cet outil mais envie d’en savoir plus présente chez les professionnels de santé		
	IF= 1.9	Recueil d’avis sur la RV chez des MK et ergothérapeutes via un questionnaire (ADOPT-VR2)								
Chang CJ et al.	2016	Etudier la réponse corticale de PA grâce à un EEG lors d’un déséquilibre avec la RV afin de voir les différences d’activation corticale entre des sujets avec un risque de chute plus ou moins élevé			Les relations d’activation corticale semblent être moins efficaces pour des personnes ayant un risque de chute plus élevé			Différentes zones du cortex sont mises en évidence dans l’adaptation posturale Rééducation permet de solliciter à nouveau l’activation corticale		

Frontiers in Aging Neuroscience	IF= 4.72	Plateforme de force (Stewart platform) + RV (Virtools Dev 4.0) + visiocasque (HMZ-T3W,SONY,Tokyo, Japan)	31 PA : 15/16 70 ans Indépendantes	1 essai	RV	Bus passant sur des nids-de-poules	EEG : activité cérébrale	Pendant	Non	Evaluatif
Robert MT et al. Gait & Posture	2016 IF= 2.84	Etudier l'impact d'un environnement virtuel diffusé par un visiocasque sur l'équilibres statique et dynamique			Pas de différence entre l'environnement virtuel et réel pour l'équilibre statique mais l'équilibre dynamique a été plus perturbé dans l'environnement virtuel			Visiocasque à utiliser avec précaution car peut provoquer des perturbations de l'équilibre potentiellement liées aux conflits des entrées sensorielles visuelles et vestibulaires		
		Visiocasque (Oculus Rift DK2 HMD) (Oculus VR, USA)	14 adultes 26 ans Indépendants	1 essai	RV versus RC	Environnement virtuel similaire à la réalité	CDP sur plateforme de force en condition statique et lors du test BBS	Pendant	Non	Evaluatif
Michnik R et al. Acta of Bioengineering and Biomechanics	2016 IF= 1.02	Evaluer l'impact de perturbations visuelles induites par la RV sur les valeurs stabilométriques de l'équilibre			Les perturbations visuelles créées par l'environnement de RV provoquent des incidences sur les paramètres stabilométriques surtout dans un environnement fermé comparé à un environnement ouvert			Plus la fréquence des perturbations visuelles est grande plus les résultats stabilométriques semblent perturbés, surtout dans un environnement fermé		
		Système CAVE avec logiciel Quazar3D + lunette 3D	24 adultes 20-28 ans Indépendants	Essai de 30s	RV	Environnement fermé / ouvert lors d'un tremblement de terre	Mesure du CDP sur plateforme de force (Zebris platform)	Avant/Pendant	Non	Evaluatif

Donath L et al. Sports Medicine	2016 IF= 5.86	Comparer les effets de la RV sur le risque de chute via l'équilibre et la mobilité fonctionnelle versus une RC et versus aucune rééducation			RV largement supérieure à l'absence de rééducation RC légèrement supérieur à la RV			RV < RC mais apporte un plus sur la motivation et l'adhésion du patient dans sa rééducation		
	Revue systématique (18 études incluses) : VR vs RC et versus aucune rééducation									
Park J et al. The Tohoku Journal of Experimental Medecine	2016 IF= 1.41	Etudier si un programme de RV peut influencer sur la cognition, la force et le CP de PA			Le groupe expérimental a eu significativement plus d'améliorations concernant les fonctions cognitives, la force musculaire et l'équilibres debout et assis par rapport au groupe contrôle Mais RV a provoqué parfois des étourdissements			Biais pour le groupe contrôle qui a moins de rééducation que le groupe expérimental car les séances de RV ne sont pas remplacées par de la RC RV paraît potentialiser la RC		
	Kayak avec un programme de RV en 3D sur un écran	72 PA : 36/36 74 ans Indépendantes	2x/sem 30 min de RC ± 20 min de RV 6 sem	RC versus RV+RC (equilibre stat/dyn)	Kayak	MoCA ACT Force de préhension CDP sur plateforme Good Balance System	Avant/Après	Non	Curatif	
Skjæret N et al. International Journal of Medical Informatics	2016 IF= 2.93	Fournir une vue d'ensemble sur différentes technologies existantes, sur leurs effets sur les fonctions physiques et sur leurs effets indésirables			RV = RC ou légère supériorité de la RV			Beaucoup de technologies différentes mais les jeux vidéo restent les plus utilisés Posologie très différentes selon les études, peu d'effets indésirables, bonne adhésion et permet d'avoir une alternative à la RC		
	Revue de littérature : liste des appareils de RV utilisés									
Bourrelrier J et al.	2016	Etudier l'impact d'un environnement virtuel sur des PA avec et sans troubles cognitifs légers			Trois points qualitatifs : -relation avec les nouvelles technologies : peu avaient déjà utilisés les nouvelles technologies			RV : tâche implicite préférée par rapport à une tâche explicite		

IRBM	IF=1.06				dans le cadre d'un jeu -sentiments d'utilisation : bonne perception, sauf parfois des couleurs -compréhension des jeux implicites plus aisée par rapport à des jeux explicites, même si présence du MK motivante			Lunette 3D : moins pratique si déjà port de lunettes		
		Système CAVE +lunette 3D	22 PA : 15/75 ans	1 essai en cross-over RV/RC	RV versus RC (exercices similaires dans les deux cas)	Cueillir des pommes sur place ou avec des déplacements	Interview	Après	Non	Evaluatif
Fu AS et al. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation	2015 IF=3.58	Utilisation de la plateforme Wii Fit™ pour diminuer le risque de chute et ses conséquences chez une PA à risque de chute			Les deux groupes ont des améliorations significatives mais le groupe RV a des plus grandes améliorations			Exercices en RC différents par rapport aux séances de RV Question du maintien des résultats dans le temps		
		Wii Fit™	60 PA 30/30 82 ans Maison de retraite	3x/sem 1 h 6 sem	RV versus RC (renforcement musculaire, équilibre stat/dyn)	3 jeux : Soccer heading Table tilt Balance bubble	Risque de chute : Short-form PPA Nombre de chutes : report via le staff	Avant/Après	Pendant 12 mois	Curatif
Chiarovano E et al.	2015	Mesure des paramètres d'équilibre postural avec une plateforme de force Wii Fit™ lors d'un jeu diffusé par visiocasque			Wii™ /Wii™+mousse YO/YF : pas de différences significatives Comparaison tests Equitest et Wii™ : pas de différences significatives Wii™/Wii™+ mousse/distracteur visuel : chutes augmentent avec l'augmentation des perturbations et encore plus si Wii™ + mousse			Test avec la RV équivalent à l'Equitest Beaucoup de variables étudiées en même temps dans l'étude 161 sujets puis après seulement 27 puis 9		

