



Avertissement

Ce document est le fruit d'un long travail et a été validé par l'auteur et son directeur de mémoire en vue de l'obtention de l'UE 28, Unité d'Enseignement intégrée à la formation initiale de masseur kinésithérapeute.

L'IFMK de Nancy n'est pas garant du contenu de ce mémoire mais le met à disposition de la communauté scientifique élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : secretariat@kine-nancy.eu

Liens utiles

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<https://www.service-public.fr/professionnels-entreprises/vosdroits/F23431>

MINISTÈRE DE LA SANTÉ
RÉGION GRAND EST
INSTITUT LORRAIN DE FORMATION EN MASSO-KINÉSITHÉRAPIE DE NANCY

La réalité virtuelle immersive dans l'évaluation de l'équilibre dynamique chez la personne âgée

Mémoire présenté par Lucie Hofmann-Bruant
Etudiante en 4^{ième} année de masso-kinésithérapie,
en vue de l'obtention du Diplôme d'État de
Masseur-Kinésithérapeute

2015-2019

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de mon étude et m'ont aidée lors de la rédaction de ce mémoire.

Je voudrais dans un premier temps remercier ma directrice de mémoire, Adeline Poinignon, masseur-kinésithérapeute au centre Jacques Parisot à Bainville-sur-Madon, pour sa patience, sa disponibilité et ses conseils, qui ont participé à guider ma réflexion.

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance au centre d'expertise MéMoSim's pour le prêt du matériel et surtout Frédéric Muhla, doctorant sur l'évaluation du risque de chute à l'aide de la réalité virtuelle. Ainsi que l'équipe médicale et paramédicale du centre de rééducation Florentin à Nancy, qui ont facilité la mise en pratique des tests concernant l'étude et également madame Villemin, cadre masseur-kinésithérapeute pour son engagement dans la réalisation des tests de ce projet.

Je remercie l'équipe pédagogique de l'IFMK de Nancy, et plus particulièrement mon référent, Christian Chauvin, pour son soutien constant et ses encouragements. Ainsi que mesdames Marinho et Buatois, pour leur aide dans la recherche du sujet.

J'adresse mes sincères remerciements à toutes les personnes qui de par leurs conseils ont permis d'orienter le sujet de mon mémoire : Gérôme Gauchard, Olivier Louis, Arnaud Chaudet respectivement Directeur Adjoint à la Recherche à l'UFR STAPS de l'université de Lorraine, Ergonome chez PSA et Masseur-Kinésithérapeute chez PSA.

Je remercie ma famille, qui a toujours cru en moi ; leurs encouragements et leur soutien inconditionnel m'ont été d'une grande aide.

A toutes ces personnes, je présente tout mon respect et ma gratitude.

La réalité virtuelle immersive dans l'évaluation de l'équilibre dynamique chez la personne âgée.

Les chutes chez les personnes âgées représentent un réel enjeu de santé publique. Un tiers des plus de 65 ans chutent à leur domicile et à partir de 80 ans, une personne âgée sur deux est victime d'une chute. Dans la plupart des cas, elles ont lieu lors d'un déplacement du centre de gravité. La rééducation est ensuite une étape essentielle, elle est multifactorielle. Par exemple, on retrouve souvent l'utilisation de la Wii, dispositif de réalité virtuelle non immersive, dans la rééducation de l'équilibre. Malheureusement, les tests d'équilibre actuels, réalisés en centre de rééducation ou milieu hospitalier, ne permettent pas d'apporter une validité écologique aux résultats. Des études ont tenté d'évaluer l'équilibre au moyen d'une immersion dans un environnement virtuel, à l'aide d'un visiocasque. Notre objectif est d'étudier l'effet et l'adaptation à la réalité virtuelle à l'aide d'un visiocasque, sur des personnes âgées de plus de 65 ans lors de la réalisation d'un test d'équilibre dynamique. La réalité virtuelle immersive a-t-elle un impact sur le temps lors de la réalisation du Timed-Up-and-Go test (TUG), chez des personnes âgées en fin de séjour de rééducation ? 41 sujets ont été recrutés pour la réalisation de cette étude. Ils devaient réaliser le TUG dans trois environnements différents : réel, virtuel dans un train à l'arrêt (VR-) ou dans un train en marche (VR+). Ils devaient répéter trois fois le test dans chacune des conditions. Le test de Friedman donne les résultats suivants : $p\text{-value}=0.000$ pour la comparaison entre les moyennes TUG réel versus VR-, et $p\text{-value} < 0.0001$ entre réel et VR+ avec $\alpha=0.05$. La différence de temps est significative entre la moyenne des temps en environnement réel et en réalité virtuelle train en marche ou train à l'arrêt, donc la réalité virtuelle a un impact sur l'équilibre des personnes âgées lors de la réalisation du TUG. En revanche, il n'y a pas de différence d'adaptation à la réalité virtuelle entre les trois conditions.

Mots clés : équilibre, personnes âgées, réalité virtuelle immersive, Timed-Up-and-Go test, visiocasque.

Immersive virtual reality in the assessment of dynamic balance in the elderly.

Falls in the elderly represent a real health public issue. One-third of people over 65 fall at home and from the age of 80, one in two elderly people falls. In most cases, they occur during a shift of the center of gravity. Rehabilitation is then an essential step, it is multifactorial. For example, the use of Wii, a non-immersive virtual reality device, can be found in balance rehabilitation. Unfortunately, the current balance tests, used in rehabilitation centers or hospitals, do not make it possible to bring ecological validity to the results. Studies have attempted to assess balance through immersion in a virtual environment, using a head-mounted-display. Our aim is to study the effect and adaptation to virtual reality using a head-mounted-display, on people over 65, when performing a dynamic balance test. Does immersive virtual reality have an impact on time when performing the Timed-Up-and-Go test (TUG), in elderly people at the end of their rehabilitation stay? 41 subjects were recruited for this study. They had to realize the TUG in three different environments: real, virtual in a stationary train or in a moving train. They had to repeat the test three times in each of the conditions. The Friedman tests gives the following results: $p\text{-value}=0.000$ in the comparison between the average in TUG real versus VR-, $p\text{-value} < 0.0001$ between real and VR+ ($\alpha=0.05$). The average time in the real environment and in virtual reality train on or train off, virtual reality therefore has an impact on the balance of the elderly during the TUG. On the other hand, there is no difference in adaptation to virtual reality between the three conditions.

Keywords : balance, elderly, immersive virtual reality, Timed-Up-and-Go test, head-mounted displays.

SOMMAIRE

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUCTION | 1 |
| 1.1. Les chutes de la personne âgée..... | 1 |
| 1.1.1. Définitions et épidémiologie..... | 1 |
| 1.1.2. Facteurs de risques | 2 |
| 1.1.3. Les conséquences | 3 |
| 1.2. Le vieillissement de la fonction d'équilibration | 4 |
| 1.2.1. La physiologie de l'équilibre (12,13)..... | 4 |
| 1.2.2. Le vieillissement (14,15)..... | 5 |
| 1.3. L'évaluation des troubles de l'équilibre : le TUG | 6 |
| 1.3.1. Description du test (16)..... | 7 |
| 1.3.2. Objectifs et intérêt du test..... | 7 |
| 1.3.3. Analyse du test | 8 |
| 1.4. La réalité virtuelle | 8 |
| 1.4.1. Immersion et réalisme : définitions..... | 8 |
| 1.4.2. Les différentes applications de la réalité virtuelle immersive..... | 9 |
| 1.4.3. La réalité virtuelle non immersive | 10 |
| 1.4.3.1. Dans la rééducation de l'équilibre, chez les personnes âgées | 10 |
| 1.4.4. La réalité virtuelle immersive chez les personnes âgées | 11 |
| 1.4.4.1. L'intérêt d'associer la réalité virtuelle immersive à la rééducation..... | 11 |
| 1.4.4.2. La réalité virtuelle immersive dans l'évaluation de l'équilibre | 12 |
| 1.5. Problématique et question de recherche..... | 12 |
| 2. MATERIEL ET METHODE..... | 13 |
| 2.1. Stratégie de recherche..... | 13 |
| 2.2. Matériel et outils d'évaluation | 14 |
| 2.2.1. Pour la réalisation du TUG | 14 |
| 2.2.2. Le questionnaire | 16 |
| 2.2.3. La Falls Efficacy Scale International (39,40,41,42)..... | 17 |
| 2.3. Les patients | 18 |
| 2.3.1. Le recrutement des patients | 18 |
| 2.3.2. Les critères de sélection | 19 |
| 2.3.3. Les caractéristiques des patients | 20 |
| 2.4. Le design de l'étude | 21 |

| | | |
|--------|--|----|
| 2.5. | Les critères d'évaluation | 22 |
| 2.5.1. | Le temps au Timed Up and Go | 22 |
| 2.5.2. | Le score au FES-I | 22 |
| 2.5.3. | Les corrélations : le coefficient R^2 | 23 |
| 2.6. | Méthode d'analyse des résultats | 23 |
| 3. | RESULTATS..... | 25 |
| 3.1. | Analyse du FES-I | 25 |
| 3.2. | Le Timed Up and Go test..... | 26 |
| 3.2.1. | Descriptions des résultats au TUG (Annexe V) | 26 |
| 3.2.2. | Comparaison des moyennes du TUG entre les trois conditions | 28 |
| 3.2.3. | L'adaptation au TUG..... | 28 |
| 3.2.4. | Comparaison des temps au TUG..... | 30 |
| 3.2.5. | Les temps au TUG en fonction de l'ordre de passage | 31 |
| 3.3. | Analyse du questionnaire..... | 32 |
| 3.4. | L'analyse des corrélations | 34 |
| 3.4.1. | Entre le TUG et le FES-I..... | 34 |
| 3.4.2. | Corrélation entre adaptation et FES-I..... | 34 |
| 3.4.3. | Corrélation TUG et questionnaire..... | 35 |
| 3.4.4. | Corrélation FES-I et questionnaire | 35 |
| 3.4.5. | Corrélation adaptation et questionnaire | 36 |
| 3.4.6. | Corrélations avec les caractéristiques des patients..... | 36 |
| 4. | DISCUSSION | 37 |
| 4.1. | Interprétation des résultats | 37 |
| 4.1.1. | Les moyennes des temps au TUG..... | 37 |
| 4.1.2. | L'adaptation à la réalité virtuelle..... | 38 |
| 4.1.3. | Le FES-I | 39 |
| 4.1.4. | Le questionnaire | 39 |
| 4.1.5. | Les corrélations..... | 40 |
| 4.1.6. | Comparaison résultats au TUG en fonction score au FES-I | 42 |
| 4.2. | Les limites de l'étude. | 43 |
| 4.2.1. | La population | 43 |
| 4.2.2. | Concernant le protocole..... | 44 |
| 4.2.3. | Concernant l'analyse statistique..... | 46 |
| 4.3. | Intérêt de l'étude | 47 |
| 4.4. | Les améliorations de l'étude. | 48 |

5. CONCLUSION.....49

Bibliographie

Annexes

Liste des abréviations

ANOVA : Analysis Of Variance

APA : Allocation Personnalisée d'Autonomie

AT : Aide technique de marche

BBS : Berg Balance Scale test

BEH : Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire

CépiDc : Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de Décès

DMLA : Dégénérescence Maculaire Liée à l'Age

EHPAD : Etablissement d'Hébergement pour Personnes Agées Dépendantes

EPAC : Enquête Permanente sur les Accidents de la vie Courante

FES-I : Falls Efficacy Scale International

HAS : Haute Autorité de Santé

HMD : Helmet-Mounted Displays ou Head-Mounted Displays

IMC : Indice de Masse Corporelle

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

INSERM : Institut National de la Santé et de la Recherche Médical

INVS : Institut National de Veille Sanitaire

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

R : condition de mesure dans le monde « réel »

SNC : Système Nerveux Central

STEADI : Stopping The Elderly Accidents, Death and Injuries

TUG : Timed Up and GO test

USLD : Unité de Soins de Longue Durée

VR/ RV: Virtual reality / Réalité Virtuelle

VR- : condition de mesure dans l'environnement virtuel train à l'arrêt

VR+ : condition de mesure dans l'environnement virtuel train en marche

WBB : Wii Balance Board

1. INTRODUCTION

1.1. Les chutes de la personne âgée

1.1.1. Définitions et épidémiologie

Une personne est dite « âgée » à partir de 65 ans, selon la HAS (1). En revanche d'un point de vue social, le seuil est celui de l'âge de la retraite. Pour bénéficier de l'APA (2), il faut avoir au moins 60 ans.

Dans la 10^{ième} révision de la Classification Internationale des Maladies CIM, les chutes accidentelles sont répertoriées de W00-W19. La HAS donne la définition suivante (1) : « *La chute est définie comme le fait de se retrouver involontairement sur le sol ou dans une position de niveau inférieur par rapport à sa position de départ* ». La chute est dite répétitive, si la personne âgée est tombée au moins deux fois sur une période de six à douze mois. La répétition est considérée comme un marqueur de fragilité. Une chute se produit lorsque la personne âgée subit un déplacement involontaire de son centre de gravité et n'arrive pas à le recentrer, dû à un déficit de capacité physique et du contrôle postural. Le terme de chute « grave » est parfois retrouvé dans la littérature, il est employé lorsque celle-ci entraîne une hospitalisation, des conséquences traumatiques, ou une station prolongée au sol.

Les chutes constituent la première cause de blessure externe involontaire. Selon le rapport de l'EPAC (3) de 2010, chez les plus de 65 ans, elles représentent 85% des accidents de la vie courante. Elles se produisent dans 55% des cas lors d'un déplacement. D'après le rapport baromètre santé de l'INPES (4), la moitié des accidents de la vie courante, chez les plus de 65 ans surviennent au domicile, contre 15% survenant en maison de soin, hôpitaux ou EHPAD. Chaque année, une personne sur trois âgée de plus de 65 ans chute à son domicile et une personne sur deux chez les plus de 80 ans. Parmi la population de chuteurs, la moitié a fait des chutes répétées dans l'année.

1.1.2. Facteurs de risques

Les chutes sont induites par de nombreux facteurs à la fois intrinsèques (Tab.I.) et extrinsèques (Tab.II.). Les facteurs de risques des chutes sont à la fois : sociaux, environnementaux, physiques et psychologiques. Selon l'INSERM (5): « *La chute est considérée comme un évènement plurifactoriel dont de nombreux déterminants médicaux, biologiques et biomécaniques ont été mis en évidence. Cependant, le risque de chute est également dépendant de facteurs psychologiques, notamment des perceptions, sentiments et représentations de l'individu à l'égard de cet évènement*».

Tableau I : Facteurs de risques de chutes intrinsèques (5,6,7)

| | |
|--|---|
| Sexe féminin | Ratio Homme/ Femme = 0.76 |
| L'âge | Le risque de chute augmente de 5% par an : au-delà de 80 ans le risque est >50%. |
| Polypathologies | Affection neurologique, incontinence urinaire, hypotension orthostatique... |
| Les médicaments | Polymédication : si prise de plus de 4 médicaments Psychotropes : benzodiazépines, neuroleptiques, anti-dépresseurs, hypnotiques |
| Troubles orthopédiques | Arthrose, déformation et raideur des pieds Antécédents de traumatismes Troubles de la marche |
| Troubles cognitifs | Démences |
| Troubles sensoriels | Diminution de l'acuité visuelle, cataracte, DMLA Troubles sensitifs du pied Troubles de l'équilibre |
| Diminution de la masse musculaire | Sarcopénie : liée à l'âge et aggravée par la sédentarité et la dénutrition Dynapénie |

Tableau II. : Facteurs de risques de chutes extrinsèques.

| | |
|-------------------------|--|
| Comportementaux | Sédentarité Obésité Dénutrition chronique Diminution de la vigilance Isolement social |
| Psychologiques | La peur de chuter entraîne également une restriction d'activité. Dépression Antécédents de chutes et perte de confiance en soi |
| Environnementaux | Dangers présents au domicile (faible éclairage, présence d'obstacles...) |

1.1.3. Les conséquences

Les chutes ont des conséquences sur la perte d'autonomie des personnes âgées. 30% des chuteurs seront hospitalisés. Ces conséquences peuvent être traumatiques (37% des chutes entraînent des fractures en 2010, surtout au membre inférieur) et dans 20% des cas une intervention médicale est nécessaire.

Les conséquences d'une chute, peuvent aller jusqu'au décès de la personne âgée. D'après l'OMS (8), les personnes âgées de plus de 65 ans, représentent la population la plus exposée aux chutes mortelles. En 2015, selon l'Inserm-CépiDC (9), les chutes accidentelles chez les personnes âgées entraînaient 6750 (Fig.1.) décès en France métropolitaine, soit 14% des décès. Selon le BEH de l'INVS (10) de 2011, les chutes accidentelles sont la troisième cause de décès chez les plus de 65 ans, après les cancers et maladies cardio-vasculaires.

Les chutes entraînent également des conséquences non traumatiques (11) telles que : la station prolongée au sol, la peur de chuter, un syndrome post-chute évoluant vers le syndrome de désadaptation psychomotrice. Si la personne âgée n'est pas prise en charge, son état peut évoluer vers des difficultés à se verticaliser et un état grabataire irréversible.

Effectifs de décès

Année : 2015
 Chapitre : Chutes accidentelles
 Zone : France métropolitaine

[Liste des codes CIM](#) [Retour au menu](#) [Export CSV](#)

| Code CIM | Libellé | Sexe | Total | <1 | 1-4 | 5-14 | 15-24 | 25-34 | 35-44 | 45-54 | 55-64 | 65-74 | 75-84 | 85-94 | 95+ |
|----------|--------------------------------|------|--------|------|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|
| W00-W19 | Chutes accidentelles | M | 3559 | 0 | 7 | 7 | 18 | 34 | 63 | 170 | 332 | 425 | 879 | 1422 | 193 |
| | | F | 4032 | 1 | 3 | 4 | 3 | 6 | 18 | 56 | 110 | 234 | 839 | 2212 | 546 |
| | | T | 7591 | 1 | 10 | 11 | 21 | 40 | 81 | 235 | 442 | 659 | 1718 | 3634 | 739 |
| ----- | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Total toutes causes confondues | M | 289341 | 1463 | 284 | 396 | 1750 | 3054 | 6247 | 16547 | 37223 | 51654 | 78757 | 82920 | 9046 |
| | | F | 290468 | 1153 | 213 | 278 | 670 | 1155 | 3099 | 8857 | 17813 | 27493 | 65243 | 132630 | 31884 |
| | | T | 579829 | 2616 | 497 | 674 | 2420 | 4209 | 9346 | 25404 | 59036 | 79147 | 144000 | 215550 | 40930 |

Effectifs non renseignés (voir aide) [Liste des codes CIM](#) [Retour au menu](#) [Export CSV](#)

Figure 1 : Effectifs de décès par chutes accidentelles en 2015. (CépiDC) (9)

1.2. Le vieillissement de la fonction d'équilibration

1.2.1. La physiologie de l'équilibre (12,13)

L'homme doit constamment lutter contre les lois de la gravité. Il doit maintenir son équilibre soit dynamique lors d'un déplacement, soit en position statique (maintien de la posture). L'équilibre permet de maintenir le regard stable.

Il est assuré par différents récepteurs :

- la vision : notamment via la rétine périphérique, qui donne des sensations de mouvement et permet un meilleur contrôle de l'équilibre dynamique lors de la marche,
- le système vestibulaire : l'oreille interne avec les macules de l'utricule et saccule qui détectent les mouvements linéaires et les inclinaisons de la tête et les canaux semi-circulaires qui détectent les mouvements angulaires,
- la somesthésie: via les propriocepteurs présents dans les muscles squelettiques (fuseau neuro-musculaire) et les articulations (organes tendineux de golgi, corpuscules de Pacini, Ruffini, Golgi-Mazzoni...)
- sensibilité superficielle des récepteurs tactiles sur la face plantaire du pied.

Les yeux sont les détecteurs privilégiés des déstabilisations posturales. Les informations sensorielles sont codées en potentiels d'action qui sont transmis aux noyaux vestibulaires du SNC. Ces informations sensorielles sont pondérées et hiérarchisées, en fonction de la fiabilité de la source, afin d'assurer un maintien optimal de l'équilibre postural. Les réponses posturales vont être assurées par les systèmes de motricité : contractions musculaires pour le maintien du tonus postural et l'oculomotricité pour la stabilité du regard.

1.2.2. Le vieillissement (14,15)

Le vieillissement correspond à un phénomène physiologique, inéluctable. Ce phénomène, multidimensionnel, est causé par des facteurs intrinsèques, les gènes de la senescence, les lésions oxydatives mitochondriales, le raccourcissement des télomères... Il est également favorisé par des facteurs extrinsèques tels que l'hygiène de vie, alimentation et sédentarité... Le vieillissement s'opère à tous les niveaux, entraînant des modifications anatomiques, physiologiques sur les fonctions cardio-vasculaires, endocriniennes, neuromusculaire, mais aussi sur les organes des sens.

1.2.2.1. Vieillissement des organes sensoriels

Le vieillissement de l'appareil vestibulaire se caractérise par la diminution du nombre des cellules ciliées. Cette diminution aboutit chez la personne âgée à une « presbyvestibulie » (sous-utilisation du vestibule). Au niveau de la rétine, nous pouvons constater la diminution du nombre des cellules photo-réceptrices.

Le vieillissement de l'œil n'entraîne pas d'altération de l'acuité visuelle (30 % des cônes et bâtonnets permettent d'assurer une vision normale). En revanche, l'accommodation va diminuer (presbytie) et le cristallin s'opacifie (cataracte). Il existe d'autres pathologies oculaires liées au vieillissement, notamment la DMLA, pouvant altérer les informations visuelles.

Avec l'âge il y a une altération des messages du système proprioceptif. Au niveau du système nerveux central, le nombre de neurones diminue et la vitesse de transmission des informations est ralentie, ce qui explique les troubles proprioceptifs. Concernant le système nerveux périphérique, le nombre de récepteurs diminue également. Les informations des

capteurs tactiles des pieds et leur qualité diminuent, dues au vieillissement, aux limitations d'amplitude du rachis et des articulations et aux déformations des pieds (cors, durillons, hallux valgus...). La sensibilité kinesthésique de la perception du corps diminue également avec l'âge.

1.2.2.2. Vieillesse des effecteurs

L'avancée en âge est également accompagnée du vieillissement du système neuromusculaire. Le phénomène de sarcopénie apparaît, certains auteurs emploient le terme de « dynapénie » qui englobe les altérations fonctionnelles. Il s'agit d'une atrophie des fibres musculaires associées à une diminution du nombre de celles-ci, due à l'apoptose des motoneurons de la moelle épinière. La force, l'endurance et le tonus musculaire sont diminués. La compliance des tendons et aponévroses est augmentée avec l'âge, ce qui entraîne un ralentissement de la transmission de la force et donc un ralentissement des mouvements. Ce phénomène est accentué par la sédentarité.

Les ligaments se calcifient et les surfacents articulaires se réduisent, ce qui entraîne des limitations des amplitudes articulaires. La plus importante concerne la cheville.

1.3. L'évaluation des troubles de l'équilibre : le TUG

Les dernières recommandations de la HAS (1), datant de 2009, concernant les chutes chez les personnes âgées recommandent de repérer les personnes à risque de chute. L'un des moyens est d'évaluer les troubles de l'équilibre et /ou de la marche en réalisant le TUG et le test de la station unipodale, avec un risque de chute si le score est >20 sec pour le TUG et <5 sec pour la station unipodale.

1.3.1. Description du test (16)

Il s'agit d'un test chronométré. C'est un outil descriptif de l'équilibre, de la marche et des capacités fonctionnelles du patient. Le test permet de mesurer le temps que le patient met pour accomplir les tâches suivantes dans l'ordre : lever de chaise, marche sur trois mètres, demi-tour sans marquer d'arrêt, marche sur trois mètres, s'asseoir.

La première version le « Get up and Go test », créée par Mathias S. en 1986 (17), permettait de juger de la qualité des différents transferts sur une échelle de 1 à 5 : le transfert assis-debout, la marche, le demi-tour, le transfert debout-assis ainsi que l'équilibre : assis, debout en statique puis debout en dynamique lors de la marche. La version modifiée de Podsiadlo en 1991 (18), ne prend en compte que le temps. En revanche, l'examineur peut qualifier les différentes phases de transferts.

Pour la réalisation du test, il faut une chaise avec un dossier et des accoudoirs à une hauteur de 44-47 cm, calée contre un mur pour éviter que la chaise recule, lorsque le patient se lève. Un chronomètre donnant un temps au centième de secondes et un ruban adhésif, traçant une ligne à 3 m de la chaise.

Le sujet porte ses chaussures habituelles (de tous les jours). Il doit marcher sur 3 mètres faire demi-tour et revenir s'asseoir, le dos contre le dossier. La consigne doit être claire : « À la commande GO, vous devrez vous lever, marcher trois mètres à une vitesse confortable, sans vous mettre en danger, vous faites demi-tour et vous revenez vous asseoir sur la chaise le dos appuyé contre le dossier ». Le patient doit marcher avec son aide technique habituelle (ex : si vous l'utilisez dans votre chambre prenez votre AT). Le sujet a droit à un essai et les deux suivants sont chronométrés. Le chronomètre démarre au mot « go » et s'arrête lorsqu'il colle son dos à la chaise.

1.3.2. Objectifs et intérêt du test

Il permet d'évaluer les quatre principaux facteurs du risque de chute: la force des membres inférieurs, la coordination, l'équilibre et la marche. Le TUG est également recommandé dans le programme STEADI, et y est décrit comme seul test physique objectif.

En revanche, le TUG ne peut pas être utilisé seul pour prédire les risques de chutes. Il doit être associé à d'autres tests d'équilibre et la liste de médicaments pris par le sujet.

1.3.3. Analyse du test

Le temps est chronométré en centième de secondes. Les résultats varient en fonction de l'âge, et du sexe du sujet, ainsi que l'IMC. On peut observer également :

- la qualité des transferts : A-D (avec ou sans rétropulsion, pieds en arrière), le demi-tour, D-A,
- la qualité de l'équilibre assis et en dynamique à la marche et pendant les transferts assis-debout, lors du demi-tour,
- des troubles de la marche avec la présence de boîtiers : pas inégaux (hauteur ou longueur), balancement des bras ou non, une mauvaise utilisation de l'aide technique,
- transfert debout-assis : se laisse tomber, freine, attend d'avoir les genoux contre le bord du siège.

1.4. La réalité virtuelle

1.4.1. Immersion et réalisme : définitions

D'après *P. Fuchs et al (19)*, la réalité virtuelle peut être définie comme : *[un domaine scientifique et technique exploitant l'informatique et des interfaces comportementales en vue de simuler dans un monde virtuel le comportement d'entités 3D, qui sont en interaction en temps réel entre elles et avec un ou des utilisateurs en immersion pseudo-naturelle par l'intermédiaire de canaux sensori-moteurs]*. La réalité virtuelle permet de s'échapper de notre monde réel, pour être immergé dans un environnement virtuel réaliste ou imaginaire, hors du temps, dans des lieux différents, offrant de multiples possibilités d'interactions.

Il faut faire le distinguo entre réalité virtuelle immersive : images en 3D, interactions possibles avec l'environnement (visiocasque ou système CAVE : Cave Automatic Virtual Environnement) et réalité virtuelle non immersive : images en 2D via un écran d'ordinateur ou de télévision. Le sujet est dit immergé, lorsqu'il est plongé dans un environnement virtuel, via

des interfaces qui occultent complètement l'environnement physique réel. L'immersion est alors sensorielle visuelle, auditive, mais elle peut être également haptique (toucher actif ou tactilo-kinesthésique). Le degré d'immersion varie en fonction du nombre de voies sensorielles stimulées et de la qualité des stimulations. En réalité virtuelle augmentée, contrairement à la réalité virtuelle immersive, il n'y a pas de substitution de l'environnement réel par un environnement virtuel, mais un mix entre un environnement réel et des objets virtuels, via des interfaces informatiques.

L'environnement virtuel peut être soit réaliste, soit imaginaire. Le réalisme est conditionné par la fidélité des perceptions sensorielles, psychologique et la qualité de la ressemblance à un environnement physique réel. Les tâches à accomplir et les interactions doivent être crédibles et réalisables dans un environnement physique.

1.4.2. Les différentes applications de la réalité virtuelle immersive

La réalité virtuelle a trouvé sa place dans de nombreux domaines depuis quelques années. La réalité virtuelle permet de jouer dans un environnement virtuel, pouvant nécessiter par exemple une plateforme spéciale ; l'Omni™ de Virtuix (20). Il s'agit d'un tapis roulant à 360°. Elle peut être utilisée à des fins artistiques, notamment pour la danse. Soit en immergeant le spectateur sur la scène ou en immergeant le danseur dans un monde virtuel, via un avatar et ce grâce à des capteurs de mouvement. (21)

La réalité virtuelle immersive peut également être utilisée à des fins professionnelles. Par exemple en ergonomie, pour évaluer les contraintes chez un ouvrier à la chaîne, lors de la création d'un nouveau poste. (22)

Elle intervient dans le domaine de la santé, surtout en psychothérapie : par exemple dans le traitement de l'agoraphobie ou la peur du vide, permettant au patient d'appréhender ses peurs de manière progressive et contrôlée. Le thérapeute peut paramétrer ou moduler l'environnement virtuel. Depuis peu, la réalité virtuelle est utilisée en anesthésie ; le patient est hypnotisé grâce à l'immersion dans l'environnement virtuel. (23)

1.4.3. La réalité virtuelle non immersive

1.4.3.1. Dans la rééducation de l'équilibre, chez les personnes âgées

Depuis quelques années, la réalité virtuelle non immersive est utilisée en rééducation. On retrouve les interfaces suivantes: Wii fit™, Xbox Kinect™.... La réalité virtuelle non immersive a un intérêt dans la rééducation de l'équilibre. La méta-analyse de **LI ET AL** (24) a montré une amélioration de l'équilibre, chez des personnes ayant eu un AVC, en fonction des résultats aux TUG et BBS. Il y a une amélioration de l'équilibre significative en faveur des patients ayant reçu un traitement avec la Wii.

Chez les personnes âgées, les « exergames », ou jeux en réalité virtuelle, semblent avoir un effet bénéfique sur l'équilibre et la peur de chuter (25). L'aspect motivationnel est mis en avant dans chaque étude. D'après la méta-analyse de **Amorim et Al** (26), les jeux utilisant la Nintendo Wii et la Wii Balance Board, permettent d'améliorer l'équilibre dynamique et statique, les paramètres de la marche, la confiance par rapport aux chutes et les intégrations sensori-motrice. (27)

Nous pouvons en déduire que la WBB peut être utilisée comme un outil de rééducation, afin d'améliorer l'équilibre des personnes âgées et de diminuer la peur de chuter.

1.4.3.2. La réalité virtuelle non immersive dans l'évaluation de l'équilibre

La console Wii créé par Nintendo en 2001 et ses accessoires : la Wii Balance Board et les exercices Wii FIT, ont largement été utilisés en rééducation, pour améliorer l'équilibre. Des études ont été menées sur l'évaluation de l'équilibre, afin de démontrer la précision de mesures de l'équilibre réalisées avec la WBB. **S. Dugani Burji et Al** (28) et **P. Scaglioni-Solano** (29) ont démontré que la WBB permettait de faire des mesures fiables de l'équilibre les yeux ouverts mais pas les yeux fermés. Dans l'étude de **P. Scaglioni-Solano et L.Aragon-Vargas**, le comparateur était une plateforme de force, tandis que dans l'étude de **S. Dugani Burji et Al** il n'y avait pas de comparateur. L'étude **Hall et Al** (30) porte sur la faisabilité d'utiliser des jeux sur WBB (slalom à ski et de plateau à incliner avec des billes) pour évaluer les déplacements du centre de gravité. Ces jeux sont comparés à une méthode informatique de posturographie :

le système Equitest. Le slalom à ski semble être un jeu intéressant pour mesurer la capacité du sujet âgé à déplacer son centre de gravité. Dans chacune de ces études, l'utilisation de la WBB permet uniquement d'évaluer l'équilibre statique, avec des déplacements du centre de gravité.

1.4.4. La réalité virtuelle immersive chez les personnes âgées

1.4.4.1. L'intérêt d'associer la réalité virtuelle immersive à la rééducation

La plupart des tests d'équilibre actuels ne permettent pas de varier d'environnement et n'incluent pas de tâches complexes, similaires à celles du quotidien, nécessitant d'avantage de contrôler le maintien de la posture. De plus, les personnes présentant des troubles cognitifs auront plus de difficultés à réaliser un test d'équilibre, si la tâche demandée n'est pas en rapport avec leur quotidien (par exemple : attraper un objet au sol, dans un placard en hauteur...).

L'étude de **Leiva-Caro et al, (31)**, montre que les chutes chez les personnes âgées ont souvent lieu dans leur maison. L'environnement conditionne le risque de chute et l'adaptation de la personne âgée. Les personnes hospitalisées en centre de rééducation n'ont pas la possibilité de réaliser l'entraînement de leur équilibre dans le milieu qui favorise les chutes : c'est-à-dire à domicile. Effectivement les risques de chutes seront plus importants en fonction des barrières représentées par l'environnement : la présence de tapis, marches, un mauvais éclairage, des encombrements au sol...

La réalité virtuelle immersive permet de donner une validité écologique aux tests d'équilibre, ainsi qu'une tâche à accomplir similaire à celle du quotidien et permet de varier l'environnement, comme l'a suggéré l'étude de **Pardasaney et AL. (32)**

Plus tard, lors de la prise en charge des personnes âgées en centre de rééducation, la réalité virtuelle immersive, à l'aide d'un visiocasque pourra permettre de moduler des situations, en ajoutant des contraintes telles que : des variations de l'environnement, l'éclairage de jour/ de nuit, des variations visuelles du sol (cailloux ou bitume), éviter des obstacles ou des personnes, déplacer des objets... Ces variations pourront donner une dimension écologique à la rééducation et permettront un travail dans des situations

complexes, sollicitant d'avantage l'équilibre, tout en restant dans un centre de rééducation.

1.4.4.2. La réalité virtuelle immersive dans l'évaluation de l'équilibre

Certains essais ont étudié la marche chez les personnes âgées dans un environnement virtuel écologique. La déambulation dans un environnement virtuel apparaît comme étant réalisable, bien toléré et non dangereux. L'objectif de l'étude de **Kim et Al** (33) était de vérifier la sécurité de l'utilisation d'un visiocasque chez des sujets âgés et atteints de la maladie de Parkinson, lorsqu'elles marchaient sur un tapis roulant pendant 20min. La réalité virtuelle perturbe également la perception des déplacements chez les plus âgés. **Lalonde-Parsi et Al** (34), étudiaient la capacité des personnes âgées à déterminer la vitesse de marche perçue dans le visiocasque et adapter leur vitesse de marche.

D'autres études ont évalué l'équilibre chez des personnes âgées, lorsqu'elles étaient immergées dans un environnement virtuel. L'étude de **S. Saldana** (35), portant sur cette population, a démontré que l'équilibre pouvait être évalué grâce à l'utilisation du HMD. Les sujets devaient résoudre des conflits visuo-vestibulaires. L'environnement virtuel s'inclinait à travers le visiocasque, obligeant le patient à adapter son centre de gravité. L'étude de **Bugnariu N et AL**,(36) , portait sur la sélection de stratégie sensorimotrice. Le but était de déterminer l'effet du vieillissement sur la capacité du SNC à choisir la bonne stratégie sensori-motrice pour faire face à des conflits sensoriels créés à l'aide d'une plateforme AMTI™ et d'un visiocasque. Les auteurs ont démontré que l'équilibre statique pouvait être amélioré grâce à l'exposition répétée à des conflits sensoriels chez les personnes âgées.

1.5. Problématique et question de recherche

La réalité virtuelle semble présenter de nombreux intérêts pour la rééducation en créant des perturbations visuelles supplémentaires, afin de déstabiliser le sujet et surtout pour l'évaluation de l'équilibre, en apportant une validité écologique au test. Avant de pouvoir envisager l'utilisation de la réalité virtuelle immersive, chez des personnes âgées pour la rééducation de l'équilibre, il est important d'évaluer son impact.

La réalité virtuelle immersive, à l'aide d'un visiocasque, a-t-elle un impact sur le temps lors de la réalisation d'un test d'équilibre dynamique - le Timed Up and Go test - comparé à la réalisation du même test dans un environnement réel chez des personnes âgées de plus de

65 ans, en fin de séjour de rééducation ? Y-a-t-il une adaptation à la réalité virtuelle des personnes âgées ? Cette adaptation est-elle liée à la peur de chuter ?

Nous avons émis les hypothèses suivantes :

- les moyennes des temps seront différentes en fonction de la condition de réalisation. On peut penser que les temps seront plus importants en VR+ ; étant donné que le train en marche apporte plus de perturbations sensorielles,
- le résultat du TUG sera corrélé avec le résultat au FES I et cette corrélation sera d'autant plus importante que le temps sera important (dans les conditions de VR- et VR+),
- L'adaptation, l'amélioration sur les trois essais au TUG sera corrélée avec le score au FES-I.

Nous proposons au travers de cette étude d'évaluer l'équilibre dynamique de sujets âgés, immergés dans un environnement virtuel à l'aide d'un visiocasque, lors d'un test d'équilibre, le Timed Up and Go test. Dans un premier temps, nous présentons la méthode de recherche, les critères d'évaluation ainsi que les outils et le protocole de recherche. Dans un second temps, les résultats et leurs interprétations sont présentés dans la partie « discussion ». Enfin nous apportons une critique de cette étude et les améliorations possibles.

2. MATERIEL ET METHODE

2.1. Stratégie de recherche

Pour la recherche documentaire, le moteur de recherche Ulysse a été principalement utilisé, il regroupe des bases de données : Web of science, Pubmed, Science direct...D'autres bases de données ont été consultées directement : Google Scholar, Pubmed, Sciencedirect Les supports papiers ont été empruntés à la bibliothèque de l'Université de médecine de Nancy. Certains livres électroniques sont disponibles sur google books. Les mots clés ont été combinés de la manière suivante : (Helmet Mounted Display OR HeadMounted Display) AND (balance or postural control or proprioception) AND (Assessment OR Evaluation OR

Mesurement). Nous avons utilisé les filtres liés à l'année de parution : maximum 5 ans et liés à la langue (anglais et français). Les résultats ont été triés par pertinence.