Frontiers in Neurology	IF= 3.27	Visiocasque (Oculus Rift DK2) + Wii™	161 PA : 161/27/9 57 ans Indépendantes	1 essai	RV	Scène maison, jardin, ciel, mer Points qui défilent	Mesure CDP avec la Wii™ ± mousse Equitest	Pendant	Non	Evaluatif
Griswold D et al. Disability and Rehabilitation	2015	Etudier si l'outil de RV est valable pour évaluer les capacités physiques des PA			Les résultats semblent similaires entre l'évaluation en RV et en RC			Intérêt de la RV dans l'évaluation de l'équilibre des PA : plus standardisés et précis inter et intra examinateurs		
	IF= 1.03	Capture de mouvements : OmniVR Virtual Rehabilitation System	40 PA 68 ans Indépendantes	1 essai	RV versus RC	Tests demandés	5xSTS TUG FFR 30s-stand-test	Pendant	Non	Evaluatif
Eggenberger P et al. Clinical Interventions in Aging	2015	Regarder si des exercices physiques associés à des stimulations cognitives peuvent améliorer les capacités cognitives des PA			Une augmentation dans les 3 groupes est trouvée mais le groupe RV aurait eu la plus grande amélioration Résultats semblent se maintenir dans le temps Plus d'adhésion dans les deux groupes qui avaient une tâche cognitive en supplément de la tâche physique			La RV augmente les fonctions exécutives en couplant tâches cognitive et physique, donc possibilité d'améliorer le risque de chute puisque les doubles tâches sont mieux gérées Importance du maintien des effets à long terme		
	IF= 2.04	Plateforme Dance (Positive Gaming BV, Haarlem, the Netherlands)	75 PA : 25/25/25 78 ans Indépendantes	2x/sem 1h 6 mois	RV + RC (tapis+tâche cognitive) versus RC (tapis) versus RC (renforcement, équilibre)	Jeu de danse	Fonctions cognitives et exécutives Adhésion : PACES	Avant/Milieu/ Après	12 mois après	Curatif

Eggenberger P et al. Clinical Interventions in Aging	2015	Même protocole que l'article précédent			Amélioration dans les 3 groupes de l'endurance et du CP mais difficulté de maintien des résultats à long terme			Intérêt de l'association d'une stimulation cognitive en plus d'exercices physiques		
	IF= 2.04	Plateforme Dance (Positive Gaming BV, Haarlem, the Netherlands)	75 PA : 25/25/25 78 ans Indépendantes	2x/sem 1h 6 mois	RV + RC (tapis+tâche cognitive) versus RC (tapis) versus RC (renforcement, équilibre)	Jeu de danse	Paramètres de marche Endurance : TDM6 Equilibre : SPPB Nombre de chutes Peur de chuter : FES-I Dépression : GDS	Avant/Milieu/ Après	12 mois après	Curatif
Park EC et al. Journal of Physical Therapy Science	2015	Comparer les effets d'exercices avec ballon en RV sur les paramètres de marche et l'équilibre d'une PA			Les deux groupes ont eu une augmentation de la longueur du pas, une diminution du balancement du CDP et du TUG. Mais les résultats semblent meilleurs avec la RV			RV a un bon apport en rééducation grâce aux différents feedbacks		
	IF= 1.98	Wii Fit™	30 PA : 15/15 65 ans Indépendantes	3x/sem 30 min 8 sem	RV versus RC (exercices sur ballon)	3 jeux : Soccer Heading Ski slalom Table tilt	Vitesse et aire du CDP (sur plateforme de force BioRescue) TUG	Avant/Après	Non	Curatif
Franz JR et al.	2015	Montrer l'importance d'un biofeedback visuel dans le maintien de l'équilibre pendant la marche chez des PA			Un plus grand déséquilibre est trouvé chez les PA lorsque l'entrée sensorielle est perturbée. Cela souligne l'importance de l'entrée sensorielle visuelle avec l'âge, dans le maintien de l'équilibre dynamique			Importance de diagnostiquer précocement les déficits sensoriels Utilisation potentielle de la RV dans l'évaluation des entrées sensorielles		

Human Movement Science	IF= 1.39	Tapis de marche + RV (capture de mouvements)	12 sujets jeunes : 24 ans 11 sujets âgés : 71 ans Indépendants	1 essai	RV	Marche dans un couloir avec ou sans déviation médio-latéral	Cinématique de marche enregistrée via capture de mouvements	Pendant	Non	Curatif
Wüest S et al. Games for Health Journal	2014	Etudier les effets de la RV sur les paramètres de marche et l'équilibre chez des PA			L'équilibre s'est amélioré significativement mais les parties dynamiques des tests ont montré peu d'amélioration			RV bien acceptée par les PA Importance de pouvoir adapter le niveau de difficulté de l'appareil de RV		
	IF= 1.9	Jeux + plateforme de force Tymo plate de Tyromotion (Graz, Austria)	16 PA 76 ans Indépendantes	3x/sem 30 min 12 sem	RV	5 jeux différents	Adhésion Acceptabilité : TAM BBS 7mTUG SPPB Paramètres de marche (avec plateforme)	Avant/Après	Non	Curatif
Bloch F et al. Annals of Physical and Rehabilitation Medicine	2014	Montrer que la RV peut être utile dans la rééducation post-traumatique, notamment en post-chute chez une PA			Hypothèse : l'autonomie fonctionnelle et motrice seront nettement améliorées dans le groupe RV par rapport au groupe contrôle Résultats à paraître					
	IF= 1.65	Essaient de déterminer un protocole à mettre en place pour traiter le syndrome post-chute avec la RV								
Shema SR et al.	2014	Etudier les effets de rééducation sur tapis de marche avec RV sur les paramètres de marche et la mobilité de PA			L'équilibre et l'endurance des PA semblent s'être améliorées avec la RV			Question du maintien des résultats sur le long terme ?		

Journal of the American Physical Therapy Association	IF= 2.60	Tapis de marche + RV (capture de mouvements)	60 PA 72 ans Indépendantes	3x/sem 1h 5 sem	RV	Eviter les obstacles lors d'une marche en extérieur	TUG TDM2 FSST (risque de chute)	Avant/Après	Non	Curatif
Ferrari M et al. Brain Topography	2014	Etudier l'activation du cortex préfrontal lors d'une tâche d'équilibration dans un environnement semi virtuel			Oxyhémoglobine augmente et désoxyhémoglobine diminue lors de l'exercice Retour à la normale presque immédiatement après l'arrêt de la tâche			Nécessité d'un système circulatoire efficace pour une bonne oxygénation corticale		
	IF= 3.62	Capture de mouvements (DepthSense™ 311, Softkinetic™, Belgium)	22 adultes 22 ans Indépendantes	1 essai	RV	Exercice de maintien d'équilibre	Spectrophotométrie par infra-rouge : eight-channel fNIRS system (NIRO-200, Hamamatsu Photonics, Japan)	Pendant	Non	Evaluatif
Gschwind YJ et al. BMC Geriatrics	2014	Evaluer si la conception d'un programme basé sur les nouvelles technologies serait faisable et acceptable afin de créer un programme personnalisé à domicile pour prévenir le risque de chute			(Résultats parus dans une seconde étude) Le programme de rééducation mis en place semble diminuer les risques de chute, l'équilibre postural, le temps de réaction, les fonctions exécutives et la qualité de vie L'adhésion a été meilleure dans le groupe test Peu de participants ont réalisé les 180 minutes/semaine recommandées			Potentiel intérêt de développer un tel programme à domicile en prévention des chutes qui serait adapté à chacun Difficulté à suivre les recommandations en matière d'activité physique		
	IF= 2.93	Kinect™ reliée au logiciel IStoppFalls	160 PA 80/80 75 ans Indépendantes	180 min/se m 16 sem	RV versus aucune rééducation	3 jeux d'équilibre : Bumble Bee Park Hills & Skill, Balance Bistro + jeu de	PPA SPPB TUG Vitesse de marche Force de préhension Questionnaires	Avant/Milieu/ Après	6 mois après	Préventif + Curatif