Les recherches ont donné : quinze résultats sur Ulysse, cinq sur Pubmed et vingt-et-un sur Google Scholar. Parmi les quinze sur Ulysse, neuf n'avaient aucun rapport avec le sujet, deux étaient des doublons et un parlait de troubles vestibulaires et l'autre de troubles neurologiques. Deux articles ont été retenus. Pour Pubmed, l'un évalue des personnes atteintes de la maladie de Parkinson et l'autre de la réalité virtuelle augmentée. Trois résultats sont retenus, dont deux similaires à ceux trouvés sur Ulysse. En utilisant Google Scholar, 21 résultats ont été trouvés, dont un seul retenu :

- deux sont dans une autre langue que l'anglais ou le français,
- douze sont hors-sujet,
- quatre ne s'intéressent pas à la population visée
- deux n'ont pas le bon outil de rééducation

Les références bibliographiques ont été enregistrées sur Zotero et Mendeley.

2.2. Matériel et outils d'évaluation

2.2.1. Pour la réalisation du TUG

2.2.1.1. Le visiocasque (36)

Le visiocasque utilisé est un HTC VIVE®, créé par l'entreprise VIVE®. Il est équipé d'un écran Dual AMOLED, offrant une résolution de 1080 x 1200 pixels pour chaque œil, soit 2160 x 1200 pixels en tout et un champ de vision de 110°. La taille de l'écran est de 3.6 pouces en diagonale. Son poids est de 600 grammes. Le taux de rafraîchissement, c'est-à-dire le nombre d'images affichées sur l'écran en une seconde, est de 90 Hz. Plus cette fréquence est élevée, meilleur est le confort visuel. Les 32 capteurs (SteamVR Tracking, capteur G, gyroscope, accéléromètre) contenus par le casque ainsi que les deux stations de base laser, permettent un suivi sur 360°. Les deux stations doivent être séparées d'une distance minimum de cinq mètres. L'immersion auditive est assurée par des haut-parleurs logitech®.

2.2.1.2. L'environnement virtuel

Il s'agit de l'intérieur d'un train, le sujet est immergé dans le wagon-bar (Fig.2.). Cet environnement réaliste permet d'inclure de nombreuses stimulations visuelles (valise, siège, porte, fenêtres...) et auditives (bruit du train), que l'on ne retrouverait pas dans un environnement médical. Dans la condition VR- le train est à l'arrêt, dans la condition VR+ le train est en marche, le paysage défile à travers les fenêtres et on entend le bruit des rails. La chaise dans l'environnement réel est placée au même endroit que le siège virtuel dans l'environnement virtuel, dans le train.

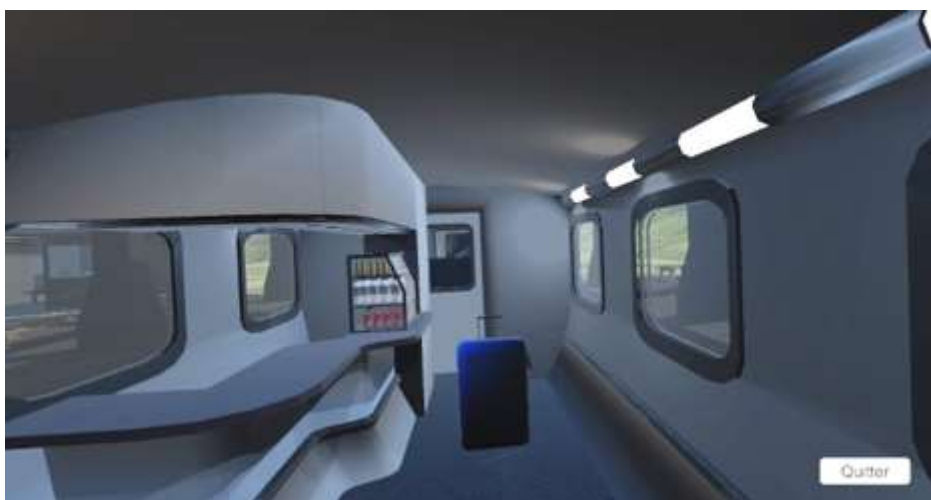


Figure 2 : Image de l'environnement virtuel train en marche.

2.2.1.3. L'ordinateur

Il s'agit d'un Asus ROG G752VS-BA211T, muni d'un processeur IntelCore i7-6700HQ. La carte graphique est une GeForce GTX 1070, de Nvidia. La mémoire vive est de 16 GO. Le casque était relié à l'ordinateur par un câble USB.

2.2.1.4. Environnement réel et moyens humains

Les tests se déroulaient dans une salle du centre de rééducation (Fig.3.). Une chaise est placée au centre de la pièce, à trois mètres d'elle une ligne est matérialisée par un ruban adhésif noir collé au sol. La chaise n'est pas collée au mur, par nécessité car les capteurs devaient être placés en arrière de la chaise pour pouvoir se déclencher lorsque le patient touchait le dossier de la chaise : au départ et à la fin du test. Les capteurs de mouvement

étaient placés au coin de la pièce à une distance de 5m, permettant d'enregistrer les temps et les déplacements grâce aux traceurs présents sur le casque. Un vidéo-projecteur rendait compte de la vision du patient dans l'environnement virtuel. Les examinateurs pouvaient donc suivre le déplacement virtuel du patient.

Un des examinateurs lançait les tests sur l'ordinateur et l'autre filmait les essais, à l'aide d'un smartphone. Un opérateur sécurisait le patient lors du test, afin d'éviter que les participants ne trébuchent dans le fil du casque. Et un autre tenait la chaise lorsque le patient s'asseyait pour éviter qu'elle ne recule. Les vidéos étaient enregistrées et analysées afin de contrôler la similitude entre le chronométrage de la vidéo et celui des capteurs.



Figure 3 : Photographie de la salle dans laquelle se déroule les tests et aménagement de la salle, lors du déroulement du TUG.

2.2.2. Le questionnaire

L'intérêt du questionnaire (ANNEXE I) est de lister les différents éléments qui peuvent influencer le temps au TUG, il doit permettre de recueillir les données suivantes :

- le milieu de vie (appartement, maison, USLD, EHPAD),
- la présence d'un entourage (familial et/ou aides à domicile),

- les activités physiques qu'il pratique et la quantité,
- le nombre de médicaments qu'il prend,
- le nombre de chutes dans les douze mois précédents,
- le niveau de confiance et l'attrait pour la réalité virtuelle.

Concernant la première partie sur le milieu de vie, l'objectif est d'isoler les facteurs pouvant avoir un impact sur la peur de chuter. Les personnes âgées vivant seules à leur domicile et dans une maison, sont plus à risque de chute. Le niveau d'activité physique est corrélé à la peur de chuter. Le but est d'évaluer si d'autres facteurs peuvent intervenir sur les résultats au TUG et le score au FES-I. (31)

Le nombre de médicaments que prend le patient est également à prendre en compte dans les résultats du TUG. A partir de quatre médicaments on parle de polymédication (classes thérapeutiques différentes). Les médicaments et leurs interactions jouent un rôle sur l'attention et la vigilance du sujet. La prise de psychotrope peut avoir un impact sur l'équilibre postural du patient. (1, 38)

Les questions sur les chutes permettent de catégoriser les patients en deux groupes : les non chuteurs et les chuteurs, ayant fait des chutes à répétition ou non. La question concernant la peur de chuter permet d'avoir une idée générale sur la confiance du patient.

La dernière partie concernant l'environnement virtuel, permet de nous donner une idée qualitative du niveau d'appréciation de la réalité virtuelle et du sentiment de confiance dans l'environnement virtuel.

2.2.3. La Falls Efficacy Scale International (39,40,41,42)

Le FES I (ANNEXE II) se présente sous la forme d'une échelle composée de 16 items. Les réponses sont graduées par une échelle de Linkert à 4 points : 1 étant le minimum et 4 le maximum. L'objectif de cette échelle est d'évaluer la peur de chuter. Elle a été créée par l'équipe PROFANE en 2006, et est inspirée de la FES en 10 items. Ce questionnaire a été traduit en français, ainsi que dans 14 langues. La littérature recommande d'utiliser la FES I car

elle présente plus d'items que la short-FES I ou la FES. Le score du short FES I a une bonne relation avec les tests d'équilibre.

2.3. Les patients

2.3.1. Le recrutement des patients

Les patients ont été recrutés au sein du centre de rééducation Florentin à Nancy, par l'équipe paramédicale. Pour être sélectionnés dans l'étude, les patients devaient être en fin de rééducation et correspondre aux critères de sélection. Nous devons également recueillir leur consentement libre et éclairé afin qu'ils puissent participer (Annexe III). Les informations morphologiques (le genre, l'âge, le poids, la taille, l'IMC) et le motif d'admission ont été collectés dans les dossiers des patients par l'équipe paramédicale.

Au départ, 50 patients ont été sélectionnés (Fig.4.). Lors des tests au TUG en réalité virtuelle, deux n'ont pas supporté le port du casque ; l'une se plaignait de sensation de claustrophobie et l'autre de vertige, à cause de la prise d'antalgique de pallier trois, le matin même. Après avoir répondu aux questionnaires, sept patients ont été exclus ; 6 avaient moins de 65 ans (deux avaient 60 ans, trois avaient 62 et deux 63 ans). Une patiente a rapporté prendre des médicaments pour améliorer son équilibre, en raison de ses problèmes vestibulaires dus à des vertiges positionnels paroxystiques bénins.

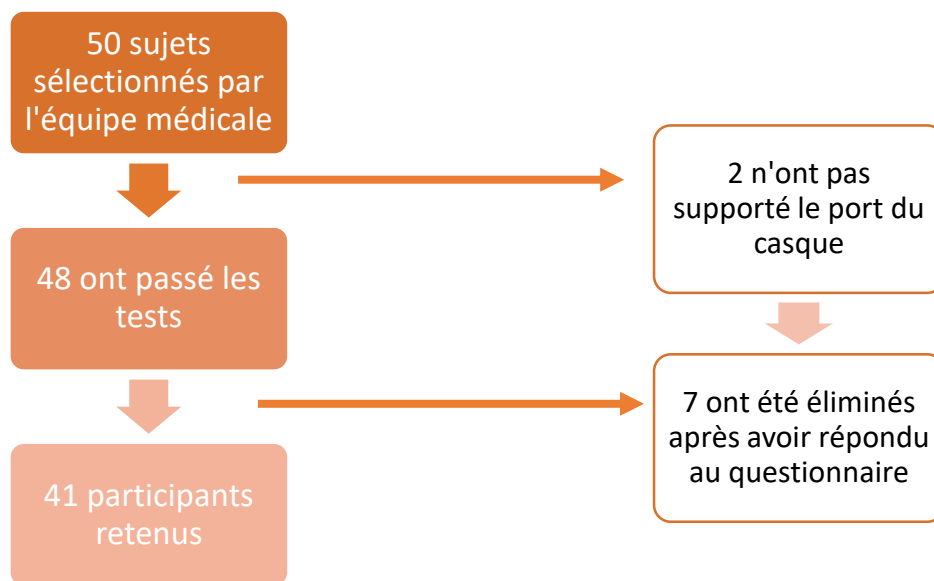


Figure 4 : Graphique présentant la perte de participants au cours du déroulement de l'étude.

2.3.2. Les critères de sélection

Le but est de cerner une population de personnes âgées, en fin de séjour d'hospitalisation dans un centre de rééducation et d'évincer les pathologies, provoquant des troubles de l'équilibre et pouvant altérer les résultats du TUG. Il faut éliminer les pathologies (vestibulaires, neurologiques) qui vont entraver l'équilibre afin d'isoler le vieillissement comme seul responsable des problèmes d'équilibre. Les problèmes liés à la compréhension des consignes (cognitifs, psychiatriques, auditifs) et ceux liés au port du casque : épilepsie, troubles de la vision... doivent être repérés pour exclure les patients si nécessaire.

Critères d'inclusion : (35, 36, 43)

- âge >65 ans,
- vision normale ou corrigée,
- le patient doit être autonome à la marche : déambulation possible avec ou sans aide technique, canne acceptée : simple, anglaise, tripode...,
- le patient doit être en fin de rééducation.

Critères d'exclusion : (44, 45)

- déambulation impossible en autonomie ou état grabataire,
- troubles vestibulaires (pouvant causer des incohérences sensori-motrices),
- troubles majeurs de la vision (glaucome, cataracte, DMLA, presbytie non corrigée correctement),
- troubles neurologiques,
- troubles psychiatriques, troubles cognitifs,
- prise de médicaments pour améliorer l'équilibre,
- crises d'épilepsie.

2.3.3. Les caractéristiques des patients

Pour cette étude, les résultats ont été calculés sur 41 sujets. L'échantillon était composé de 31 femmes (75,61%) et 10 hommes (24,39%) (Tab.III.). L'âge moyen des participants était de : 72,88 ans, 73,45 pour les femmes et 76,5 pour les hommes. L'âge minimum est de 65 ans et le maximum de 87 ans. Plus de 67% des patients étaient en fin de rééducation suite à une opération pour pose d'une prothèse (Fig.5.), de genou (47%) ou de hanche (20%).

Tableau III : Présentation des effectifs selon le sexe et leurs données morphologiques.

| | Femmes | Hommes |
|------------------|------------------|-----------------|
| N= | 31 | 10 |
| % | 75,61 | 24,39 |
| Age (min-max) | 73,45 (65-87) | 76,5 (72-81) |
| Taille (cm) | 162,84 | 175,5 |
| Poids | 70,18 | 83,3 |
| IMC | 26,47 | 27,826 |

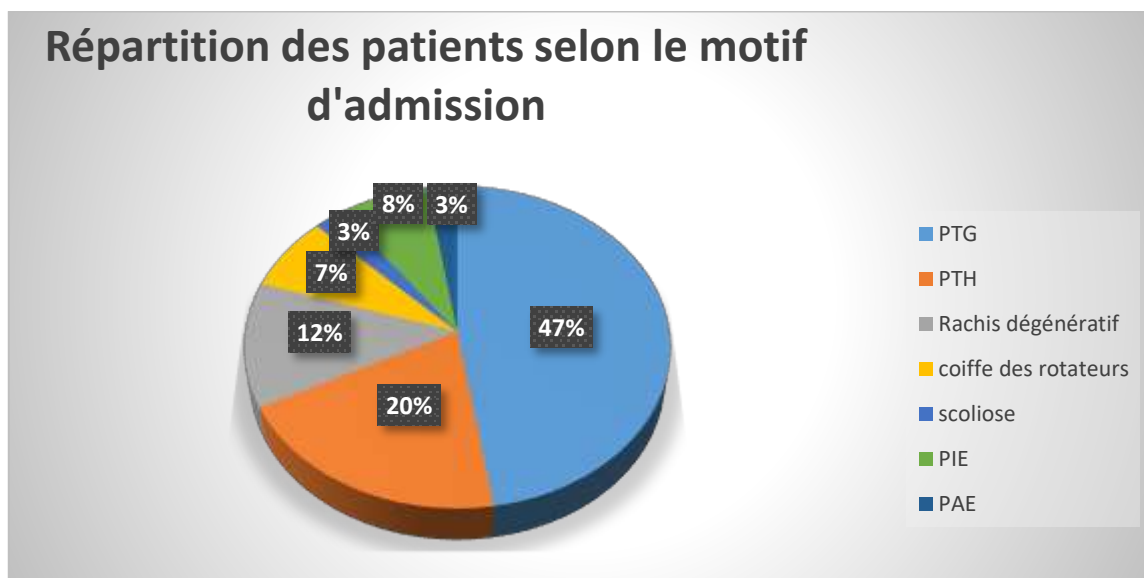


Figure 5 : Diagramme représentant le taux de répartition des patients en fonction du motif d'admission en %.

2.4. Le design de l'étude

Quatre sessions, à raison d'une matinée par mois ont été réalisées entre novembre 2018 et février 2019. Les sessions étaient distancées d'un mois afin d'avoir un turn-over de patient assez important au sein du centre. Pour les mesures du temps au TUG : il y avait un ou deux essais de familiarisation non chronométrés, puis trois prises de mesures chronométrées. La situation était choisie de manière aléatoire entre les trois conditions : TUG en réel, TUG en réalité virtuelle train à l'arrêt ou TUG en réalité virtuelle train en marche. Le but étant d'éviter que les phénomènes d'habituation ou de fatigue compromettent les résultats en répétant toujours les essais dans le même ordre. Cette phase durait quinze minutes.

A la suite des tests au TUG, les patients prenaient part à un entretien directif ; les questions étaient toujours posées dans le même ordre. Le temps nécessaire était de dix à quinze minutes. L'examineur était seul avec le patient dans une grande salle calme et bien éclairée. L'objectif était de remplir avec les patients le questionnaire. A la suite de ce questionnaire le patient devait remplir le FES I, aidé par l'examineur.

2.5. Les critères d'évaluation

2.5.1. Le temps au Timed Up and Go

Les temps seront exprimés en secondes. Nous évaluerons la présence d'une différence ou non, entre les moyennes des temps moyens des trois essais de chaque sujet, entre les trois conditions : R (réel), VR-(réalité virtuelle train à l'arrêt) et VR+ (réalité virtuelle train en marche). Cette différence sera considérée comme significative, si le test de Friedman donne une $p\text{-value} < \alpha = 0.05$.

Et dans une deuxième phase, l'adaptation (exprimée en secondes) sera évaluée ; c'est-à-dire les différences de temps (la moyenne des différences de temps entre chaque essai) pour le premier essai moins le deuxième ($\Delta T1-T2$), entre le deuxième et le troisième ($\Delta T2-T3$) et entre le premier et le troisième ($\Delta T1-T3$). Cette adaptation sera comparée entre chaque condition de réalisation. L'adaptation sera considérée comme significative, si elle représente plus de 5% du temps de passage du test, on calculera le ratio : $\mu(\Delta T_x - T_y) * 100 / \mu(\text{temps au TUG})$.

2.5.2. Le score au FES-I

Les scores du FES-I s'étendent de 16 à 64. Un score > 23 indique une peur de chuter élevée. Les catégories sont les suivantes :

- faible peur de chuter 16-19,
- peur de chuter modérée : 20-27,
- peur de chuter très élevée: 28-64.

Pour l'analyse des résultats : s'il manque plus de quatre réponses sur les seize items ils sont non interprétables. Les critères d'évaluation correspondent au score de manière quantitative, mais également de manière qualitative, selon la catégorie à laquelle appartient le patient.

2.5.3. Les corrélations : le coefficient R^2

Le coefficient de détermination (de Pearson ou Spearman) R^2 , permettra de mettre en évidence une corrélation plus ou moins importante entre les conditions du TUG et le score au FES-I. Plus R^2 sera proche de 1, plus la corrélation sera forte, plus R^2 est proche de 0, plus la corrélation est faible. Si $R^2=0$ il n'y a alors pas de corrélation. Si R , le coefficient de corrélation est négatif, la corrélation sera inversement proportionnelle, si R est positif, la corrélation sera proportionnelle. Nous allons également évaluer :

- la présence de corrélation entre les temps au TUG dans les trois conditions et le score au FES-I,
- la corrélation entre l'adaptation et les résultats au FES-I,
- la corrélation entre le FES-I et les items du questionnaire,
- la corrélation entre les temps au TUG dans les trois conditions et les items du questionnaire,
- entre les caractéristiques des sujets et le TUG, puis avec le FES-I.

2.6. Méthode d'analyse des résultats

Les résultats ont été recueillis sur des tableurs Excel®. Les statistiques ont été traitées avec l'extension d'excel, XLstat. Les vidéos ont été traitées sur le lecteur Windows media. Nous nous sommes également aidés de support de cours sur le traitement des données et des tutoriels en ligne de XLstat.

La première étape consistait à chercher les valeurs extrêmes ou outliers à l'aide du Grubbs test sur Xlstat et le test Z de normalisation ($(xi - \text{moyenne}) / \text{ecart-type}$). Une fois ces valeurs repérées, nous avons réalisé une imputation de celles-ci. Il s'agit de remplacer les valeurs aberrantes par une autre. Nous avons choisi de remplacer les outliers par les valeurs des médianes des échantillons ; la médiane est faiblement impactée par les extrêmes contrairement à la moyenne. C'est la technique la plus adaptée quand les données sont manquantes dû à la présence d'une variable externe. Ce sont des valeurs aberrantes unidimensionnelles ; c'est-à-dire présente uniquement par rapport à la variable temps.

Nous avons commencé par décrire les données statistiques des échantillons : moyenne, minimum et maximum et médiane, premier et troisième quartile... Nous avons évalué la normalité grâce au test de Shapiro-Wilk (adapté à des échantillons dont l'effectif est inférieur à 50). L'homogénéité des échantillons est testée grâce au test de Buishand. L'égalité des variances de chaque échantillon est vérifiée à l'aide du test de Levene, sur les moyennes.

Afin de comparer les résultats trois par trois (trois conditions comparées entre-elles), nous avons utilisé le test de Friedman, il s'agit d'un test non paramétrique, employé lorsque les variables étudiées sont appariées, comme dans notre cas. Nous avons répété la même opération pour comparer les adaptations $\Delta T1-T2$, $\Delta T2-T3$, $\Delta T1-T3$, selon les trois conditions de réalisation. Ensuite pour mettre en évidence les conditions, dans lesquelles les différences des moyennes sont significatives, nous avons utilisé des tests de comparaison multiples par paires, selon la procédure de Nemenyi (test bilatéral).

Les résultats au FES-I, ont été classés en trois catégories selon le score nommées : G1, G2, G3 et comparés au temps du TUG de deux manières :

- Comparaison des moyennes de G1 entre réel, VR- et VR+, idem pour G2 et G3, le test utilisé sera celui de Friedman,
- Comparaison des moyennes de G1, G2 et G3 en fonction de la modalité de passage, le test de l'ANOVA à mesures répétées a été utilisé (il permet de comparer l'effet de la condition et la peur de chuter (score FES-I) sur le temps au TUG).

Nous avons également comparé les temps au TUG en fonction de l'ordre de passage, avec le modèle d'ANOVA à mesures répétées. L'ordre est noté :

- A : le sujet débute le test dans l'environnement réel,
- B : le sujet débute le test dans l'environnement virtuel train à l'arrêt,
- C : le sujet débute le test dans l'environnement virtuel train en marche.
-

Enfin nous avons étudié les corrélations citées précédemment, grâce au coefficient de corrélation de Pearson.

3. RESULTATS

3.1. Analyse du FES-I

Concernant les résultats au FES-I (Annexe IV) : la moyenne est de 25 (min= 16, maxi= 39) et la médiane à 25 (1^{er} quartile à 21 et 3^{ème} à 28). Six sujets (14.63%) ont une faible peur de chuter, vingt (48.78%) ont une peur modérée et quinze (36.59%) un niveau de peur élevé de chuter. Les items avec la moyenne de réponse les plus élevées sont :

- le 11° : marcher sur une surface glissante (mouillée ou verglacée), $\mu = 3.07/4$,
- le 14° : marcher sur un sol inégal (caillouteux ou un trottoir non entretenu), $\mu = 2.20/4$,
- le 15° descendre ou monter une pente, $\mu = 2.0/4$.

Les items ayant la moyenne de réponse la plus faible $\mu = 1.12$ sont les 3, 12,16 : respectivement préparer des repas simples, rendre visite à un ami et sortir (service religieux, repas de famille) et faire le ménage ($\mu = 1.22$).

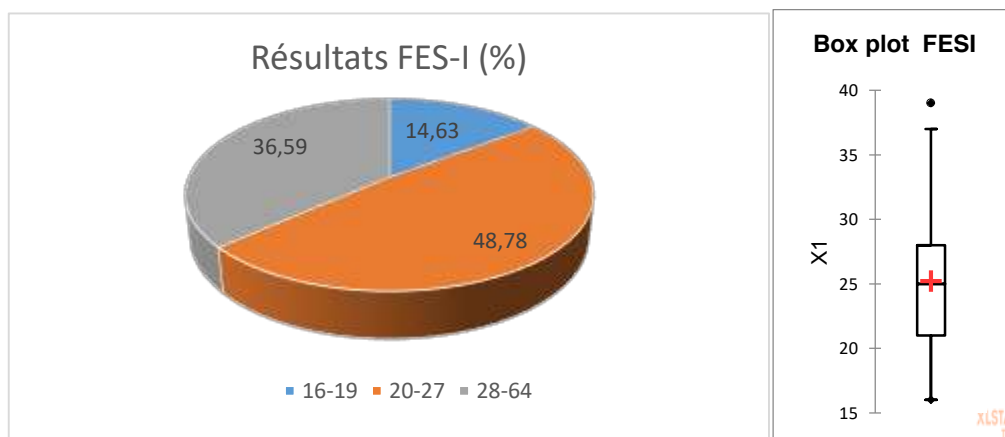


Figure 6 : Diagramme représentant la répartition des sujets par catégorie de peur de chuter et graphique boîte à moustache du FES-I.

La distribution des résultats à la FES-I, est symétrique et suit une loi normale (Fig.7.), de paramètres $N(25.195, 5.432)$. Nous avons utilisé le test de Shapiro-Wilk ($W = 0.958$, $p\text{-value} = 0.13$, $\alpha = 0.05$). Les données sont homogènes selon le test de Buishand ($p\text{-value} = 0.945$, $\alpha = 0.05$).

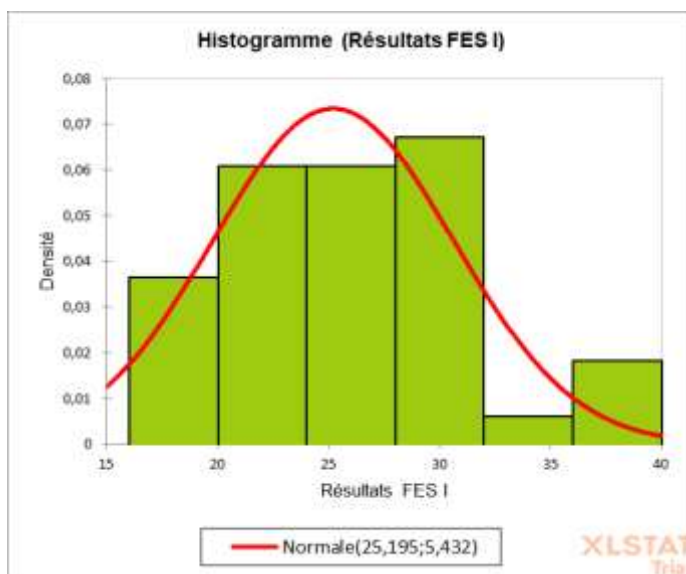


Figure 7 : Histogramme de la distribution de la variable « résultats FES-I ».

3.2. Le Timed Up and Go test

3.2.1. Descriptions des résultats au TUG (Annexe V)

Avant d'analyser les résultats, il a fallu traiter les « outliers ». Le diagramme en boîte à moustache (Fig.8.) et le GRUBBS test ont révélé la présence de valeurs extrêmes.

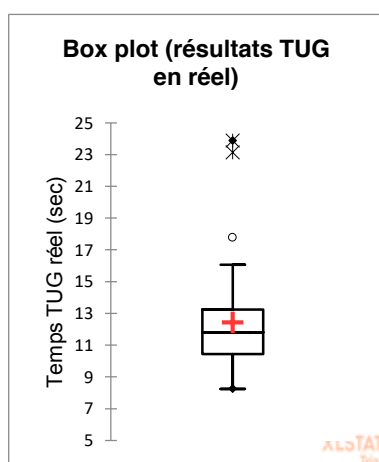


Figure 8 : Graphique boîte à moustache démontrant la présence de valeurs aberrantes, dans la condition « moyenne temps TUG en réel ».

Une fois les valeurs aberrantes traitées et remplacées par les valeurs de la médiane de chaque distribution, la moyenne est de 11.856 (min=8.243, max=17.763) avec une médiane à 11.808 (1^{er} quartile à 10.439, 3^{ième} quartile à 13.094). En réalité virtuelle train à l'arrêt, la moyenne est de 13.334 (min=9.36, max=20.62), la médiane à 13.544 (11.401,14.711). En réalité virtuelle train en marche, la moyenne est de 13.514 (min=8.981, max=21.248) avec une médiane à 13.362 (11.836,14.679). Les distributions sont homogènes, selon le test de Buishand (Fig.9.) et pour un risque $\alpha=0.05$. Les variables « moyenne au TUG » suivent une loi Normale (Tab.IV.) pour $\alpha=0.05$.

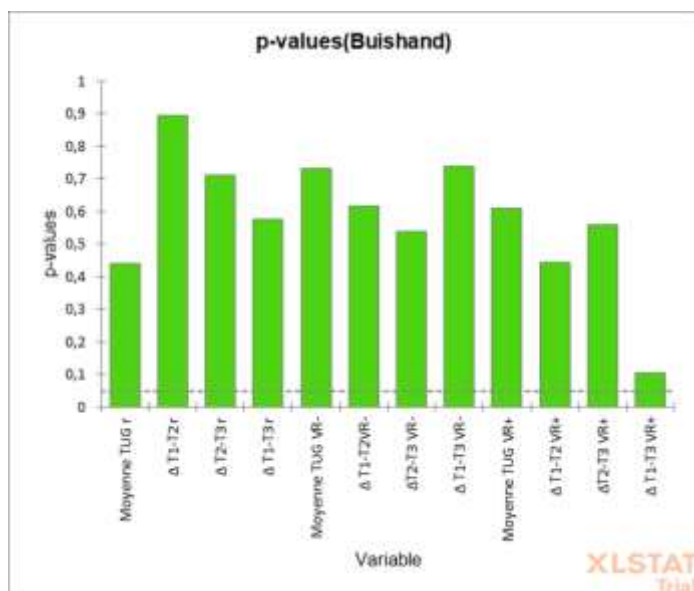


Figure 9 : Diagramme en bâtons des p-value pour chaque variable au test de Buishand.

Tableau IV : Présentation de la valeur des p-values pour chaque variable.

| Variable\Test | Shapiro-Wilk |
|-----------------|--------------|
| Moyenne TUG r | 0,259 |
| Δ T1-T2 r | 0,683 |
| Δ T2-T3 r | 0,373 |
| Δ T1-T3 r | 0,370 |
| Moyenne TUG VR- | 0,061 |
| Δ T1-T2 VR- | 0,527 |
| Δ T2-T3 VR- | 0,885 |
| Δ T1-T3 VR- | 0,764 |
| Moyenne TUG VR+ | 0,168 |
| Δ T1-T2 VR+ | 0,455 |
| Δ T2-T3 VR+ | 0,090 |
| Δ T1-T3 VR+ | 0,441 |

3.2.2. Comparaison des moyennes du TUG entre les trois conditions

La différence de temps est calculée entre les échantillons. Le test de Friedman a donné les résultats suivants : $p\text{-value} < 0.0001$, $\alpha = 0.05$ (Tab.V.). On rejette l'hypothèse H_0 : les échantillons proviennent de la même population. La différence critique est de 0.521. La différence de temps entre les moyennes au TUG en VR- et en réel est de 0.927 sec et entre les moyennes au TUG en VR+ et réel est de 1.049 secondes.

Tableau V : P-values pour la comparaison des moyennes au test de Friedman.

| | Moyenne TUG r | Moyenne TUG VR- | Moyenne TUG VR+ |
|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|
| Moyenne TUG r | 1 | 0,000 | < 0,0001 |
| Moyenne TUG VR- | 0,000 | 1 | 0,845 |
| Moyenne TUG VR+ | < 0,0001 | 0,845 | 1 |

Tableau VI : Différences de temps en secondes entre les moyennes au TUG dans les trois conditions.

| | Moyenne TUG r | Moyenne TUG VR- | Moyenne TUG VR+ |
|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|
| Moyenne TUG r | 0 | -0,927 | -1,049 |
| Moyenne TUG VR- | 0,927 | 0 | -0,122 |
| Moyenne TUG VR+ | 1,049 | 0,122 | 0 |

3.2.3. L'adaptation au TUG

La moyenne du ΔT_1-T_2 en réel, est de 0.464 (min= -1.738, maxi= 2.26) et la médiane de 0.634 (1^{er} quartile à -0.041 et le 3^{ème} à 1.125). En réalité virtuelle train à l'arrêt, la moyenne est égale à 0.251 (-2.041, 4.624), la médiane à 0.305 (-0.417, 0.618). En réalité virtuelle train en marche la moyenne est de 0.608 (-1.5094, 3.01) et la médiane de 0.511 (-0.246, 1.081).

Pour la différence entre le deuxième et le troisième essai : en réel la moyenne est de 0.269 (min=-0.916, max= 1.747) et la médiane 0.133 (-0.074, 0.738). En réalité virtuelle train à l'arrêt la moyenne est de 0.320 (-0.586, 1.73), la médiane est à 0.361 (-0.118, 0.486). En réalité virtuelle train en marche la moyenne est de 0.378 (-4.5, 1.363), la médiane est de 0.342 (0.015, 0.706).

Concernant $\Delta T1-T3$, la différence entre le premier essai et le dernier : la moyenne en réel est de 0.733 (min= -0.916, maxi=2.114) et la médiane 0.74 (0.24, 1.527). En réalité virtuelle train à l'arrêt la moyenne est de 0.587 (-1.453, 2.579), la médiane est à 0.418 (0, 1.172). En réalité virtuelle train en marche la moyenne est de 0.833 (-1.33, 4.74) et la médiane à 0.845 (0.415, 1.216).

Tableau VII : Valeurs des ratio $\mu(\Delta T_x-T_y)*100 / \mu(\text{temps au TUG})$, en pourcentage.

| Condition | $\Delta T1-T2$ | $\Delta T2-T3$ | $\Delta T1-T3$ |
|-----------|----------------|----------------|----------------|
| réel | 3,913 | 2,268 | 6,18 |
| VR- | 1,882 | 2,837 | 4,599 |
| VR+ | 4,397 | 2,368 | 6,162 |

Pour la suite de notre analyse des corrélations, nous avons utilisé uniquement $\Delta T1-T3$, car seule la différence entre le premier et le troisième essai est significative en réel et en réalité virtuelle train en marche (Tab.VII.). Le test de Friedman a donné des p-values > 0.05 , pour $\Delta T1-T2$, $\Delta T2-T3$, $\Delta T1-T3$ (Tab.VIII.).

Tableau VIII : P-values au test de Friedman pour l'adaptation au TUG.

| | $\Delta T1-T2$ | $\Delta T2-T3$ | $\Delta T1-T3$ |
|---------------------------|----------------|----------------|----------------|
| P-value ($\alpha=0,05$) | 0,599 | 0,599 | 0,35 |
| Significatif | Non | Non | Non |

Pour que la différence (Tab.IX.) soit significative, elle devait être au minimum de 0.521 sec.ondes.

Tableau IX : Différences de temps pour l'adaptation entre chaque condition.

| | $\Delta T1-T2 R$ | $\Delta T2-T3 R$ | $\Delta T1-T3 R$ |
|------|--------------------|--------------------|--------------------|
| VR- | -0,146 | 0,220 | -0,195 |
| VR+ | 0,073 | 0,073 | -0,317 |
| | $\Delta T1-T2 VR-$ | $\Delta T2-T3 VR-$ | $\Delta T1-T3 VR-$ |
| réel | 0,146 | -0,220 | 0,195 |
| VR+ | 0,220 | -0,146 | -0,122 |

| | Δ | T1-T2 | Δ | T1-T3 |
|------|----------|--------|----------|-------|
| | VR+ | VR+ | VR+ | |
| réel | -0,073 | -0,073 | 0,317 | |
| VR- | -0,220 | 0,146 | 0,122 | |

3.2.4. Comparaison des temps au TUG

3.2.4.1. Comparaisons selon la catégorie du FES-I

Les moyennes des temps moyens de chacune des conditions, ont été comparées grâce au test de Friedman au sein du G1 (p-value=0.311), pour G2 (p-value=0.011) et pour G3 (p-value=0), pour un seuil de risque à 95% ($\alpha=0.05$). Pour G2, les p-values entre TUG réel et TUG VR- sont de 0.032, entre réel et TUG VR+, la p-value est de 0.021. Pour G3, la p-value entre R et VR- est de 0.003 et entre réel et VR+ de 0. La différence critique (Tab.X.) pour G2 est de 0.746, pour G3 de 0.861.

Tableau X : P-values et différences de temps pour G2 et G3 au test de Friedman.

| | p-values pour G2 | | | Différences de temps | | |
|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------------|----------------|----------------|
| | Moy TUG R G2 | Moy TUG VR- G2 | Moy TUG VR+ G2 | Moy TUG R G2 | Moy TUG VR- G2 | Moy TUG VR+ G2 |
| Moy TUG R G2 | 1 | 0,032 | 0,021 | 0 | -0,8 | -0,85 |
| Moy TUG VR- G2 | 0,032 | 1 | 0,986 | 0,8 | 0 | -0,05 |
| Moy TUG VR+ G2 | 0,021 | 0,986 | 1 | 0,85 | 0,05 | 0 |
| | p-values pour G3 | | | Différences de temps | | |
| | MoyTUG R G3 | Moy TUG VR- G3 | Moy TUG VR+ G3 | MoyTUG R G3 | Moy TUG VR- G3 | Moy TUG VR+ G3 |
| MoyTUG R G3 | 1 | 0,003 | 0,000 | 0 | -1,200 | -1,400 |
| Moy TUG VR- G3 | 0,003 | 1 | 0,848 | 1,200 | 0 | -0,200 |
| Moy TUG VR+ G3 | 0,000 | 0,848 | 1 | 1,400 | 0,200 | 0 |

3.2.4.2. Comparaisons pour la même condition entre les 3 catégories au FES-I

Concernant la comparaison des trois groupes (G1, G2, G3) en fonctions des conditions de passage, l'ANOVA à mesures répétées, l'analyse des variances ($\alpha=0.05$) a donné :

- pour la condition de passage en réel, $Pr>F= 0.226$,
- pour la réalité virtuelle train à l'arrêt, $Pr>F=0.023$,
- pour la réalité virtuelle train en marche, $Pr>F= 0.058$.