						renforcement musculaire	(SUS, PACES, DART, cognitif...)			
Pietrzak E et al. Journal of Geriatric Physical Therapy	2014 IF= 1.38	Revue de littérature sur la prévention des chutes via les jeux vidéo issus du commerce	La plupart des études estiment que la rééducation via les jeux vidéo en RV est faisable avec des effets positifs sur l'équilibre et les paramètres de marche			Effets positifs de la RV mais il reste à déterminer la posologie en rééducation devant l'hétérogénéité des protocoles présent dans la littérature Préférence de la RV comparée à la RC remise en cause				
		Revue de littérature : étudier l'impact de la RV sur la prévention des chutes chez des PA indépendantes								
Laufer Y et al. Clinical Interventions in Aging	2014 IF= 2.04	Revue systématique des études analysant l'impact de la Wii™ sur l'équilibre et les capacités fonctionnelles chez des PA indépendantes	7 études retenues Wii™ > absence de rééducation Wii™ à peu près égale à RC			Impossible pour le moment d'établir des normes sur des protocoles à réaliser devant l'hétérogénéité des études				
		Revue de littérature : étudier l'impact de la Wii™ sur l'équilibre et les performances fonctionnelles de PA indépendantes								
Molina KI et al. Journal of Neuroengineering and Rehabilitation	2014 IF= 4.68	Etudier l'apport de la RV dans l'amélioration des capacités physiques fonctionnelles chez les PA	Effets de la RV sur les capacités physiques fonctionnelles encore difficile à déterminer, d'autant plus devant l'hétérogénéité méthodologique Le seul consensus est l'impact motivationnel			Difficile de tirer des conclusions ou des recommandations car trop d'hétérogénéité Aspect motivationnel fort				
		Revue de littérature : investiguer la littérature sur les effets de différents appareils de RV sur les performances fonctionnelles de PA								
F.Bloch et al. European Geriatric Medicine	2013 IF= 1.32	Etudier l'efficacité d'une thérapie par RV pour éviter les troubles liés au stress post-traumatique	RV semble être pertinente dans le cadre d'un stress post-traumatique notamment sur le plan psychologique			Intérêt de la RV pour redonner confiance à la PA et empêcher les inhibitions motrices qui peuvent être liés au stress				
		Revue de littérature : étudier les effets de la RV dans la rééducation d'un syndrome post-chute								

Giggins OM et al. Journal of Neuroengineering and Rehabilitation	2013	Recenser les différents feedbacks utilisés actuellement en rééducation			Concernant les feedback en rééducation musculo-squelettique : -capteurs de mouvements -plateformes de force -électro-goniométrie -feedbacks de pression -systèmes avec caméras -feedback de RV			Feedbacks de RV utilisés de plus en plus en rééducation : possibilité d'utiliser différents feedbacks en même temps (auditifs, visuels, vibratoires, tactiles...)		
	IF= 5.10	Revue de littérature : recensement des différents biofeedbacks utilisés en rééducation								
Singh DKA et al. Climacteric	2013	Comparer une intervention de RV à une intervention de RC sur l'équilibre de PA			Pas de différences significatives entre les deux groupes : amélioration dans les deux cas pour le TST, le balancement postural et le TUG			RV peut être un complément à la rééducation RV peut être utilisée en programme préventif de rééducation à domicile		
	IF= 2.09	Wii Fit™	36 PA femmes 18/18 60 ans Indépendantes	2x/sem 40 min 6 sem	RV Versus RC (5 exercices équilibre stat/dyn)	Jeux utilisés : Ski Slalom Table Tilt Penguin Slide Soccer Heading Tight Rope Walk Perfect 10 Tilt City	TST OPI TUG	Avant/Après	Non	Curatif
Duque G et al.	2013	Etudier la rééducation de l'équilibre via la RV chez des PA			BRU a augmenté l'équilibre (diminution du balancement postural), la peur de tomber mais certaines améliorations ne sont pas maintenues sur la durée L'évaluation de 9 mois montre que dans les 2 groupes, la même proportion suit les recommandations données au début de l'étude			Le groupe contrôle n'a pas de protocole particulier: biais RV a montré des effets positifs mais nous n'avons pas de données comparatives à la RC		

Clinical Interventions in Aging	IF= 2.04	Balance Rehabilitation Unit (BRU)	60 PA 30/30 78 ans Indépendantes	2x/sem 30 min 6 sem	RV Versus RC (prévention des chutes selon Otago)	Jeux avec stimuli visuels/vestibulaires, labyrinthes, couleurs	LDS/CDP avec BRU Nombre de chutes Peur de chuter Paramètres de marche Force de préhension Analyse sanguine	Avant/Après	9 mois après	Curatif
Jungjin Kim PT et al. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation	2013	Etudier l'apport d'un programme de RV sans supervision sur la force des muscles de la hanche, et du contrôle de l'équilibre chez des PA			L'amélioration est significative dans le groupe RV mais pas dans le groupe contrôle			Possibilité de réaliser de la RV sans supervision si l'appareil propose un feedback complet Intérêt en rééducation à domicile		
	IF= 3.19	Kinect™ couplée à la Xbox	32 PA : 18/14 68 ans Indépendantes	3x/sem 1 h 8 sem	RV versus Aucune Rééducation	Jeux vidéo Xbox 360 : Your Shape: Fitness Evolved	Force musculaire : dynamomètre Backward/Crossover stepping test sur plateforme force	Avant/Après	Non	Curatif
<u>Les 6 articles en plus de la méthodologie de recherche initiale :</u>										
J Lim et al.	2017	Comparaison d'un programme de rééducation avec des exercices complexes en RV versus une rééducation avec des exercices simples en RV sur la prévention des chutes chez la PA			Force musculaire : amélioration significative uniquement de l'extension de genou dans le groupe complexe sinon pour les autres muscles, aucun changement dans les 2 groupes TUG : les 2 groupes ont une amélioration significative mais le groupe complexe un peu plus			Dans le but de prévenir les chutes, la RV peut inclure des exercices de renforcement musculaire en plus d'exercices d'équilibre		