Le test de Tukey de comparaison par paires, montre des différences entre les groupes du FES-I (G1, G2, G3) pour la même condition. L'intervalle de confiance est de 95% (Tab.XI.), la valeur critique est de 2.439. En réalité virtuelle train à l'arrêt, la différence est de 2.411 sec entre G3 et G1, avec une $Pr>Diff = 0.001$ et entre G3 et G2, la différence est de 2.12 sec pour une $Pr>Diff = 0.003$.

Tableau XI : Résultats du test de Tukey, pour la comparaison des moyennes en TUG en fonction de la catégorie au FES-I et de la condition de test.

| | Contraste | Différence | ence standar | valeur critique | Pr > Diff | Significatif |
|------|----------------------|------------|--------------|-----------------|-----------|--------------|
| Réal | Groupe-3 vs Groupe-1 | 1,373 | 1,445 | 2,439 | 0,329 | Non |
| | Groupe-3 vs Groupe-2 | 1,008 | 1,500 | 2,439 | 0,302 | Non |
| | Groupe-2 vs Groupe-1 | 0,365 | 0,399 | 2,439 | 0,916 | Non |
| VR- | Groupe-3 vs Groupe-1 | 2,411 | 4,096 | 2,439 | 0,001 | Oui |
| | Groupe-3 vs Groupe-2 | 2,120 | 3,601 | 2,439 | 0,003 | Oui |
| | Groupe-2 vs Groupe-1 | 0,291 | 0,495 | 2,439 | 0,874 | Non |
| VR+ | Groupe-3 vs Groupe-1 | 2,275 | 1,898 | 2,439 | 0,153 | Non |
| | Groupe-3 vs Groupe-2 | 1,887 | 2,226 | 2,439 | 0,080 | Non |
| | Groupe-2 vs Groupe-1 | 0,388 | 0,336 | 2,439 | 0,940 | Non |

3.2.5. Les temps au TUG en fonction de l'ordre de passage

Les p-values en fonction de l'ordre de passage au TUG sont les suivantes :

- en réel, $Pr>F = 0.216$,
- en VR-, $Pr>F = 0.076$,
- en VR+, $Pr>F = 0.246$.

Dans chacune des comparaisons des moyennes (test de Tukey) au TUG en fonction de l'ordre de passage (Tab.XII.), en fonction de la condition de réalisation, nous pouvons constater que les $Pr>Diff$ sont toujours supérieures à $\alpha = 0.05$.

Tableau XII : Résultats pour la comparaison des moyennes en fonction de l'ordre de passage.

| | Contraste | Différence | Erreur standard | Statistique critique | Pr > Diff | Significatif |
|------|--------------------|------------|-----------------|----------------------|-----------|--------------|
| réel | Ordre-B vs Ordre-C | 1,710 | 1,784 | 2,024 | 0,082 | Non |
| | Ordre-B vs Ordre-A | 0,584 | 0,861 | 2,024 | 0,394 | Non |
| | Ordre-A vs Ordre-C | 1,127 | 1,239 | 2,024 | 0,223 | Non |
| VR- | Ordre-B vs Ordre-A | 1,900 | 2,274 | 2,439 | 0,072 | Non |
| | Ordre-B vs Ordre-C | 1,768 | 1,497 | 2,439 | 0,304 | Non |
| | Ordre-C vs Ordre-A | 0,132 | 0,118 | 2,439 | 0,992 | Non |
| VR+ | Ordre-B vs Ordre-A | 1,517 | 1,706 | 2,439 | 0,216 | Non |
| | Ordre-B vs Ordre-C | 0,989 | 0,786 | 2,439 | 0,714 | Non |
| | Ordre-C vs Ordre-A | 0,528 | 0,443 | 2,439 | 0,898 | Non |

3.3. Analyse du questionnaire

Milieu de vie :

44% des participants vivent en appartement (n=17), 56% en maison (n=24). 67% vivent seuls (n= 26) et dans les 33% (n=13) restants : douze vivent en couple et une participante vit avec son fils. Six personnes vivent seules à leur domicile et ont des aides à domicile à raison de 9h par mois en moyenne.

Médicaments :

En moyenne les participants prennent quatre médicaments par jours (la médiane est de trois). Quatre sujets n'en prenaient pas du tout (Tab.XIII.). Un sujet prenait jusqu'à dix médicaments par jour. La distribution de la variable « médicament » ne suit pas de loi normale d'après le test de Shapiro-Wilk (p-value=0.048, $\alpha=0.05$).

Tableau XIII : Répartition des effectifs en fonction du nombre de médicaments pris par les sujets.

| Nb médicaments | Effectif | % |
|------------------|----------|-------|
| 0 | 4 | 9.756 |
| <4 (y compris 0) | 21 | 51.22 |
| ≥4 | 20 | 48.78 |

Chute :

Dix patients étaient chuteurs et 31 non-chuteurs (Fig.10.). Parmi les chuteurs la moyenne est de 1.6 chutes dans les douze derniers mois. Six ont fait une chute dans les douze derniers mois, trois en ont fait deux et une en a fait quatre. La variable « chutes » ne suit pas une loi Normale. ($p\text{-value} < 0.0001$, $\alpha = 0.05$)

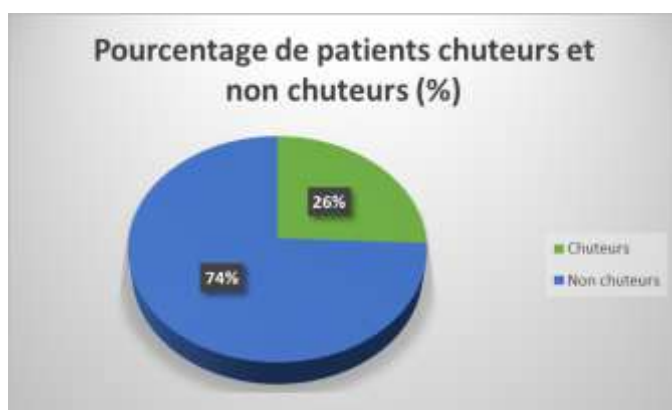


Figure 10 : diagramme représentant la répartition de sujets chuteurs et non chuteurs.

Perception de la réalité virtuelle

87.80% des sujets n'ont pas eu peur de chuter dans l'environnement virtuel, 58.54% se sentaient en confiance dans l'environnement virtuel et 56.10% ont beaucoup aimé expérimenter l'immersion dans l'environnement virtuel (Tab.XIV.). Aucune des variables du questionnaire au sujet de la perception de la réalité virtuelle ne suit de loi Normale. Pour chaque variable on retrouve une $p\text{-value} < 0.0001$, pour un seuil de risque α de 5%.

Tableau XIV : Effectifs et % de personnes ayant répondu aux questions sur la perception de la réalité virtuelle.

| Peur quotidien | N= | % | Peur chuter en VR | N= | % |
|-----------------------|----|-------|-------------------|----|-------|
| pas peur | 19 | 46,34 | Pas peur | 36 | 87,80 |
| un peu peur | 18 | 43,90 | un peu peur | 4 | 9,76 |
| assez peur | 4 | 9,76 | Assez peur | 1 | 2,44 |
| très peur | 0 | 0 | très peur | 0 | 0 |
| Confiance en VR | | | Aimé la VR | | |
| Pas du tout confiance | 0 | 0 | Pas du tout aimé | 0 | 0 |
| Un peu confiance | 2 | 4,88 | Un peu aimé | 3 | 7,32 |
| assez confiance | 15 | 36,59 | Assez bien aimé | 15 | 36,59 |
| très confiance | 24 | 58,54 | Beaucoup aimé | 23 | 56,10 |

3.4. L'analyse des corrélations

3.4.1. Entre le TUG et le FES-I

Les coefficients de détermination de Pearson (Tab.XV.) sont les suivants $R^2=0.027$, 0.079, 0.051, pour les trois conditions respectivement en réel, VR train à l'arrêt et VR train en marche. On retrouve un coefficient de corrélation de 0.164 en condition réel, 0.281 en VR train à l'arrêt et 0.225 en VR train en marche.

Tableau XV: Coefficients de détermination et de corrélation entre le TUG et le FES-I.

| | FES-I et Moyenne TUG | | |
|---------------------|----------------------|---------|---------|
| Condition | TUG R | TUG VR- | TUG VR+ |
| p-value | 0,305 | 0,075 | 0,157 |
| Coeff détermination | 0,027 | 0,079 | 0,051 |
| Coeff corrélation | 0,164 | 0,281 | 0,225 |

3.4.2. Corrélation entre adaptation et FES-I

Concernant la corrélation entre l'adaptation $\Delta T1-T3$ et le score au FES-I (Tab.XVI.), on retrouve les coefficients suivants : 0.037, 0.011 pour les conditions respectivement réel, réalité virtuelle train à l'arrêt et train en marche. Cette corrélation semble être inversement proportionnelle en réel et train en marche ; les coefficients de corrélation R sont négatifs ($R=-0.191$, $R=-0.103$).

Tableau XVI: Coefficients de détermination et de corrélation entre le TUG et le FES-I.

| | Adaptation Fes-I | |
|---------------------|------------------|--------------------|
| Condition | $\Delta T1-T3$ r | $\Delta T1-T3$ VR+ |
| p-value | 0,23 | 0,52 |
| Coeff détermination | 0,037 | 0,011 |
| Coeff corrélation | -0,191 | -0,103 |

3.4.3. Corrélation TUG et questionnaire

Concernant le coefficient de détermination de Pearson, la p-value est supérieure à $\alpha=0.05$, lorsque l'on compare les moyennes des temps au TUG avec, le nombre de médicaments, le nombre de chutes, l'attrait pour la VR et la peur au quotidien (Tab. XVII.)

Tableau XVII : compare les coefficients de détermination de Pearson et la p-value

| Variables | nombres médicaments-TUG | | | nombre chutes-TUG | | |
|---------------------------|-------------------------|---------|---------|-------------------|---------|---------|
| | TUG R | TUG VR- | TUG VR+ | TUG R | TUG VR- | TUG VR+ |
| coeff détermination pears | 0,007 | 0,004 | 0,007 | 0,005 | 0,001 | 0,001 |
| p-value | 0,593 | 0,705 | 0,608 | 0,648 | 0,851 | 0,845 |
| Variables | Apprécié la VR | | | Peur au quotidien | | |
| | TUG R | TUG VR- | TUG VR+ | TUG R | TUG VR- | TUG VR+ |
| coeff détermination pears | 0,036 | 0,000 | 0,004 | 0,001 | 0,003 | 0,002 |
| p-value | 0,232 | 0,967 | 0,682 | 0,838 | 0,737 | 0,788 |

Pour la corrélation (Tab.XVIII.) entre la peur en réalité virtuelle et la moyenne des temps au TUG en VR-, le coefficient de détermination est de 0.084 (p-value=0.066) et en VR+ 0.091 (p-value = 0.056). Le coefficient de détermination entre le degré de confiance dans l'environnement virtuel et la moyenne des temps au TUG est de 0.105 en VR- (p-value=0.039) et est de 0.108 en VR+ (p-value=0.036).

Tableau XVIII: Coefficients de détermination de Pearson et les p-values, pour les corrélations entre le TUG et la peur en VR et la confiance en VR.

| Condition | Peur en VR | | | Confiance en VR | | |
|---------------------|------------|---------|---------|-----------------|---------|---------|
| | TUG R | TUG VR- | TUG VR+ | TUG R | TUG VR- | TUG VR+ |
| p-value | 0,924 | 0,066 | 0,056 | 0,831 | 0,039 | 0,036 |
| Coeff détermination | 0 | 0,084 | 0,091 | 0,001 | 0,105 | 0,108 |
| Coeff corrélation | 0,015 | 0,289 | 0,301 | -0,034 | -0,324 | -0,329 |

3.4.4. Corrélation FES-I et questionnaire

Concernant l'étude des corrélations entre le score au FES-I et les items du questionnaire, on retrouve que les p-value sont supérieures à $\alpha=0.05$. (Tab.XIX.)

Tableau XIX : Coefficients de détermination de Pearson et les p-values

| Condition | Corrélation FES-I et questionnaire | | | | | |
|---------------------|------------------------------------|--------|-----------------|------------|---------------|-------------------|
| | médicaments | chutes | Confiance en VR | peur en VR | attrait en VR | peur au quotidien |
| p-value | 0,6 | 0,634 | 0,033 | 0,28 | 0,757 | 0,096 |
| Coeff détermination | 0,007 | 0,006 | 0,112 | 0,03 | 0,002 | 0,07 |
| Coeff corrélation | 0,084 | 0,077 | -0,334 | 0,173 | -0,050 | 0,264 |

3.4.5. Corrélation adaptation et questionnaire

Nous avons également comparé l'adaptation $\Delta T1-T3$, dans chacune des trois conditions aux résultats du questionnaire. Pour les coefficients de détermination de Pearson (Tab.XX.), les p-value ont été calculées dans un premier temps.

Tableau XX : P-values et des coefficients de corrélation de Pearson, entre le questionnaire et l'adaptation $\Delta T1-T3$.

| | Coefficients de corrélation | | | | |
|-----------|-------------------------------|--------|-----------------|-------------------|------------|
| | nb med | Chutes | Confiance en VR | Peur chuter en VR | Aimé la VR |
| T1-T3 R | -0,094 | -0,149 | 0,139 | 0,058 | 0,146 |
| T1-T3 VR+ | 0,039 | 0,055 | -0,106 | 0,119 | -0,230 |
| | P-values | | | | |
| T1-T3 R | 0,560 | 0,351 | 0,386 | 0,718 | 0,361 |
| T1-T3 VR+ | 0,808 | 0,733 | 0,511 | 0,460 | 0,148 |
| | Coefficients de détermination | | | | |
| T1-T3 R | 0,009 | 0,022 | 0,019 | 0,003 | 0,021 |
| T1-T3 VR+ | 0,002 | 0,003 | 0,011 | 0,014 | 0,053 |

3.4.6. Corrélations avec les caractéristiques des patients

3.4.6.1. Corrélations avec le TUG et le FES-I

Les p-values des corrélations entre le TUG et les caractéristiques morphologiques (âge, IMC, sexe) sont supérieures à $\alpha=0.05$.(Tab.XXI.)

Tableau XXI : p-values des corrélations entre les caractéristiques morphologiques avec le TUG et le FES-I.

| Variables | p-values | | |
|-----------------|----------|-------|-------|
| | Age | IMC | Sexe |
| Moyenne TUG r | 0,171 | 0,475 | 0,777 |
| Moyenne TUG VR- | 0,214 | 0,489 | 0,565 |
| Moyenne TUG VR+ | 0,354 | 0,465 | 0,548 |
| Résultats FES I | 0,602 | 0,136 | 0,790 |

3.4.6.2. Corrélation entre adaptation et caractéristiques morphologiques

Pour les corrélations entre les caractéristiques des sujets (âge, IMC, sexe), et $\Delta T1-T3$, on retrouve les coefficients de corrélation R suivants (Tab.XXII.) :

- entre $\Delta T1-T3$ et l'âge en réel, $R = -0.07$, $p\text{-value} = 0.665$,
- entre $\Delta T1-T3$ en réel et l'IMC, $R = 0.102$, $p\text{-value} = 0.525$,
- entre $\Delta T1-T3$ en réel et le sexe, $R = -0.075$, $p\text{-value}=0.641$,
- entre $\Delta T1-T3$ en VR+ et l'âge, $R=0.253$, $p\text{-value}=0.11$,
- entre $\Delta T1-T3$ en VR+ et l'IMC, $R= -0.387$, $p\text{-value}=0.012$,
- entre $\Delta T1-T3$ en VR+ et le sexe, $R=0.254$, $p\text{-value} = 0.109$.

Tableau XXII : p-value et coefficients de corrélation de Pearson entre les caractéristiques des sujets et l'adaptation $\Delta T1-T3$.

| Variables | Coefficients de corrélation | | |
|-------------------------------|-----------------------------|--------|--------|
| | Age | IMC | Sexe |
| $\Delta T1-T3$ r | -0,070 | 0,102 | -0,075 |
| $\Delta T1-T3$ VR+ | 0,253 | -0,387 | 0,254 |
| P-values | | | |
| $\Delta T1-T3$ r | 0,665 | 0,525 | 0,641 |
| $\Delta T1-T3$ VR+ | 0,110 | 0,012 | 0,109 |
| Coefficients de détermination | | | |
| $\Delta T1-T3$ r | 0,005 | 0,010 | 0,006 |
| $\Delta T1-T3$ VR+ | 0,064 | 0,150 | 0,065 |

4. DISCUSSION

4.1. Interprétation des résultats

4.1.1. Les moyennes des temps au TUG

Il existe une différence significative entre les moyennes d'après le test de Friedman ($p\text{-value}<0.0001$). Les moyennes des temps du TUG en réalité virtuelle train en marche et train à l'arrêt sont significativement différentes, comparées à la moyenne des temps au TUG en

réel, après vérification avec la procédure de Nemenyi. La différence entre la moyenne des temps en réel et environnement virtuel train en marche est de 1.638 secondes. La différence entre les temps des conditions en réel et train à l'arrêt est de 1.478 secondes. La différence de temps est toujours en faveur de la réalité virtuelle ; les moyennes sont plus élevées en réalité virtuelle (train en marche : 13.514, train à l'arrêt : 13.334). Nous pouvons donc confirmer que la réalité virtuelle a un impact sur le temps au TUG et donc sur l'équilibre dynamique, chez les personnes âgées. Il n'y a cependant pas de différences significatives entre les deux conditions en réalité virtuelle train en marche et à l'arrêt ; la différence est de 0.180 secondes. Le défilement du paysage à travers les fenêtres du train n'a pas perturbé les sujets lors du test en réalité virtuelle train en marche.

L'équilibre est impacté par la réalité virtuelle. L'étude de **Robert et AL** (46) a également démontré un impact de la réalité virtuelle sur l'équilibre dynamique lorsque des sujets sains étaient immergés, via un HMD dans un environnement physique filmé. Cet effet semble être dû à une discordance entre les informations visuelles et sensori-motrices, provoquant des cybercinétoses.

De même, l'étude de **Morel et Al** (47) a prouvé que l'équilibre statique était impacté par la réalité virtuelle, lorsque les participants doivent éviter des balles virtuelles. Ils ont observé que les déplacements latéraux du centre de gravité étaient plus importants en réalité virtuelle qu'en réel et les réactions d'évitement des sujets étaient exagérées et retardées par rapport au même test dans l'environnement réel.

4.1.2. L'adaptation à la réalité virtuelle

Concernant l'adaptation à la réalité virtuelle, il n'y a pas de différence significative entre les trois conditions pour $\Delta T1-T2$ (p -value=0,599), $\Delta T2-T3$ (0,599), $\Delta T1-T3$ (0,350). L'adaptation à la réalité virtuelle n'a pas pu être mise en évidence dans ces conditions. On peut penser que :

- trois essais ne suffisent pas à mettre en évidence un phénomène d'adaptation,
- il aurait fallu réaliser plusieurs sessions de mesure sur les mêmes personnes ; afin d'étudier l'adaptation à moyen terme et à long terme.