European Journal of Integrative Medicine	IF = 0.49	Wii Fit Plus™	20 PA : 10/10 78 ans Maison de retraite	2x/sem 1h 5 sem	RV (exercices complexes) versus RV (exercices simples)	Ski slalom/jump Table Tilt Balance bubble Perfect 10 10 breathing half moon rowing squats basic run/step	Force musculaire : isoncinétisme Biodex TUG	Avant/Après	Non	Curatif
Prata MG et al. Journal of Bodywork & Movement Therapies	2015 IF= 0.86	Evaluer les effets d’une rééducation par RV et renforcement musculaire sur l’équilibre, la peur de chuter et la force de préhension chez des femmes âgées			Amélioration de la mobilité et de la peur de chuter Pas de différence sur la force de préhension.			Intérêt de la RV sur la peur de chuter, qui est importante à prendre en compte en rééducation		
		Wii Fit™	11 PA femmes 72 ans Indépendantes	2x/sem 1h 12 sem	RV + RC (renforcement musculaire)	3 jeux : Table Tilt Tightrope Penguin Slide	Peur de chuter : FES TUG Force de préhension	Avant/Après	Non	Curatif
Glegg SMN et al. Disability and Rehabilitation	2014 IF= 0.71	Evaluer les effets de la RV avec les appareils de la gamme Gesture Tek en rééducation			Effets principaux observés sur l’équilibre, la mobilité, les fonctions du membre supérieur, les fonctions cognitives et les activités quotidiennes Peu étudiés sur des populations gériatriques			Les appareils semblent efficaces sur l’équilibre Ils sont conçu pour des situations de soins (contrairement aux jeux vidéo commerciaux) Il reste à les développer en gériatrie		
		Revue de littérature : utilisation des appareils de la gamme GestureTek sur l’équilibre								
Cho GH et al.	2014	Déterminer les effets d’une rééducation via RV sur l’équilibre des PA			Amélioration significative du test de Romberg dans le groupe RV mais pas dans le groupe contrôle			RV améliore l’équilibre et donc le risque de chute Question du maintien à long terme de ces résultats		

Journal of Physical Therapy Science	IF=0.58	Wii Fit™	32 PA : 17/15 72 ans Indépendantes	3x/sem 30 min 8 sem	RV versus Aucune rééducation	3 jeux : ski slalom table tile balance bubble	Romberg CDP sur plateforme BioRescue	Avant/Après	Non	Curatif
Hsieh WM et al. Technology and Health Care	2014 IF=0.56	Etudier la RV dans l'évaluation et la rééducation des PA			Pour le groupe test il n'y a pas eu de changement de la SpO2 TUG et BBS ont augmenté dans les 2 groupes			La RV améliore l'équilibre et la prévention des chutes Beaucoup de biais : peu nombreux, pas de description du groupe contrôle et des jeux utilisés en RV		
		Kinect™ reliée au logiciel Unity3D	8 PA : 4/4 63 ans Indépendantes	5x/sem 30 min 6 sem	RV versus Aucune rééducation	-	SpO2 BPM BBS TUG	Avant/Pendant/ Après	Non	Curatif
A Kubicki et al. Clinical Neurophysiology	2014 IF=0.10	Investiguer les effets d'une rééducation via un programme de RV avec des mouvements des MS sur le contrôle postural des PA			Amélioration des mouvements du MS et du déplacement du CDP surtout dans leur composante anticipatoire			Possibilité de réapprendre des réactions anticipatoires chez la PA grâce à la RV en utilisant des gestes acquis comme l'élévation du MS par exemple		
		Capture de mouvements (Fovea Interactive)	46 PA : 23/23 80 ans Hospitalisées	3x/sem de RC ± 6 séances de RV 3 sem	RV Versus RV + RC	-	Cinématique de la main CDP sur plateforme de force	Avant/Pendant/ Après	Non	Curatif

Annexe VI : « Tableau synthèse des résultats »

[illegible]

	HMZ-T3W	-	-	-	-	-	-	✓	-	✓	-	-
CAVE	Positive Bike	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	-
	CAVE + Quazar3D	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	-
	CAVE + kayak	✓	-	-	-	✓	✓	-	-	-	-	-
	CAVE + Nvidia 3D Vision Pro	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	-
Tapis de marche + RV	Tapis de marche + capture de mouvements	-	✓	-	✓	-	-	-	-	✓	✓	-

Légende :

✓ = efficace

× = pas efficace

- = pas investigué

✓/× = efficace pour certaines études, pas efficace pour d'autres

? = résultats à paraître

BIBLIOGRAPHIE

1. Fiches – Population – France, portrait social [Internet]. 2018 [cité 11 déc 2018]. Disponible sur: <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3646124?sommaire=3646226>
2. Population par âge – Tableaux de l'Économie Française | Insee [Internet]. [cité 11 déc 2018]. Disponible sur: <https://www.insee.fr/fr/statistiques/1906664?sommaire=1906743>
3. OMS | Vieillesse de la population [Internet]. [cité 11 déc 2018]. Disponible sur: <https://www.who.int/features/qa/72/fr/>
4. Mourey F. Rééducation gériatrique : Naissance difficile mais avenir assuré. *Kinésithérapie, la Revue*. 2010;10(100):65-7.
5. Les chutes [Internet]. [cité 11 déc 2018]. Disponible sur: <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/falls>
6. INPES - Accidents de la vie courante : Chutes [Internet]. [cité 11 déc 2018]. Disponible sur: <http://inpes.santepubliquefrance.fr/10000/themes/accidents/chutes.asp>
7. Lin HW, Bhattacharyya N. Balance disorders in the elderly: Epidemiology and functional impact. *The Laryngoscope*. 1 août 2012;122(8):1858-61.
8. Eibling D. Balance Disorders in Older Adults. *Clin Geriatr Med*. 1 mai 2018;34(2):175-81.
9. AGS/BGS Clinical Practice Guideline: Prevention of Falls in Older Persons - British Geriatrics Society [Internet]. [cité 7 mai 2018]. Disponible sur: <http://www.bgs.org.uk/fallsresources-307/subjectreference/fallsandbones/bgsagsfalls2010>
10. Cohen J, Mourey F. Rééducation en gériatrie. Paris: Lavoisier; 2014.
11. Mesure S. Posture et équilibre : de la sensorialité à la motricité, tout un processus d'intégration corticale. *Kinésithérapie Sci*. 2018;(596):15-24.
12. Ostéoporose [Internet]. Inserm. [cité 7 mai 2018]. Disponible sur: <https://www.inserm.fr/information-en-sante/dossiers-information/osteoporose>
13. Arthrose [Internet]. Inserm. [cité 7 mai 2018]. Disponible sur: <https://www.inserm.fr/information-en-sante/dossiers-information/arthrose>
14. Cruz-Jentoft AJ, Baeyens JP, Bauer JM, Boirie Y, Cederholm T, Landi F, et al. Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis: Report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. *Age Ageing*. juill 2010;39(4):412-23.
15. Mourey F. Masso-Kinéithérapie du pied du sujet âgé. *Kinésithérapie Sci*. 2012;531:54-8.
16. Haute Autorité de Santé - Le pied de la personne âgée : approche médicale et prise en charge de pédicurie-podologie [Internet]. [cité 9 mai 2018]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/portail/jcms/c_272462/fr/le-pied-de-la-personne-agee-proche-medicale-et-prise-en-charge-de-pedicurie-podologie
17. Bugnariu N, Fung J. Aging and selective sensorimotor strategies in the regulation of upright balance. *J NeuroEngineering Rehabil*. 20 juin 2007;4:19.
18. Haute Autorité de Santé - Évaluation et prise en charge des personnes âgées faisant des chutes répétées [Internet]. [cité 9 mai 2018]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/portail/jcms/c_272462/fr/le-pied-de-la-personne-agee-proche-medicale-et-prise-en-charge-de-pedicurie-podologie

sante.fr/portail/jcms/c_793371/fr/evaluation-et-prise-en-charge-des-personnes-agees-faisant-des-chutes-repetees

19. Haute Autorité de Santé - Limiter la perte d'autonomie des personnes âgées hospitalisées [Internet]. [cité 9 mai 2018]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/portail/jcms/c_2801383/fr/limiter-la-perte-d-autonomie-des-personnes-agees-hospitalisees
20. Haute Autorité de Santé - Prévenir la dépendance iatrogène liée à l'hospitalisation chez les personnes âgées [Internet]. [cité 13 déc 2018]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/portail/jcms/c_2801190/fr/prevenir-la-dependance-iatrogene-liee-a-l-hospitalisation-chez-les-personnes-agees
21. Mourey F. Évaluation clinique de l'équilibre chez le sujet âgé: Clinical assessment of balance in the elderly subject. *Kinésithérapie Rev.* 1 juill 2010;10(103):18-22.
22. Haute Autorité de Santé - Masso-kinésithérapie dans la conservation des capacités motrices de la personne âgée fragile à domicile [Internet]. [cité 18 déc 2018]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/portail/jcms/c_272431/fr/masso-kinesitherapie-dans-la-conservation-des-capacites-motrices-de-la-personne-agee-fragile-a-domicile
23. de Waroquier-Leroy L, Bleuse S, Serafi R, Watelain E, Pardessus V, Tiffreau A-V, et al. The Functional Reach Test: Strategies, performance and the influence of age. *Ann Phys Rehabil Med.* 1 août 2014;57(6):452-64.
24. Mourey F. Marche et double tâche : quelles applications en rééducation gériatrique ? *Kinésithérapie Sci.* 2013;547:83-4.
25. Beauchet O, Annweiler C, Dubost V, Allali G, Kressig RW, Bridenbaugh S, et al. Stops walking when talking: a predictor of falls in older adults? *Eur J Neurol.* 1 juill 2009;16(7):786-95.
26. Mourey F, Kubicki A. Évaluation et rééducation des automatismes posturaux chez les personnes âgées. *Kinésithérapie Sci.* 2012;535:47-9.
27. Vaillant J, Pradels A, Vuillerme N. Améliorer le contrôle de la posture debout : actions à partir du pied (3eme partie). *Kinésithérapie Sci.* 2011;517:53-4.
28. Vaillant J, Pradels A, Vuillerme N. Améliorer le contrôle de la posture debout : actions à partir du pied (4eme partie). *Kinésithérapie Sci.* 2011;518:51-3.
29. Chevutschi A, D'Houwt J, Pardessus V, Thevenon A. Immediate Effects of Talocrural and Subtalar Joint Mobilization on Balance in the Elderly. *Physiother Res Int.* 1 mars 2015;20(1):1-8.
30. Paul SS, Canning CG. Five-repetition sit-to-stand. *J Physiother.* 1 sept 2014;60(3):168.
31. King GW, Abreu EL, Cheng A-L, Chertoff KK, Brotto L, Kelly PJ, et al. A multimodal assessment of balance in elderly and young adults. *Oncotarget.* 26 févr 2016;7(12):13297-306.

32. Howcroft J, Lemaire ED, Kofman J, McIlroy WE. Elderly fall risk prediction using static posturography. PLoS ONE [Internet]. 21 févr 2017 [cité 11 mai 2018];12(2). Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5319679/>
33. Brika M, Mourey F, Kubicki A. L'évaluation systémique au service du diagnostic physiothérapique en gériatrie. Kinésithérapie Rev. 1 févr 2018;18(194):23.
34. Horak FB, Wrisley DM, Frank J. The Balance Evaluation Systems Test (BESTest) to Differentiate Balance Deficits. Phys Ther. mai 2009;89(5):484-98.
35. Kubicki A, Mourey F. EquiMoG : proposition d'un outil pour l'évaluation de la fonction d'équilibration en rééducation gériatrique. Kinésithérapie Rev. 1 févr 2012;12(122):40-8.
36. Haute Autorité de Santé - Prévention des chutes accidentelles chez la personne âgée [Internet]. [cité 12 mai 2018]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/portail/jcms/c_272503/fr/prevention-des-chutes-accidentelles-chez-la-personne-agee
37. Direction de l'hospitalisation et de l'organisation des soins [Internet]. Circulaire DHOS/02 no 2007-117 mars 28, 2007. Disponible sur: <https://solidarites-sante.gouv.fr/fichiers/bo/2007/07-04/a0040058.htm>
38. Famuła A, Nowotny-Czupryna O, Czupryna K, Nowotny J. PREVIOUS PHYSICAL ACTIVITY AND BODY BALANCE IN ELDERLY PEOPLE. Biol Sport. déc 2013;30(4):311-5.
39. Haute Autorité de Santé - Améliorer la prise en charge des personnes âgées polypathologiques [Internet]. [cité 9 mai 2018]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/portail/jcms/c_2037157/fr/ameliorer-la-prise-en-charge-des-personnes-agees-polypathologiques
40. Ghai S, Ghai I, Effenberg A. Effects of dual tasks and dual-task training on postural stability: a systematic review and meta-analysis. Clin Interv Aging. 2017;(12):557-77.
41. Hall CD, Heusel-Gillig L. Balance rehabilitation and dual-task ability in older adults. J Clin Gerontol Geriatr. 1 sept 2010;1(1):22-6.
42. Dargent C, Vaysse G. Intérêts et limites d'un atelier d'équilibre en gériatrie. Kinésithérapie Sci. 2012;(532):11-7.
43. Yahia A, Mallek A, Elleuch W, Ghroubi S, Elleuch MH. Intérêt de la rééducation par biofeedback visuel chez les sujets âgés chuteurs. J Réadapt Médicale Prat Form En Médecine Phys Réadapt. 1 déc 2013;33(4):115-21.
44. Alhasan H, Hood V, Mainwaring F. The effect of visual biofeedback on balance in elderly population: a systematic review. Clin Interv Aging. 6 mars 2017;12:487-97.
45. Julia M, Hirt D, Perrey S, Barsi S, Dupeyron A. La proprioception. Sauramps medical. Montpellier; 2012. 246 p.
46. Lacour M. Rééducation de la fonction d'équilibration : principes fondamentaux et orientations pratiques. Datatraitesspg027-70292 [Internet]. 6 avr 2017 [cité 19 mai 2018]; Disponible sur: <https://www.elsevier.fr/article/1109655>