4.1.3. Le FES-I

Les sujets ont été divisés en trois catégories selon le niveau d'inquiétude en regard des chutes. En moyenne ($m=25$), la population a une forte inquiétude de chuter. Six individus ont une faible peur de chuter ($m=17$), vingt ont une peur modérée ($m=23,2$) et quinze ont une peur très élevée de chuter ($m=30,2$). Les situations de la vie quotidienne où les sujets ont le plus peur de chuter sont :

- le 11°: marcher sur une surface glissante (mouillée ou verglacée), $m= 3.07/4$,
- le 14°: marcher sur un sol inégal (caillouteux ou un trottoir non entretenu,), $m = 2.20/4$,
- le 15° descendre ou monter une pente, $m = 2,0/4$.

En revanche, les sujets ont moins peur dans les situations suivantes :

- préparer des repas simples,
- rendre visite à un ami ou à une connaissance,
- sortir (par ex : service religieux, repas de famille, rencontre d'une association),
- faire son ménage.

Au vu des résultats, la population étudiée de personnes âgées a une forte inquiétude quant aux chutes, surtout par rapport à la surface sur laquelle elle va se déplacer.

4.1.4. Le questionnaire

Concernant le lieu de vie des participants, la majorité vit dans une maison ($n=24$). La moitié des personnes résidant dans une maison vit seule ($n=13$). Sur les 17 personnes qui vivent en appartement, 88% vivent seuls ($n=15$). Sur l'ensemble des participants, qui vivent seuls (68%, $n=28$), moins d'un tiers a des aides à domicile ($n=8$), les deux tiers ($n=20$) n'ont pas d'entourage, ni d'aide à domicile, ces personnes sont les plus isolées.

La moitié prend moins de quatre médicaments, l'autre moitié est concernée par le risque de polymédication (médicaments de classes thérapeutiques différentes). Neuf patients (22%) prennent des psychotropes, huit d'entre eux sont concernés par la polymédication. Les sujets chuteurs ($n=10$) représentent 24% de l'échantillon. Quatre d'entre eux sont des chuteurs

à répétition et quatre autres prennent des psychotropes. En revanche deux participants sont chuteurs à répétition et prennent des psychotropes.

Les résultats du questionnaire concernant la perception de la réalité virtuelle prouvent qu'elle apporte un intérêt ludique et qu'elle n'est pas dangereuse, puisque les patients se sentent en sécurité lorsqu'ils sont immergés. La moitié des participants a beaucoup aimé être immergé dans l'environnement virtuel, et un tiers ont assez bien aimé. Seulement trois sujets ont peu apprécié. De plus, les sujets se sentaient en confiance dans l'environnement (60%) et n'ont pas eu peur de chuter lorsqu'ils étaient immergés dans le train virtuel (88%).

4.1.5. Les corrélations

4.1.5.1. TUG et FES-I

Les corrélations entre les TUG et le FES-I ne sont pas significatives ; les coefficients de détermination étant de 0.027 (p-value=0.305), 0.079 (p-value=0.075) et 0.051 (p-value=0.157) respectivement pour les conditions en réel, VR- et VR+. La condition de test « réalité virtuelle train à l'arrêt » est la seule présentant une corrélation avec le FES-I qui tend à être significative (p-value= 0.079), pour un coefficient de corrélation de Pearson égal à 0.281. D'autres études s'accordent à dire qu'il existe une corrélation positive entre le FES-I et le TUG. L'étude de **Park JH. Et Al** (44) a trouvé un coefficient de corrélation de Pearson à 0.333 entre le temps au TUG et le score au FES-I. Plus le temps au TUG est élevé et plus le score au FES-I, donc la peur de chuter, est élevée. Il y a donc une corrélation positive entre le résultat du FES-I et le temps au TUG.

La peur de chuter reflète donc les capacités physiques des individus ; s'ils présentent de moins bonnes capacités physiques, donc un moins bon résultat au TUG, ils auront également un score plus élevé au FES-I.

Nous avons pu constater qu'il n'y avait aucune corrélation entre l'adaptation $\Delta T1-T3$ et les items du questionnaire. (Tab.XX.)

4.1.5.2. Adaptation et FES-I

Les corrélations entre l'adaptation $\Delta T1-T3$ (la différence de temps entre le premier et le troisième essai) et les scores du FES-I, ne sont pas significatives en réel et en virtuel train en marche. On retrouve les coefficients de détermination en réel $R^2=0.027$ (p -value=0.23) et en VR+ $R^2=0.011$ (p -value=0.52). Néanmoins cette corrélation semble inversement proportionnelle : on retrouve R, le coefficient de corrélation égal à -0.191 en réel et égal à -0.103 en VR+. Cela semble signifier que plus le score au FES-I est élevé, moins la différence de temps entre le premier et le troisième essai est importante. Plus les individus ont peur de chuter, moins ils s'amélioreront entre les 3 essais au TUG, donc ils s'adaptent moins bien, néanmoins cette corrélation n'est pas significative.

4.1.5.3. TUG et questionnaire

L'analyse statistique a montré qu'il n'y avait pas de corrélation entre les temps au TUG et le nombre de médicaments, le nombre de chutes, la peur de chuter au quotidien et l'appréciation de la VR. Les seules corrélations mises en évidence sont les suivantes :

- entre le temps au TUG en VR- et le degré de confiance dans l'environnement virtuel (p -value = 0.066)
- entre le temps au TUG en VR+ et le degré de confiance dans l'environnement virtuel (p -value=0.056),
- entre le TUG en VR- et la peur de chuter dans l'environnement virtuel (p -value=0.039),
- entre le TUG en VR+ et la peur de chuter dans l'environnement virtuel (p -value=0.036).

Dans le premier cas, la corrélation entre les temps au TUG et le degré de confiance en VR tend à être inversement proportionnelle : $R= -0.324$ en réalité virtuelle train à l'arrêt et $R= -0.329$ en réalité virtuelle train en marche. Nous pouvons déduire que plus le niveau de confiance dans l'environnement virtuel est élevé, moins le sujet mettra de temps pour réaliser le test.

Dans le second cas, pour la corrélation entre le TUG et la peur de chuter dans l'environnement virtuel : $R=0.289$ en VR- et $R=0.301$ en VR+. Nous pouvons en déduire que plus la peur de chuter est élevée, plus il mettra de temps pour réaliser le TUG en réalité virtuelle train à l'arrêt ou train en marche.

4.1.5.4. FES-I et questionnaire

Seule une corrélation a été mise en évidence entre le FES-I et le niveau de confiance dans l'environnement virtuel (p -value = 0.033, $R=-0.334$, $R^2=0.112$). La corrélation est inversement proportionnelle entre le score au FES-I et le degré de confiance dans l'environnement virtuel, ce qui signifie que plus la peur de chuter est élevée et moins l'individu sera en confiance dans l'environnement virtuel. Les individus qui ont peur de chuter dans leur quotidien se sentent moins en confiance dans un environnement virtuel.

4.1.5.5. Corrélation avec les caractéristiques des participants

Aucune corrélation n'a pu être mise en évidence entre le TUG et les caractéristiques des patients (âge, sexe et IMC), ni avec le FES-I. L'étude de **Benavent-Caballer et AL** (45) montre aussi qu'il n'y a pas de différence significative entre le temps au TUG et l'IMC. En revanche une corrélation est retrouvée entre l'adaptation $\Delta T1-T3$ en réalité virtuelle train en marche avec l'IMC (p -value=0.012). Cette corrélation est inversement proportionnelle ($R=-0.387$). Nous pouvons en déduire que plus l'IMC du participant est élevé et moins il est en capacité de s'adapter à la réalité virtuelle.

4.1.6. Comparaison résultats au TUG en fonction score au FES-I

4.1.6.1. Comparaison des temps moyens en fonction du résultat au FES-I

Pour le premier groupe, à faible risque de chute, il n'y a pas de différences significatives entre les trois conditions, d'après le test de Friedman, la p -value étant à 0.311 ($\alpha=0.05$).

Pour G2 et G3, on retrouve des différences significatives entre les trois conditions, entre réel et réalité virtuelle train à l'arrêt (p -value = 0.032), pour une différence de 0.8 sec en faveur du VR-, entre l'essai en réel et réalité virtuelle train en marche (p -value= 0.021), la différence est de 0.85 sec en faveur de la réalité virtuelle pour le deuxième groupe, à risque modéré de chute. De même pour le troisième groupe, dont le niveau d'inquiétude est élevé, la différence est significative entre les conditions de passage en réel et VR- (p -value = 0.003) et

en réel et VR+ (p-value =0.000). La différence de temps entre les moyennes en réel et le VR- est de 1.2 sec et entre les moyennes en réel et VR+ de 1.4 sec.

Pour conclure, la différence entre les trois conditions n'est significative que dans les groupes G2 et G3. Nous pouvons en déduire que plus la peur de chuter est importante, plus le temps au TUG en réalité virtuelle sera impacté, donc plus l'effet de la réalité virtuelle sera important. La différence de temps entre le réel et le VR est d'autant plus élevée que la peur de chuter est grande. Plus la personne a peur de chuter, plus l'impact de la réalité virtuelle est important.

4.1.6.2. Comparaison des groupes en fonction de la condition de passage

L'ANOVA à mesures répétées a donné les résultats suivants :

- Il n'y a pas de différence significative entre les trois groupes en condition de passage dans l'environnement réel (p-value =0.226), ni en condition de réalité virtuelle train en marche (p-value=0.058)
- P-value = 0.001 pour le test en réalité virtuelle train à l'arrêt entre G3 et G2,
- P-value = 0.0038 entre G3 et G1 pour le VR-.

La seule différence de temps constatée entre les trois groupes en fonction de la condition du test est retrouvée lors des passages en condition de réalité virtuelle train à l'arrêt. La différence est significative entre G3 et G2 (2.411 secondes) et entre G3 et G1 (2.12 secondes).

4.2. Les limites de l'étude.

4.2.1. La population

Concernant les deux « outliers » : l'un d'entre eux avait des difficultés à comprendre les consignes dues à un déficit auditif. Pour comprendre leurs difficultés, nous avons regardé les vidéos de leur passage ; l'un a marqué des pauses car il présentait des difficultés de compréhension des consignes : « ne vous arrêtez pas au trait noir » et l'autre n'avait pas bien compris la consigne « asseyez-vous » et il présentait une très mauvaise adaptation à la VR.

Concernant les personnes ayant été exclues pendant le test :

- une a éprouvé des sensations de claustrophobies dues au port du casque,
- une patiente a également eu des nausées à cause de la prise le matin même d'antalgique de pallier trois,
- une patiente n'a pas réussi à finir les essais dans les trois conditions : elle était trop fatiguée lors du troisième essai.

Il existe des biais de sélection, en rapport avec le recrutement, étant donné que les patients étaient tous hospitalisés au centre de rééducation Florentin. Les patients n'ont pas été tirés au sort pour participer à l'étude, mais ils ont été sélectionnés par l'équipe médicale.

La sélection des patients aurait dû être équitable entre hommes-femmes et chuteurs et non chuteurs, afin de comparer des groupes de même effectif ayant les mêmes caractéristiques. De même pour les groupes catégorisés en fonction du score au FES-I ; la taille des trois échantillons n'était pas identique.

Les résultats ne peuvent être valides que sur une population de personnes âgées, étant donné qu'une personne plus jeune ne sera pas perturbée par la modification de l'environnement.

Nous avons choisi de prendre une population de personne en fin de séjour car il y avait moins de risque de troubles de l'équilibre du au problème orthopédique.

4.2.2. Concernant le protocole

4.2.2.1. Les tests au TUG

Les conditions du test d'origine ne sont pas exactement respectées ; la chaise ne pouvait pas être collée à un mur. Il était nécessaire de laisser une distance de 2m derrière la chaise pour pouvoir filmer à l'aide d'un smartphone chaque passage au test.

Le chronomètre manuel est moins efficace que les capteurs, c'est pourquoi nous avons utilisé ces derniers. Nous enregistrons les temps de manière technologique puis nous comparons les temps visuellement sur des vidéos au millième de seconde.

La présence des examinateurs dans la salle lors du TUG pouvait influencer les résultats des patients. Principalement lorsque le test était réalisé dans l'environnement réel, car pendant que le patient portait le visiocasque, il ne pouvait pas voir les examinateurs, ni les entendre. Le comportement des examinateurs peut également biaiser les résultats du sujet, ils devaient s'abstenir d'encourager les sujets.

Il n'y a pas de comparaison à un groupe témoin qui répèterait neuf fois le TUG dans l'environnement réel. Pour cette raison, nous ne pouvons pas comparer la fatigabilité du patient entre la réalisation en réalité virtuelle et en condition réelle. Le phénomène de fatigabilité peut être mis en évidence par une augmentation du temps.

Une analyse qualitative de la marche lors du TUG aurait également pu être proposée. Cette option n'a cependant pas été choisie puisqu' au vu des différents passages, et étant donné que les patients, tous en fin de rééducation, ne présentaient pas de boiteries.

Le casque de par son poids, peut potentiellement engendrer un déséquilibre sur le sujet. Cette notion n'a pas été prise en compte dans l'analyse des statistiques.

Nous pourrions comparer une situation où le patient réalise seul le TUG, hors environnement médical et une situation en réalité virtuelle. Ce protocole semblait trop compliqué à mettre en place et également dangereux pour le patient, ce n'était donc pas envisageable.

4.2.2.2. L'entretien

Il y a un biais dû au choix de réaliser un entretien semi-directif pour remplir le questionnaire et le FES-I. Les participants pouvaient être gênés de donner leur réel niveau de peur, face à un interrogateur aux vues des situations évoquées dans le FES-I. Ils ont peut-être pu donner des réponses erronées, c'est-à-dire un niveau d'inquiétude inférieur à celui réellement ressenti. Néanmoins l'entretien permettait de mieux expliquer les questions aux participants, s'ils n'avaient pas compris et de s'assurer qu'ils répondent bien à toutes les questions.

Le comportement de l'interviewer pouvait également influencer le résultat. L'interrogateur pouvait inciter le sujet à surévaluer sa peur de chuter, en lui donnant des

exemples de situation à risques ou en poussant le patient à choisir le niveau d'inquiétude le plus important si le participant hésitait entre deux réponses.

4.2.3. Concernant l'analyse statistique

Nous avons comparé l'adaptation $\Delta T1-T3$ de chacune des conditions aux résultats du FES-I et du questionnaire, or nous avons préalablement constaté qu'il n'y avait de différences significatives entre les trois conditions. Cela nous permettait de faire une double vérification des corrélations.

Pour l'imputation des valeurs extrêmes, nous avons choisi de les remplacer par la valeur de la médiane de chaque série statistique. Cette méthode n'est pas la plus robuste, mais la médiane de la série statistique n'est pas impactée par les valeurs extrêmes, contrairement à la moyenne. Beaucoup de méthodes existent et notamment l'imputation multiple, très robuste mais plus compliquée à utiliser.

Nous avons fait le choix de comparer les moyennes de chaque échantillon, néanmoins pour avoir une plus grande robustesse des résultats, nous aurions dû prendre la médiane. Etant donné que les valeurs extrêmes ou aberrantes ont été traitées, elles n'influençaient plus la moyenne. Dans les distributions des variables « moyenne au TUG », la médiane est égale à la moyenne (± 0.2 près), ce qui signifie que la distribution de chaque variable est symétrique.

Le test de Friedman est un test non-paramétrique, il aurait été préférable d'utiliser un test plus robuste comme l'ANOVA à mesures répétées pour comparer les moyennes dans les trois conditions du TUG ou une ANOVA à mesures répétées avec les modèles mixtes. Ceci n'a pas été possible dans ces conditions car il fallait plusieurs facteurs qualitatifs explicatifs.

De même, pour étudier les corrélations entre les variables, nous avons utilisé le coefficient de corrélation de Pearson, test non-paramétrique. Nous avons dans un premier temps modélisé les corrélations avec le modèle de régression linéaire, les résidus suivaient une loi Normale mais ils n'étaient pas homogènes.

Concernant l'adaptation, nous l'avons considérée, comme étant significative au-delà de 5%, ce seuil a été choisi délibérément, aucune étude ne porte sur ce sujet.

L'analyse statistique n'a pas été réalisée par un statisticien professionnel. Les outils utilisés étaient abordables avec peu d'expérience mais nécessitaient tout de même d'avoir des connaissances théoriques. Les données auraient pu être exploitées de façon plus optimale par un professionnel.

4.3. Intérêt de l'étude

Cette étude a permis de démontrer que la réalité virtuelle a un effet sur l'équilibre dynamique de la personne âgée, lors de la réalisation du TUG. Ainsi, la réalité virtuelle immersive permet de donner une validité écologique à ce test d'évaluation de l'équilibre dynamique. En effet le train est un environnement réaliste, dans lequel le patient accomplit une tâche réaliste : aller à la valise et faire demi-tour, similaire à une tâche de son quotidien.

La réalité virtuelle immersive peut être utilisée dans l'évaluation de l'équilibre dynamique. Comme le recommande l'étude de **Pardnasaneiy et al (32)**, afin d'améliorer les évaluations de l'équilibre, il faut augmenter la complexité de l'environnement pour solliciter d'avantage le contrôle postural. C'est pourquoi nous avons varié l'environnement et surtout les informations visuelles et auditives. Cette étude recommande de varier les surfaces, de créer des situations de doubles tâches et également d'enjamber ou d'éviter des obstacles (personnes ou objets de l'environnement), pour reproduire au plus proche des situations de la vie quotidienne. La réalité virtuelle permet la variation de l'environnement de manière rapide, facile et efficace, afin d'apporter une validité écologique aux tests d'équilibre. Certains logiciels proposent déjà des exercices d'équilibres dans lesquels le patient doit éviter des passants, ou éviter des troncs d'arbre. L'étude de **Saldana et AL (35)**, s'accorde à dire que le visiocasque peut être utilisé pour évaluer l'équilibre chez les personnes âgées, provoquant peu de cybercinétoses.

Les patients qui réalisent le test dans l'environnement réel se sentent en confiance : ils voient qu'ils sont entourés d'un masseur- kinésithérapeute qui fait une parade. Ils prendront plus de risque puisqu'ils se sentiront plus en confiance. Dans l'environnement virtuel le participant est isolé du monde réel, il ne sait pas qu'il y a une parade à ses côtés. Le sujet sera plus prudent, tout comme il le serait s'il était dans un nouvel environnement.

La réalité virtuelle immersive peut également être utilisée dans la rééducation de l'équilibre des personnes âgées. Le masseur-kinésithérapeute peut facilement varier les environnements virtuels et la difficulté des perturbations. Grâce à cet outil, le masseur-kinésithérapeute peut contrôler le niveau de difficulté des exercices. L'étude de **Kim et Al** (33), soutient le fait que la réalité virtuelle est un outil sûr de rééducation, les patients peuvent être immergés pendant vingt minutes sans avoir de cybercinétoses.

Ces résultats sont valides uniquement sur une population de personnes âgées en fin de séjour de rééducation, ne présentant pas de troubles visuels, vestibulaires, neurologiques, psychiatriques ou cognitifs. [65] La qualité du matériel a également un rôle déterminant, un visiocasque avec une moins bonne fréquence de rafraîchissement pourrait provoquer des cybercinétoses. Comme le préconise l'étude de **Morel et Al** (47), le matériel conditionne le bon déroulement des évaluations, si le casque est bon marché, la latence aura tendance à être plus importante et pourra provoquer des cybercinétoses. De plus, il ne faut pas immerger l'individu dans un environnement filmé, provoquant des discordances visuo-vestibulaires et entraînant des cybercinétoses

4.4. Les améliorations de l'étude.

Pour vérifier que l'un des trois tests permet de mieux prédire le risque de chute, l'étude devrait être poursuivie par une étude longitudinale sur une période de 12 mois, permettant de vérifier au mieux la valeur prédictive d'un test par rapport à l'autre.