47. Holt KR, Haavik H, Elley CR. The Effects of Manual Therapy on Balance and Falls: A Systematic Review. *J Manipulative Physiol Ther.* 1 mars 2012;35(3):227-34.
48. Vaillant J, et al. Implication du rachis cervical dans le contrôle de la posture : des évidences expérimentales aux conséquences pratiques. 2006;(467):29-39.
49. Weissland T, Beurey L, Corbillon S, Zerouali J, Dirson L. Séances d'équilibration en balnéothérapie. 2011;(517):55-9.
50. Fourneau M. Reprogrammation sensorimotrice et équilibre. *Kinésithérapie Rev.* 1 août 2012;12(128):61-7.
51. Aruin AS, Kanekar N, Lee Y-J, Ganesan M. Enhancement of anticipatory postural adjustments in older adults as a result of a single session of ball throwing exercise. *Exp Brain Res.* 1 févr 2015;233(2):649-55.
52. Khanuja K, Joki J, Bachmann G, Cuccurullo S. Gait and balance in the aging population: Fall prevention using innovation and technology. *Maturitas.* 1 avr 2018;110:51-6.
53. Skjæret N, Nawaz A, Morat T, Schoene D, Helbostad JL, Vereijken B. Exercise and rehabilitation delivered through exergames in older adults: An integrative review of technologies, safety and efficacy. *Int J Med Inf.* janv 2016;85(1):1-16.
54. Fuchs P, Moreau G, et collectif d'auteurs. Le traité de la réalité virtuelle, volume 1 : Fondements et interfaces comportementales. Presses de l'Ecole des Mines. 2003. 550 p. (Science mathématiques et informatique).
55. Fuchs P. Les casques de réalité virtuelle et de jeux vidéo. Transvalor-Presses des mines. Paris; 2016. 244 p. (Mathématiques et informatique).
56. Fuchs P. Théorie de la réalité virtuelle - Les véritables usage. Transvalor-Presses des mines. Paris; 2018. 368 p. (Mathématiques et informatique).
57. Gruet J-P. Réalité virtuelle : une nouvelle corde à votre arc. *Kiné Actual.* 8 juin 2017;(1492):44-53.
58. Piette P, Pasquier J. Réalité virtuelle et rééducation. *Kinésithérapie Rev.* 2012;(128-129):38-41.
59. Froger J, Péliissier J. Rééducation instrumentalisée après lésion cérébrovasculaire. Masson. Paris; 2008. 171 p.
60. Grosjean A, Fabbri E, Feldheim E, Snoeck T, Amand M, Keuterickx C, et al. Intérêt de l'utilisation d'une console de jeux de type Wii Fit™ sur la réduction des facteurs de risque de chute et l'amélioration de l'équilibre chez la personne âgée: On the use of the Wii Fit™ in reducing falling risk factors and improving balance for the elderly. *Kinésithérapie Rev.* 1 nov 2010;10(107):41-5.
61. Jamal K, Le Floch F, Gallien P. Intérêt de la Wii Fit™ dans la rééducation de l'équilibre debout: Interest of the Wii Fit™ in the upright balance rehabilitation. *Kinésithérapie Rev.* 1 sept 2011;11(117):42-6.

62. Zenati X, Saris J, Lachaux A-S, Clérambault A. Comment ne pas perdre pied : travailler l'équilibre avec la Wii !: How don't to get out of one's depth: to keep one's balance with the Wii! *Kinésithérapie Rev.* 1 juin 2011;11(114):33-40.
63. Péninou G, Colné P. *La Posture Debout: Biomecanique Fonctionnelle, de L'Analyse Au Diagnostic.* Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2018. 184 p.
64. Paillard thierry (Dir). *Postures et équilibration humaines.* De Boeck Supérieur. Paris; 2016. 276 ; 5-11. (Collection Posture, équilibre et mouvement).
65. Delafontaine A, Gagey P, Yelnik P, Soubeyrand P. *Locomotion humaine : marche, course.* Elsevier Masson. Paris; 2018. 352 ; 26-34.
66. de Vries AW, Faber G, Jonkers I, Van Dieen JH, Verschueren SMP. Virtual reality balance training for elderly: Similar skiing games elicit different challenges in balance training. *Gait Posture.* 2018;59:111-6.
67. Park E-C, Kim S-G, Lee C-W. The effects of virtual reality game exercise on balance and gait of the elderly. *J Phys Ther Sci.* avr 2015;27(4):1157-9.
68. Cho GH, Hwangbo G, Shin HS. The Effects of Virtual Reality-based Balance Training on Balance of the Elderly. *J Phys Ther Sci.* avr 2014;26(4):615-7.
69. Hwang J, Lee S. The effect of virtual reality program on the cognitive function and balance of the people with mild cognitive impairment. *J Phys Ther Sci.* août 2017;29(8):1283-6.
70. Duque G, Boersma D, Loza-Diaz G, Hassan S, Suarez H, Geisinger D, et al. Effects of balance training using a virtual-reality system in older fallers. *Clin Interv Aging.* 2013;8:257-63.
71. Wüest S, Borghese NA, Pirovano M, Mainetti R, van de Langenberg R, de Bruin ED. Usability and Effects of an Exergame-Based Balance Training Program. *Games Health J.* 1 avr 2014;3(2):106-14.
72. Laurence BD, Michel L. The Fall in Older Adults: Physical and Cognitive Problems. *Curr Aging Sci.* 2017;10(3):185-200.
73. Prasertsakul T, Kaimuk P, Chinjenpradit W, Limroongreungrat W, Charoensuk W. The effect of virtual reality-based balance training on motor learning and postural control in healthy adults: a randomized preliminary study. *Biomed Eng Online.* 18 sept 2018;17(1):124.
74. Kubicki A, Bonnetblanc F, Petrement G, Mourey F. Motor-prediction improvements after virtual rehabilitation in geriatrics: frail patients reveal different learning curves for movement and postural control. *Neurophysiol Clin Clin Neurophysiol.* janv 2014;44(1):109-18.
75. Saldana SJ, Marsh AP, Rejeski WJ, Haberl JK, Wu P, Rosenthal S, et al. Assessing balance through the use of a low-cost head-mounted display in older adults: a pilot study. *Clin Interv Aging.* 2017;12:1363-70.
76. Robert MT, Ballaz L, Lemay M. The effect of viewing a virtual environment through a head-mounted display on balance. *Gait Posture.* 2016;48:261-6.