Afin de s'assurer de l'effet apporté par la réalité virtuelle à l'aide du visiocasque, il faudrait comparer les temps entre les conditions en réalité virtuelle train à l'arrêt et train en marche et en réel dans un train à l'arrêt, puis en marche. Cela ne semble pas pertinent au vu de la difficulté à mettre en place ce test.

Pour améliorer la robustesse de l'étude, nous devrions sélectionner deux populations de personnes âgées, un groupe de chuteurs et un groupe de non chuteurs, de même effectif. Cela nous permettrait de constater, si la réalité virtuelle a un impact plus important sur une population de chuteurs.

Les tests pourraient être réalisés sur une plus longue période à raison d'une séance par semaine, afin d'étudier l'adaptation à moyen terme. Néanmoins les patients étant en séjour

de rééducation, ne bénéficient pas du même traitement. Les différences de temps entre les trois essais pourront être liées aux bénéfices des exercices de rééducation et non pas à une éventuelle adaptation.

5. CONCLUSION

L'objectif de cette étude était de mettre en évidence l'effet de la réalité virtuelle immersive sur l'équilibre dynamique chez des personnes âgées en fin de rééducation, lors de la réalisation du Timed Up and Go. Cet effet a été démontré, le temps moyen de réalisation du TUG en réalité virtuelle est plus important que dans l'environnement réel. Nous avons également constaté que plus la personne a peur de chuter, plus l'impact de la réalité virtuelle est important. L'adaptation est remarquable uniquement entre le premier et le troisième essai, en réel et réalité virtuelle train en marche. Il n'y a pas de différences significatives entre les trois conditions de réalisation du test.

La réalité virtuelle immersive permet aux masseurs-kinésithérapeutes de mieux évaluer l'équilibre des personnes âgées, en sollicitant d'avantage le contrôle posturale et en apportant une validité écologique.

Ce système peut également être utilisé comme moyen de traitement en déstabilisant d'avantage le sujet, en variant les stimulations visuelles et auditives, en ajoutant des obstacles, humains ou non, tout en contrôlant le niveau de difficulté. Néanmoins le matériel et les graphismes de l'environnement virtuel doivent être de bonne qualité, afin de ne pas provoquer de cybercinétoses.

Nous avons prouvé que la réalité virtuelle a un effet sur l'équilibre dynamique, en revanche d'autres études doivent être réalisées en complément, afin de constater l'efficacité ou non d'une prise en charge des troubles de l'équilibre chez la personne âgée à l'aide de la réalité virtuelle immersive.

Bibliographie

- [1] HAS. Recommandations de bonnes pratiques professionnelles : évaluation et prise en charge des personnes âgées faisant des chutes répétées. [En ligne]. Avril 2009. [Consulté le 19/04/2019]. Disponible sur : https://www.has.sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2009-06/chutes_repetees_personnes_agees_recommandations.pdf
- [2] Pour les personnes âgées. L'allocation personnalisée d'autonomie. [En ligne]. [Consulté le 19/04/2019]. Disponible sur : <https://www.pour-les-personnes-agees.gouv.fr/beneficier-daides/lallocation-personnalisee-dautonomie-apa>
- [3] INVS. Enquête permanente sur les accidents de la vie courante : résultats de 2010 en France métropolitaine. [En ligne]. 2010. [Consulté le 26/04/2019]. Disponible sur : http://opac.invs.sante.fr/doc_num.php?explnum_id=10267
- [4] Richard JB., Thélot B., Beck F. Baromètre santé : accidents de la vie courante. [En ligne]. 2010. [Consulté le 26/04/2019]. Disponible sur : <http://inpes.santepubliquefrance.fr/CFESBases/catalogue/pdf/1437.pdf>
- [5] INSERM. Activité physique et prévention des chutes chez les personnes âgées. [En ligne]. 2014. [Consulté le 24/04/2019]. Disponible sur : https://www.inserm.fr/sites/default/files/media/entity_documents/Inserm_EC_2015_ChutesPersonnesAgees_Synthese.pdf
- [6] Podvin-Deleplanque J., Dreuil D., Huvent D., Puisieux F. Prévention des chutes en EHPAD. Rev Geriatr, 2015 ; Tome 40. 355-362
- [7] INPES. Prévention des chutes chez les personnes âgées à domicile. [En ligne]. [Consulté le 24/04/2019]. Disponible sur : <http://inpes.santepubliquefrance.fr/CFESBases/catalogue/pdf/830.pdf>
- [8] OMS. Les chutes. [En ligne]. 16 janvier 2018. Consultée le 26/04/2019]. Disponible sur : <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/falls>
- [9] INSEE. Causes de décès des personnes âgées en 2015. [En ligne]. 21 mars 2018. [Consulté le 24/04/2019]. Disponible sur : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2386247>

[10]. INVS. Données sur la mortalité en France : principales causes de décès en 2008 et évolutions depuis 2000. [En ligne]. Juin 2011. [Consulté le 24/04/2019]. Disponible sur : http://invs.santepubliquefrance.fr//beh/2011/22/beh_22_2011.pdf

[11] Bloch F. Les complications non traumatiques des chutes : des conséquences trop souvent négligées chez la personne âgée. NPG Neur - Psychiatrie - Gériatrie 2015 ; **15**, 188—190.

[12] Société Internationale de Réhabilitation Vestibulaire. Equilibration. [En ligne]. 2009. [Consultée le 24/04/2019]. Disponible sur : <https://www.vestib.org/equilibration.html>

[13] Thierry Paillard. Posture et équilibration humaines. [En ligne]. Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur ; 2016. [Consulté le 26/04/2019]. Disponible sur : https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=nkXUDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR2&dq=physiologie+%C3%A9quilibration&ots=jtX8ase3_8&sig=yWWE_yu3tLu2ggIGpMBWKeFi7ZU#v=onepage&q=%C3%A9quilibre&f=true

[14] Jaeger C. Physiologie du vieillissement. EMC - Kinésithérapie-Médecine physique-Réadaptation 2018 ; 14(1) :1-11 [Article 26-007-D-10].

[15] Duchateau J., Nicol C., Baudry S. Le vieillissement du système neuromusculaire : de la sarcopénie à la dynapénie. Kinésithér Rev, 2014. 14(145), 45-51.

[16] Consortium National de Formation en Santé. Test chronométré du lever de chaise de Mathias (TUG). [En ligne]. 31 janvier 2018. [Consulté le 26/04/2019]. Disponible sur : <https://cnfs.ca/agees/tests/mesurer-la-capacite-physique/test-chronometre-du-lever-de-chaise>

[17] Mathias, S. L., Nayak, U. S. et Isaacs, B. Balance in elderly patient: The “Get-up and Go” test. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 1986. 67 (6), 387-389.

[18] Podsiadlo D., Richardson S. The Timed “Up&Go”: A Test of Basic Functional Mobility for Frail Elderly Persons. American Geriatrics Society, 1991. 39 (2), 142-148

[19] Fuchs P. Le traité de la réalité virtuelle-Volume1 : Fondements et interfaces comportementales. 2^{ème} édition. [En ligne]. Paris : Presses de l'Ecole des Mines; 2003. 500p. [Consulté le 26/04/2019]. Disponible sur :

[20] Virtuix omni™. [En ligne]. 2019. [Consulté le 27/04/2019]. Disponible sur : <http://www.virtuix.com/product/virtuix-omni/>

[21] Grugier M. Réalité virtuelle et spectacle vivant : première partie : la danse. Actualités et réalisations. [En ligne]. [Consulté le 27/04/2019]. Disponible sur : <https://www.stereolux.org/sites/default/files/fichiers/as210.pdf>

[22] L'usine digitale. La réalité virtuelle au service de l'ergonomie des postes de travail. [En ligne]. 15 avril 2015. [Consulté le 24/04/2019]. Disponible sur : <https://www.usine-digitale.fr/article/la-realite-virtuelle-au-service-de-l-ergonomie-des-postes-de-travail.N324098>

[23] HYPNOVR. Le Point : HYPNOVR, l'anesthésie en réalité virtuelle. [En ligne]. 15 janvier 2019. [Consulté le 27/04/2019]. Disponible sur : <https://hypnovr.io/2019/01/15/le-point-hypnovr-lanesthesie-en-realite-virtuelle/>

[24] Li Z., Han XG., Sheng J., Ma SJ. Virtual reality for improving balance in patients after stroke : a systematic review and meta-analysis. Clinical Rehabilitation. [En ligne]. 2015. 30 (5): 432-440 [Consulté le 26/04/2019]. Disponible sur : <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0269215515593611>

[25] Neri S., Cardoso JR. et Al. Do virtual reality games improve mobility skills and balance measurements in communitydwelling older adults? Clinical Rehabilitation. [En ligne]. 2017. [Consulté le 26/04/2019]. Disponible sur : https://www.researchgate.net/publication/313369843_Do_virtual_reality_games_improve_mobility_skills_and_balance_measurements_in_community-dwelling_older_adults_Systematic_review_and_meta-analysis

[26] De Amorim JS., Leite RC et Al. Virtual reality therapy for rehabilitation of balance in the elderly : a systematic review and meta-analysis. *Advances in rheumatology*. [En ligne]. 2018. [Consulté le 26/04/2019]. Disponible sur :
<https://advancesinrheumatology.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/s42358-018-0013-0>

[27] Yongwoo L., Wonjae C., Kyeongjin L., Changho S., Seungwon L. Virtual Reality Training With Three-Dimensional Video Games Improves Postural Balance and Lower Extremity Strength in Community-Dwelling Older Adults. *Journal of Aging and Physical Activity*. [En ligne]. 2017 [Consulté le 26/04/2019]. Disponible sur :
<https://journals.humankinetics.com/doi/abs/10.1123/japa.2015-0271>

[28] Dugani S., Aaron P., Solomen S., Mallikarjunaiah.HS. *Int J Physiother*. Intra-rater reliability of wii balance board (wbb) in assessing standing balance in older adults. [En ligne] Juin 2014 [Consulté le 26/04/2019]. Disponible sur :
https://www.researchgate.net/publication/263929079_INTRA-RATER_RELIABILITY_OF_WII_BALANCE_BOARD_WBB_IN_ASSESSING_STANDING_BALANCE_IN_OLDER_ADULTS_CORRESPONDING_AUTHOR_INTRODUCTION

[29] P Scaglioni-Solano, Aragón-Vargas LF. Validity and reliability of the Nintendo Wii Balance Board to assess standing balance and sensory integration in highly functional older adults. [En ligne]. 2014. [Consulté le 26/04/2019]. Disponible sur :
https://www.researchgate.net/publication/259826523_VValidity_and_reliability_of_the_Nintendo_Wii_Balance_Board_to_assess_standing_balance_and_sensory_integration_in_highly_functional_older_adults

[30] Hall CD., Clevenger CK. Wolf RA. Lin JS., Johnson TM., Wolf SL. Feasibility of a Low-Cost, Interactive Gaming System to Assess Balance in Older Women. [En ligne]. Janvier 2016 [Consulté le 26/04/2019]. Disponible sur :
<https://journals.humankinetics.com/doi/10.1123/japa.2014-0184>

[31] Leiva-Caro JA., Salazar-González BC., Gallegos-Cabriales EC., Gómez-Meza MV., Hunter KF. Connection between competence, usability, environment and risk of falls in elderly adults. *Rev. Latino-Am. Enfermagem*. [En ligne]. Novembre 2015. [Consulté le

26/04/2019]. Disponible sur :

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4664015/pdf/0104-1169-rlae-23-06-01139.pdf>

[32] Pardasaney PK, Slavin MD, Wagenaar RC, et al. Conceptual limitations of balance measures for community-dwelling older adults. *Phys Ther*, 2013;93(10) :1351–1368.

[33] Kim A., Darakjian N., Finley JM. Walking in fully immersive virtual environments: an evaluation of potential adverse effects in older adults and individuals with Parkinson's disease. *Journal of NeuroEngineering and rehabilitation*. 2017. [En ligne] [Consulté 26/04/2019]. Disponible sur :

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5320768/pdf/12984_2017_Article_225.pdf

[34] Lalonde-Parsi MJ, Lamontagne A. Perception of Self-Motion and Regulation of Walking Speed in Young-Old Adults. *Frontiers in Human Neuroscience*. [En ligne]. Septembre 2014. [Consulté le 26/04/2019] Disponible sur :

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4163979/pdf/fnhum-08-00681.pdf>

[35] Saldana SJ, Marsh AP., Rejeski WJ., Haberl JK., Wu P., Rpsenthal S., Ip EH. Assessing balance through the use of a low cost HMD in OA : a pilot study. 2007. [En ligne]. [Consulté le 26/04/2019]. Disponible

sur : <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7460041&isnumber=7460014>

[36] Bugnariu N., Fung J. Aging and selective sensorimotor strategies in the regulation of upright balance. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. [En ligne] 20 juin 2007. [Consulté le 26/04/2019]. Disponible sur :

<https://jneuroengrehab.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/1743-0003-4-19>

[37] Vive. Casque de réalité virtuelle VIVE. [En ligne]. 2019. [Consulté le 27/04/2019]. Disponible sur : <https://www.vive.com/fr/product/#vive-spec>

[38] Martin C. Falls Risk Factors: Assessment and Management To Prevent Falls and Fractures. *Canadian Journal on Aging*, 2011.30(01), 33-44.

[39] Baharlouei H., Salavati M., Akhbari B., Mosallanezhad Z., Mazaheri M., Negahban H. Cross-cultural validation of the falls efficacy scale international (fes-i) using self-report and interview-based questionnaires among persian-speaking elderly adults. 2013. [En ligne].

[Consulté le 26/04/2019]. Disponible sur :

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167494313001015>

[40] The University of Manchester. Falls Efficacy Scale-International [En ligne]. [Consulté le 26/04/2019]. Disponible sur : <https://sites.manchester.ac.uk/fes-i/>

[41] Dewan N., MacDermid J. Fall Efficacy Scale - International (FES-I). Journal of Physiotherapy. [En ligne]. 2014. [Consulté le 26/04/2019]. Disponible sur :

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1836955314000265?token=035C91FC0DA7D7999371BCE5EE87AA4325D03099FBDCA4928D183BBAC8ABF4A4AE1DEDD25A7CDA72E3F46E95AB886152>

[42] Tinetti ME., Richman D., Powell L. Falls efficacy as a measure of fear of falling. Journal of Gerontology. Novembre 1990 ; 45 (6) : 239-243.

[43] Shahnewaz Ferdous S.M., Arafat IM. Quarles J. Visual feedback to improve the accessibility of Head-Mounted Displays for persons with balance impairments.

[44] Park JH, Cho H, Shin J-H, Kim T, Park S-B, Choi B-Y, Kim MJ: Relationship among fear of falling, physical performance, and physical characteristics of the rural elderly. Am J Phys Med Rehabil 2014; 93 : 379Y386.

[45] Benavent-Caballer V., Sendín-Magdalena A. Lisón JF., Rosado-Calatayud P., Amer-Cuenca JJ., Salvador-Coloma P., Segura-Ortí E. Physical factors underlying the Timed "Up and Go" test in older adults. Geriatric Nursing, 2016 ; 37 : 122-127.

[46] Robert MT., Ballaz L., lemay M. The effect of viewing a virtual environment through a head-mounted display on balance. *Gait and Posture*. [En ligne]. 2016. [Consulté le 26/04/2019]. Disponible sur :

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966636216300893>

[47] Morel M., Bideau B., Lardya J., Kulpa R. Advantages and limitation of VR for balance assessment and rehabilitation. 2015 [Consulté le 26/04/2019]. Disponible sur :

http://people.rennes.inria.fr/Richard.Kulpa/papers/2015_Morel_CN.pdf

Table des annexes

ANNEXE I : Questionnaire : base de l'entretien

ANNEXE II : Falls Efficacy Scale-International

ANNEXE III : Formulaire d'information destiné aux patients et formulaire de consentement

ANNEXE IV : Tableau récapitulatif des résultats au FES-I

ANNEXE V : Tableau récapitulatif des résultats au TUG (Avant et après

ANNEXE VI : Statistiques descriptives et remplacement des valeurs

ANNEXE VI : Tableau récapitulatif résultats du questionnaire et les statistiques descriptives

Annexe I : Le questionnaire

Merci de remplir ce questionnaire avec le patient. Veuillez entourer la ou les bonnes réponses.

1. Où vivez-vous ?

- dans un appartement
- dans une maison
- en USLD : Unité de Soins de Longue Durée
- dans un EHPAD
- Autre :

2. Est-ce que vous vivez-seul ?

- Oui
- Non

3. Si non, avec qui ?

- avec une compagne/un compagnon
- avec ses enfants
- Autre :

4. Avez-vous des aides à domicile ?

- Oui
- Non

5. Si oui, combien de fois par semaine ?

6. **Avez-vous une activité physique ? (par exemple : faire le ménage, aller chercher le pain, promener son chien, de la danse assise, de la gym douce, la danse...)**

- Oui
- Non

7. **Si oui, laquelle ou lesquels ?**

8. **Si oui, combien de fois par semaine ? Quelle durée ?**

9. **Combien de médicaments prenez-vous par jour ?**

10. **Prenez-vous des médicaments psychotropes ?**

- Benzodiazépines
- anti-dépresseurs
- hypnotiques
- neuroleptiques

Une chute est définie comme le fait de se retrouver involontairement sur le sol ou dans une position de niveau inférieur par rapport à sa position de départ

11. **Avez-vous déjà fais une chute ?**

12. **Avez-vous fais une ou plusieurs chutes dans les 12 derniers mois ?**

- Oui
- Non

13. **Si plusieurs, combien ?**

14. **Il y a combien de temps ? (veuillez préciser pour chaque chute)**

15. **Au quotidien, avez-vous peur de chuter ?**

- Pas du tout peur
- Un peu peur
- Assez peur
- Très peur

16. **Vous sentiez-vous en confiance dans l'environnement virtuel ?**

- Pas du tout en confiance
- Un peu en confiance
- Assez en confiance
- Très en confiance

17. **Avez-vous eu peur de chuter dans l'environnement virtuel ?**

- Pas du tout peur
- Un peu peur
- Assez peur
- Très peur

18. **Avez-vous aimé être dans l'environnement virtuel ?**

- Pas du tout aimé
- Un peu aimé
- Assez bien aimé
- Beaucoup aimé

ANNEXE II : Falls Efficacy Scale International

FES-I

Nous aimerions vous poser quelques questions qui ont pour but de déterminer si vous ressentez de l'inquiétude face à la possibilité de tomber. Répondez en pensant à la manière dont vous effectuez habituellement cette activité. Si actuellement vous ne faites pas cette activité (par exemple si quelqu'un fait les courses à votre place), répondez à la question en imaginant votre degré d'inquiétude **SI** vous réalisiez en réalité cette activité. Pour chacune des activités suivantes, mettez une croix dans la case qui correspond le plus à votre opinion et qui montre le degré d'inquiétude que vous ressentez face au fait de pouvoir tomber lors de la réalisation de cette activité.

| | | <i>Pas du tout inquiet</i> 1 | <i>Un peu Inquiet</i> 2 | <i>Assez Inquiet</i> 3 | <i>Très Inquiet</i> 4 |
|----|--|---|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1 | Faire votre ménage (par ex : balayer, passer l'aspirateur, ou la poussière) | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> |
| 2 | Vous habiller et vous déshabiller | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> |
| 3 | Préparer des repas simples | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> |
| 4 | Prendre une douche ou un bain | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> |
| 5 | Aller faire des courses | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> |
| 6 | Vous lever d'une chaise ou vous asseoir | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> |
| 7 | Monter ou descendre des escaliers | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> |
| 8 | Vous promener dehors dans le quartier | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> |
| 9 | Atteindre quelque chose au-dessus de votre tête ou par terre | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> |
| 10 | Aller répondre au téléphone avant qu'il s'arrête de sonner | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> |
| 11 | Marcher sur une surface glissante (par ex : mouillée ou verglacée) | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> |
| 12 | Rendre visite à un ami, ou à une connaissance | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> |
| 13 | Marcher dans un endroit où il y a beaucoup de monde | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> |
| 14 | Marcher sur un sol inégal (route caillouteuse, un trottoir non entretenu) | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> |
| 15 | Descendre ou monter une pente | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> |
| 16 | Sortir (par ex : service religieux, réunion de famille, rencontre d'une association) | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> |

Annexe III : formulaire d'information destiné aux patients et formulaire de consentement

Etude de l'équilibre des personnes âgées de plus de 65 ans, en réalité virtuelle immersive

Formulaire d'information

Madame, Monsieur,

L'avancée en âge s'accompagne du vieillissement de la fonction d'équilibration pouvant être responsable de troubles de l'équilibre et de chutes.