77. Chiarovano E, de Waele C, MacDougall HG, Rogers SJ, Burgess AM, Curthoys IS. Maintaining Balance when Looking at a Virtual Reality Three-Dimensional Display of a Field of Moving Dots or at a Virtual Reality Scene. *Front Neurol.* 2015;6:164.
78. Michnik R, Jurkojc J, Wodarski P, Gzik M, Jochymczyk-Woźniak K, Bieniek A. The influence of frequency of visual disorders on stabilographic parameters. *Acta Bioeng Biomech.* 2016;18(1):25-33.
79. Park J, Yim J. A New Approach to Improve Cognition, Muscle Strength, and Postural Balance in Community-Dwelling Elderly with a 3-D Virtual Reality Kayak Program. *Tohoku J Exp Med.* 2016;238(1):1-8.
80. Seidler RD, Martin PE. The effects of short term balance training on the postural control of older adults. *Gait Posture.* 1 déc 1997;6(3):224-36.
81. Singh DKA, Rajaratnam BS, Palaniswamy V, Raman VP, Bong PS, Pearson H. Effects of balance-focused interactive games compared to therapeutic balance classes for older women. *Climacteric J Int Menopause Soc.* févr 2013;16(1):141-6.
82. Prata MG, Scheicher ME. Effects of strength and balance training on the mobility, fear of falling and grip strength of elderly female fallers. *J Bodyw Mov Ther.* oct 2015;19(4):646-50.
83. Lim J, Cho J-J, Kim J, Kim Y, Yoon B. Design of virtual reality training program for prevention of falling in the elderly: A pilot study on complex versus balance exercises. *Eur J Integr Med.* 1 oct 2017;15:64-7.
84. Delbroek T, Vermeylen W, Spildooren J. The effect of cognitive-motor dual task training with the biorescue force platform on cognition, balance and dual task performance in institutionalized older adults: a randomized controlled trial. *J Phys Ther Sci.* juill 2017;29(7):1137-43.
85. Eggenberger P, Theill N, Holenstein S, Schumacher V, de Bruin ED. Multicomponent physical exercise with simultaneous cognitive training to enhance dual-task walking of older adults: a secondary analysis of a 6-month randomized controlled trial with 1-year follow-up. *Clin Interv Aging.* 2015;10:1711-32.
86. Griswold D, Rockwell K, Killa C, Maurer M, Landgraff N, Learman K. Establishing the reliability and concurrent validity of physical performance tests using virtual reality equipment for community-dwelling healthy elders. *Disabil Rehabil.* 2015;37(12):1097-101.
87. Gschwind YJ, Eichberg S, Marston HR, Ejupi A, Rosario H de, Kroll M, et al. ICT-based system to predict and prevent falls (iStoppFalls): study protocol for an international multicenter randomized controlled trial. *BMC Geriatr.* 20 août 2014;14(1):91.
88. Sherrington C, Tiedemann A, Fairhall N, Close JCT, Lord SR. Exercise to prevent falls in older adults: an updated meta-analysis and best practice recommendations. *New South Wales Public Health Bull.* juin 2011;22(3-4):78-83.
89. Gschwind YJ, Eichberg S, Ejupi A, de Rosario H, Kroll M, Marston HR, et al. ICT-based system to predict and prevent falls (iStoppFalls): results from an international multicenter randomized controlled trial. *Eur Rev Aging Phys Act [Internet].* 27 nov 2015 [cité 6 nov 2018];12. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4748323/>

90. Hsieh W-M, Chen C-C, Wang S-C, Tan S-Y, Hwang Y-S, Chen S-C, et al. Virtual reality system based on Kinect for the elderly in fall prevention. *Technol Health Care Off J Eur Soc Eng Med*. 2014;22(1):27-36.
91. Bacha JMR, Gomes GCV, de Freitas TB, Viveiro LAP, da Silva KG, Bueno GC, et al. Effects of Kinect Adventures Games Versus Conventional Physical Therapy on Postural Control in Elderly People: A Randomized Controlled Trial. *Games Health J*. févr 2018;7(1):24-36.
92. Kim J, Son J, Ko N, Yoon B. Unsupervised virtual reality-based exercise program improves hip muscle strength and balance control in older adults: a pilot study. *Arch Phys Med Rehabil*. mai 2013;94(5):937-43.
93. Shema SR, Brozgol M, Dorfman M, Maidan I, Sharaby-Yeshayahu L, Malik-Kozuch H, et al. Clinical experience using a 5-week treadmill training program with virtual reality to enhance gait in an ambulatory physical therapy service. *Phys Ther*. sept 2014;94(9):1319-26.
94. Kizony R, Harel S, Weiss PL, Zeilig G, Feldman Y, Shani M. Virtual-reality based tele-neurorehabilitation: Balancing physical fidelity, challenge and immersion. *Ann Phys Rehabil Med*. 1 juill 2018;61:e484.
95. Franz JR, Francis CA, Allen MS, O'Connor SM, Thelen DG. Advanced age brings a greater reliance on visual feedback to maintain balance during walking. *Hum Mov Sci*. avr 2015;40:381-92.
96. Eggenberger P, Schumacher V, Angst M, Theill N, de Bruin ED. Does multicomponent physical exercise with simultaneous cognitive training boost cognitive performance in older adults? A 6-month randomized controlled trial with a 1-year follow-up. *Clin Interv Aging*. 2015;10:1335-49.
97. Chang C-J, Yang T-F, Yang S-W, Chern J-S. Cortical Modulation of Motor Control Biofeedback among the Elderly with High Fall Risk during a Posture Perturbation Task with Augmented Reality. *Front Aging Neurosci* [Internet]. 28 avr 2016 [cité 3 nov 2018];8. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4848299/>
98. Ferrari M, Bisconti S, Spezialetti M, Basso Moro S, Di Palo C, Placidi G, et al. Prefrontal cortex activated bilaterally by a tilt board balance task: a functional near-infrared spectroscopy study in a semi-immersive virtual reality environment. *Brain Topogr*. mai 2014;27(3):353-65.
99. Glännfjord F, Hemmingsson H, Larsson Ranada Å. Elderly people's perceptions of using Wii sports bowling - A qualitative study. *Scand J Occup Ther*. sept 2017;24(5):329-38.
100. Brooke J. SUS - A quick and dirty usability scale. *Usability Eval Ind*. 1996;(289):4-7.
101. Dockx K, Alcock L, Bekkers E, Ginis P, Reelick M, Pelosin E, et al. Fall-Prone Older People's Attitudes towards the Use of Virtual Reality Technology for Fall Prevention. *Gerontology*. 2017;63(6):590-8.
102. Pedrolì E, Greci L, Colombo D, Serino S, Cipresso P, Arlati S, et al. Characteristics, Usability, and Users Experience of a System Combining Cognitive and Physical Therapy in a Virtual Environment: Positive Bike. *Sensors*. 19 juill 2018;18(7).

103. Jackson SA, Marsh HW. Development and Validation of a Scale to Measure Optimal Experience: The Flow State Scale. *J Sport Exerc Psychol.* 1996;18:17-35.
104. Bourrelrier J, Ryard J, Dion M, Merienne F, Manckoundia P, Mourey F. Use of a Virtual Environment to Engage Motor and Postural Abilities in Elderly Subjects With and Without Mild Cognitive Impairment (MAAMI Project). *IRBM.* 1 avr 2016;37(2):75-80.
105. Levac D, Glegg S, Colquhoun H, Miller P, Noubary F. Virtual Reality and Active Videogame-Based Practice, Learning Needs, and Preferences: A Cross-Canada Survey of Physical Therapists and Occupational Therapists. *Games Health J.* août 2017;6(4):217-28.
106. Fu AS, Gao KL, Tung AK, Tsang WW, Kwan MM. Effectiveness of Exergaming Training in Reducing Risk and Incidence of Falls in Frail Older Adults With a History of Falls. *Arch Phys Med Rehabil.* déc 2015;96(12):2096-102.
107. Pietrzak E, Cotea C, Pullman S. Using commercial video games for falls prevention in older adults: the way for the future? *J Geriatr Phys Ther* 2001. déc 2014;37(4):166-77.
108. Bloch F, Rigaud A-S, Kemoun G. Virtual Reality Exposure Therapy in posttraumatic stress disorder: A brief review to open new opportunities for post-fall syndrome in elderly subjects. *Eur Geriatr Med.* 1 déc 2013;4(6):427-30.
109. Bloch F, Rouquette A, Rigaud AS, Kemoun G. Traitement du syndrome de stress post-traumatique par thérapies en réalité virtuelle : développement de nouvelles possibilités de rééducation du syndrome post-chute chez les sujets âgés. /data/revues/18770657/v57sS1/S187706571400342X/ [Internet]. 25 mai 2014 [cité 3 nov 2018]; Disponible sur: <http://www.em-consulte.com/en/article/897907>
110. Glegg SMN, Tatla SK, Holsti L. The GestureTek virtual reality system in rehabilitation: a scoping review. *Disabil Rehabil Assist Technol.* mars 2014;9(2):89-111.
111. Laufer Y, Dar G, Kodesh E. Does a Wii-based exercise program enhance balance control of independently functioning older adults? A systematic review. *Clin Interv Aging.* 2014;9:1803-13.
112. Donath L, Rössler R, Faude O. Effects of Virtual Reality Training (Exergaming) Compared to Alternative Exercise Training and Passive Control on Standing Balance and Functional Mobility in Healthy Community-Dwelling Seniors: A Meta-Analytical Review. *Sports Med Auckl NZ.* sept 2016;46(9):1293-309.
113. Neri SG, Cardoso JR, Cruz L, Lima RM, de Oliveira RJ, Iversen MD, et al. Do virtual reality games improve mobility skills and balance measurements in community-dwelling older adults? Systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil.* oct 2017;31(10):1292-304.
114. Molina KI, Ricci NA, de Moraes SA, Perracini MR. Virtual reality using games for improving physical functioning in older adults: a systematic review. *J Neuroengineering Rehabil.* 15 nov 2014;11:156.
115. Howard MC. A meta-analysis and systematic literature review of virtual reality rehabilitation programs. *Comput Hum Behav.* 1 mai 2017;70:317-27.

116. Giggins OM, Persson UM, Caulfield B. Biofeedback in rehabilitation. J Neuroengineering Rehabil. 18 juin 2013;10:60.

SOURCES IMAGES

Page de couverture :

<https://www.topsante.com/medecine/troubles-neurologiques/alzheimer/alzheimer-un-jeu-video-en-realite-virtuelle-pour-detecter-la-maladie-620193>

Annexe III :

- Plateforme de force :

<http://wiifit.com/fr/>

<http://www.jeuxvideo.com/jeux/wii/00019175-wii-fit.htm>

- Capture de mouvements :

<http://www.jeuxvideo.com/jeux/xbox-360/00037325-kinect-sports.htm>

<https://support.xbox.com/fr-FR/xbox-360/accessories/kinect-sensor-setup>

- Visiocasque :

<https://www.tomsguide.fr/2014/09/04/oculus-rift-dk2-on-craque-ou-pas-pour-le-casque-de-realite-virtuelle/>

<https://www.lesnumeriques.com/casque-realite-augmentee/sony-hmz-t3w-p17164/test.html>

- Tapis de marche couplé à la réalité virtuelle :

<https://www.ekinoa.eu/tecnobody/10514-walker-view-med-pro-tecnobody.html>

- Système CAVE :

<http://www.visbox.com/products/cave/viscube-m4/>

Résumé

« La rééducation des troubles de l'équilibre liés au vieillissement physiologique chez la personne âgée : quelle place et quels intérêts de la réalité virtuelle ? »

Introduction : De nos jours, nous sommes face à une population qui vieillit. Les troubles de l'équilibre chez les personnes âgées peuvent conduire à de graves conséquences, surtout sur l'autonomie. Actuellement, un nouvel outil de rééducation est en plein essor : c'est la réalité virtuelle. En revanche, son usage commence seulement à se développer en gériatrie.

Objectifs : L'objectif est de déterminer quels sont les apports de la réalité virtuelle dans la prise en charge des troubles de l'équilibre liés au vieillissement physiologique des personnes âgées.

Méthodologie : Des recherches ont été effectuées dans plusieurs bases de données de la littérature. En excluant ceux qui ne correspondent pas aux critères de sélections choisis, et en enlevant les doublons, 41 articles ont été inclus et analysés.

Résultats : L'équilibre des personnes âgées semblent être amélioré par la réalité virtuelle puisqu'une diminution des variations de leur centre de pression ainsi qu'une amélioration de leur équilibre fonctionnel et de leurs paramètres de marche ont été trouvés. Des fonctions indirectes à l'équilibre, telles que l'endurance, la force musculaire et les fonctions supérieures ont également été améliorées. Tous les appareils s'avèrent acceptables et fiables et les personnes âgées semblent réceptives à cette rééducation.

Conclusion/Analyse : La réalité virtuelle paraît efficace dans la prise en charge des troubles de l'équilibre liés au vieillissement physiologique chez les personnes âgées mais d'autres études doivent être réalisées afin de voir si la réalité virtuelle est supérieure à une rééducation conventionnelle. En revanche, toutes mes études sont d'accord sur son impact motivationnel, justifiant son utilisation en adjuvant d'une rééducation conventionnelle.

Mots-clés : *Réalité Virtuelle, Rééducation, Troubles de l'Equilibre, Vieillissement Physiologique, Personnes Agées*

Abstract

« Rehabilitation of balance disorders caused by biological aging in the elderly: role and relevance of virtual reality »

Background: Nowadays, the population ages more and more. Balance disorders in the elderly can lead to severe consequences, especially on autonomy. Currently, a new rehabilitation tool is increasingly being used: virtual reality. Nevertheless, its use is just starting to be developed in geriatrics.

Objectives: The goal was to determine the contributions of virtual reality to the management of balance disorders caused by biological aging in the elderly.

Methodology: Literature databases were searched. After excluding those which were not consistent with the chosen selection criteria, and those which were duplicates, 41 articles were included and analyzed.

Results: Balance in the elderly seemed to have improved thanks to virtual reality : there was a decrease in the displacement of their center of pressure as well as an increase in their functional balance and gait. Indirect functions of balance like endurance, muscle strength and higher brain functions were also improved. All the virtual reality devices turned out to be acceptable and reliable and the elderly seemed to be responsive to this rehabilitation.

Conclusion: Virtual reality appears to be effective in the management of balance disorders caused by biological aging in the elderly but further studies are needed to identify whether virtual reality is better than conventional rehabilitation. However, all my studies are in agreement on its motivational effect, justifying its use as an adjuvant in conventional rehabilitation treatment.

Keywords: *Virtual Reality, Rehabilitation, Balance Disorders, Biological Aging, Elderly*