La fonction d'équilibration fait intervenir des informations visuelles, vestibulaires (oreille interne) et la sensibilité des muscles, des articulations, des tendons et de la peau. Ces informations sont analysées par notre cerveau qui nous aide à maintenir l'équilibre.

Au quotidien, nos différents déplacements et mouvements entraînent des déséquilibres posturaux qui doivent être en permanence compensés par notre organisme afin de conserver une posture stable et adaptée à nos actions.

Des programmes de rééducation et réadaptation adaptés et spécifiques sont souvent recommandés pour les personnes âgées souffrant de troubles de l'équilibre ou ayant été victimes de chutes afin d'améliorer leurs capacités physiques, leur équilibration et de renforcer leur autonomie.

Afin de mieux de mieux connaître les mécanismes qui interviennent dans le fonctionnement de l'équilibre des personnes âgées et d'améliorer les programmes de rééducation, nous vous proposons d'étudier la qualité de votre équilibre dans un environnement virtuel et dans un environnement réel. Pour cela il vous est demandé de réaliser 3 essais dans 3 conditions (environnement réel, réalité virtuelle dans un train à l'arrêt, réalité virtuelle dans un train en marche).

Ensuite nous souhaitons étudier le lien avec la peur de chuter. Ainsi, nous vous demandons de remplir un questionnaire.

Au cours des tests, une personne est à vos côtés afin de prévenir tout risque de chute. Des périodes de repos sont prévues entre les différents tests. Aucune prise de sang ne sera effectuée.

Votre participation à cette étude est librement consentie et il vous est possible de la quitter à tout moment sans aucun préjudice pour vous.

Votre participation à cette étude ne modifiera pas vos séances de rééducation proposées habituellement par les kinésithérapeutes.

Vous n'aurez aucune charge financière à supporter.

Bien entendu, les données et informations recueillies resteront strictement confidentielles.

Formulaire de consentement éclairé

Je, soussigné(e), M, Mme, Mellené(e) le

- ⇒ Après avoir reçu oralement et par écrit toutes les informations nécessaires précisant les modalités de déroulement de cette étude.
- ⇒ J'ai eu la possibilité de poser toutes les questions qui me paraissent utiles pour la bonne compréhension de la note d'information et de recevoir des réponses claires et précises.
- ⇒ J'ai disposé d'un délai de réflexion suffisant avant de prendre ma décision.
- ⇒ J'accepte librement et volontairement de participer à cette recherche dans les conditions ci-dessus, sachant que je suis libre de refuser sans que cela ait de conséquence sur la qualité de mes soins.
- ⇒ Je suis conscient que je peux arrêter à tout moment ma participation à cette recherche sans supporter aucune responsabilité.

Je donne mon accord pour participer à cette étude dans les conditions ci-dessous.

- ⇒ Cet accord ne décharge en rien les organisateurs de l'étude de leur responsabilité.
- ⇒ Toutes les données et informations qui me concernent resteront strictement confidentielles.
- ⇒ Je pourrai à tout moment demander toute information complémentaire aux organisateurs de l'étude.
- ⇒ Fait à, le

Signature de l'investigateur

Signature du Volontaire
précédée de la mention lu et approuvé

ANNEXE IV : Tableau récapitulatif des résultats au FES-I

| Items FES-I | n°1 | f | n°2 | n°3 | n°4 | p | n°5 | a | n°6 | vo | n°7 | m | n°8 | v | n°9 | a | n°10 | n°11 | n°12 | n°13 | n°14 | n°15 | n°16 | TOTAL |
|-------------|------|------|------|-------|------|--------|-------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 1 | 2 | 1 | 4 | 1 | 4 | 4 | 1 | 1 | 30 | | | | | | |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 21 | | | | | | |
| 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 21 | | | | | | |
| 4 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 25 | | | | | | | |
| 5 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 22 | | | | | | | |
| 6 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 29 | | | | | | | |
| 7 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 4 | 4 | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | 37 | | | | | | | |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 28 | | | | | | | |
| 9 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 4 | 1 | 2 | 3 | 2 | 24 | | | | | | | |
| 10 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 20,00 | | | | | | | |
| 11 | 1,00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 19,00 | | | | | | | |
| 12 | 1,00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 20,00 | | | | | | | |
| 13 | 2,00 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 4 | 2 | 3 | 4 | 4 | 2 | 33,00 | | | | | | | |
| 14 | 1,00 | 2 | 1 | 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 28,00 | | | | | | | |
| 15 | 1,00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 22,00 | | | | | | | |
| 16 | 2,00 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 2 | 4 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 37,00 | | | | | | | |
| 17 | 1,00 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 4 | 3 | 4 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 28,00 | | | | | | | |
| 18 | 1,00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 24,00 | | | | | | | |
| 19 | 1,00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 17,00 | | | | | | | |
| 20 | 1,00 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 24,00 | | | | | | | |
| 21 | 2,00 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 25,00 | | | | | | | |
| 22 | 1,00 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 21,00 | | | | | | | |
| 23 | 1,00 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 23,00 | | | | | | | |
| 24 | 1,00 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 4 | 1 | 3 | 2 | 1 | 1 | 28,00 | | | | | | | |
| 25 | 1,00 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 25,00 | | | | | | | |
| 26 | 1,00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 18,00 | | | | | | | |
| 27 | 2,00 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 4 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 26,00 | | | | | | | |
| 28 | 1,00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 4 | 1 | 3 | 1 | 1 | 22,00 | | | | | | | |
| 29 | 1,00 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 4 | 1 | 3 | 2 | 2 | 28,00 | | | | | | | |
| 30 | 1,00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 16,00 | | | | | | | |
| 31 | 1,00 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 4 | 3 | 1 | 27,00 | | | | | | | |
| 32 | 2,00 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 4 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 30,00 | | | | | | | |
| 33 | 1,00 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 29,00 | | | | | | | |
| 34 | 2,00 | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 4 | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 39,00 | | | | | | | |
| 35 | 1,00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 18,00 | | | | | | | |
| 36 | 1,00 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 22,00 | | | | | | | |
| 37 | 1,00 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 4 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 26,00 | | | | | | | |
| 38 | 2,00 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 25,00 | | | | | | | |
| 39 | 1,00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 18,00 | | | | | | | |
| 40 | 2,00 | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 1 | 2 | 2 | 4 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 29,00 | | | | | | | |
| 41 | 1,00 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 29,00 | | | | | | | |
| moyenne | 1,22 | 1,27 | 1,12 | 1,61 | 1,27 | 1,24 | 1,85 | 1,44 | 1,63 | 1,29 | 3,07 | 1,12 | 1,73 | 2,20 | 2,00 | 1,12 | 25,20 | | | | | | | |
| médiane | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 2,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 3,00 | 1,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 1,00 | 25,00 | | | | | | | |
| min | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 16 | | | | | | | |
| max | 2 | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 2 | 4 | 4 | 4 | 2 | 39 | | | | | | | |
| écart type | 0,42 | 0,45 | 0,33 | 0,802 | 0,45 | 0,4348 | 0,823 | 0,673 | 0,92 | 0,64 | 0,93 | 0,331 | 0,81 | 0,81 | 0,84 | 0,33 | 5,4324 | | | | | | | |

Annexe V : Résultats au TUG (avant et après traitement des outliers)

| Patient | Moyenne TUG | $\Delta T1-T2$ | $\Delta T2-T3$ | $\Delta T1-T3$ | Moyenne TUG VR- | $\Delta T1-T2 VR-$ | $\Delta T2-T3 VR-$ | $\Delta T1-T3 VR-$ | Moyenne TUG VR+ | $\Delta T1-T2 VR+$ | $\Delta T2-T3 VR+$ | $\Delta T1-T3 VR+$ |
|---------|-------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 13,094 | 1,443 | -0,916 | 0,527 | 13,649 | 0,379 | 1,199 | 1,578 | 13,348 | 0,038 | 0,448 | 0,486 |
| 2 | 12,648 | -0,713 | 0,837 | 0,124 | 12,297 | 0,618 | 0,022 | 0,640 | 12,111 | -0,641 | 0,412 | -0,229 |
| 3 | 14,759 | 1,100 | 0,223 | 1,323 | 17,068 | 1,198 | 1,733 | 2,426 | 16,254 | -0,996 | 1,241 | 0,845 |
| 4 | 23,120 | 1,916 | 0,106 | 2,022 | 26,455 | 0,455 | 0,842 | 1,297 | 28,094 | 3,010 | 1,730 | 4,740 |
| 5 | 12,622 | -1,185 | 0,288 | -0,897 | 12,639 | -0,655 | 1,001 | 0,346 | 13,362 | 0,554 | -0,251 | 0,303 |
| 6 | 12,940 | 1,188 | -0,057 | 1,131 | 17,453 | -0,449 | 0,409 | -0,040 | 17,802 | 0,905 | -0,345 | 0,560 |
| 7 | 13,302 | -0,230 | -0,539 | -0,769 | 12,907 | -0,473 | 0,071 | -0,402 | 12,947 | -1,094 | -0,239 | -1,333 |
| 8 | 10,338 | -0,395 | 1,747 | 1,354 | 11,715 | -0,344 | -0,203 | -0,547 | 11,836 | 0,851 | 0,433 | 1,284 |
| 9 | 10,863 | -0,602 | 0,270 | -0,332 | 11,401 | 1,157 | 0,015 | 1,172 | 11,777 | 0,261 | 0,310 | 0,571 |
| 10 | 9,087 | 0,260 | 0,047 | 0,307 | 9,433 | 0,305 | 0,694 | 0,999 | 8,981 | 0,017 | 0,154 | 0,171 |
| 11 | 10,595 | 0,906 | 0,758 | 1,664 | 10,928 | -0,311 | -0,011 | -0,322 | 11,175 | -0,681 | 0,346 | -0,335 |
| 12 | 11,931 | 0,694 | 1,044 | 1,678 | 16,588 | 2,245 | -0,874 | 1,371 | 16,686 | 0,969 | 0,610 | 1,579 |
| 13 | 10,903 | 0,314 | -0,074 | 0,240 | 14,858 | 1,226 | -0,326 | 0,900 | 15,378 | -0,380 | 0,147 | -0,233 |
| 14 | 9,994 | 0,797 | 0,092 | 0,889 | 10,428 | 0,189 | -0,727 | 0,916 | 10,306 | 0,504 | -0,089 | 0,415 |
| 15 | 12,810 | 2,260 | -0,555 | 1,705 | 13,341 | -0,883 | -0,064 | -0,947 | 14,313 | 0,511 | 0,457 | 0,968 |
| 16 | 9,678 | 0,898 | 0,026 | 0,924 | 13,658 | 1,972 | 0,607 | 2,579 | 12,595 | 0,849 | -0,118 | 0,731 |
| 17 | 13,231 | 1,125 | -0,412 | 0,713 | 15,783 | -0,308 | 0,616 | 0,308 | 14,988 | 1,819 | 0,486 | 2,305 |
| 18 | 11,137 | 0,911 | -0,123 | 0,788 | 10,969 | 0,095 | 0,315 | 0,410 | 10,510 | 0,206 | 0,362 | 0,568 |
| 19 | 11,007 | -0,103 | 0,082 | -0,021 | 13,946 | 2,371 | -2,094 | 0,277 | 13,603 | 1,173 | 1,467 | 2,640 |
| 20 | 10,081 | -0,041 | 0,762 | 0,721 | 11,667 | 0,017 | 0,151 | 0,168 | 11,016 | 0,427 | 0,756 | 1,183 |
| 21 | 9,927 | -1,269 | 0,133 | -1,136 | 11,078 | 0,427 | -0,158 | 0,269 | 12,519 | 1,562 | 0,373 | 1,935 |
| 22 | 13,153 | 1,163 | 0,661 | 1,824 | 14,841 | 0,241 | 0,531 | 0,772 | 17,278 | 0,809 | -0,294 | 0,515 |
| 23 | 10,439 | -0,027 | -0,438 | -0,465 | 11,222 | -1,033 | 1,093 | 0,000 | 12,159 | -0,625 | -0,224 | -0,849 |
| 24 | 11,328 | -1,738 | 1,483 | -0,255 | 13,772 | 0,307 | 0,342 | 0,649 | 14,529 | 1,842 | 0,052 | 1,894 |
| 25 | 8,760 | 0,110 | 0,346 | 0,456 | 10,364 | 0,473 | 0,703 | 1,176 | 10,338 | 0,395 | -0,354 | -0,159 |
| 26 | 14,552 | 1,293 | 0,821 | 2,114 | 13,544 | -2,041 | 1,363 | -0,678 | 14,085 | -0,264 | 1,129 | 0,855 |
| 27 | 16,065 | 1,378 | 0,348 | 1,726 | 15,422 | 1,731 | 0,077 | 1,808 | 14,679 | 0,900 | 0,065 | 0,965 |
| 28 | 12,865 | 0,789 | 0,738 | 1,527 | 11,554 | 0,075 | 0,307 | 0,382 | 12,076 | 0,481 | 0,178 | 0,659 |
| 29 | 13,293 | 1,329 | 0,328 | 1,657 | 14,609 | 1,133 | 0,893 | 2,026 | 14,850 | 1,611 | -0,562 | 1,049 |
| 30 | 10,849 | 0,082 | 1,461 | 1,543 | 10,937 | 0,595 | 0,531 | 1,126 | 10,494 | 1,409 | -0,277 | 1,132 |
| 31 | 11,387 | 0,691 | 0,049 | 0,740 | 11,871 | -1,306 | -0,147 | -1,453 | 12,286 | 2,398 | 0,361 | 2,759 |
| 32 | 17,763 | 1,151 | 0,831 | 1,982 | 19,248 | -0,443 | 0,992 | 0,549 | 19,371 | 0,714 | 0,377 | 1,091 |
| 33 | 12,484 | -0,612 | 0,863 | 0,251 | 14,711 | 1,189 | 1,314 | 2,503 | 14,592 | -0,276 | 1,220 | 0,944 |
| 34 | 23,882 | 0,987 | -0,099 | 0,888 | 33,934 | 4,624 | -4,500 | 0,124 | 33,844 | 0,422 | 0,268 | 0,690 |
| 35 | 11,808 | 0,536 | 0,419 | 0,955 | 15,143 | -0,674 | 0,706 | 0,032 | 16,018 | 2,285 | 0,570 | 2,855 |
| 36 | 9,207 | 1,565 | -0,474 | 1,091 | 10,665 | 0,834 | 0,084 | 0,418 | 11,230 | -0,246 | 0,423 | 0,177 |
| 37 | 10,296 | -0,365 | 0,101 | -0,264 | 14,463 | 0,367 | -0,598 | -0,231 | 14,283 | 1,785 | -0,400 | 1,385 |
| 38 | 10,961 | -0,010 | 0,531 | 0,521 | 11,599 | 0,080 | 0,333 | 0,413 | 12,394 | 0,765 | 0,451 | 1,216 |
| 39 | 8,243 | 0,295 | 0,067 | 0,362 | 9,360 | -0,567 | -0,072 | -0,639 | 9,581 | -0,400 | -0,586 | -0,986 |
| 40 | 14,721 | 0,470 | -0,162 | 0,308 | 20,620 | 0,714 | 0,498 | 1,212 | 21,248 | 1,081 | 1,109 | 2,190 |
| 41 | 13,354 | 0,696 | -0,589 | 0,107 | 13,861 | -0,417 | 0,354 | -0,063 | 14,362 | -0,632 | 1,125 | 0,493 |

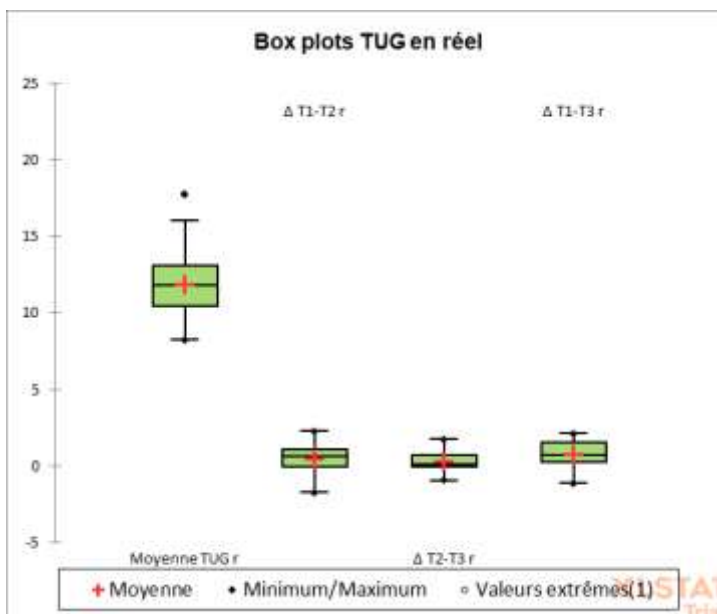
| | N° pt | Valeur | Score Z | Valeur de la médiane |
|---------------------|-------|--------|---------|----------------------|
| Moyenne TUG Réel | 4 | 23,120 | 5,361 | 11,808 |
| Moyenne TUG VR- | 4 | 26,455 | 4,476 | 13,544 |
| Moyenne TUG VR+ | 4 | 28,094 | 6,266 | 13,362 |
| Moyenne TUG réel | 34 | 23,882 | 5,772 | 11,808 |
| Moyenne TUG VR- | 34 | 33,934 | 9,712 | 13,544 |
| Moyenne TUG VR+ | 34 | 33,844 | 4,359 | 13,362 |
| $\Delta T2-T3$ réel | 8 | 1,747 | 3,69 | 0,342 |
| $\Delta T1-T3$ VR+ | 4 | 4,74 | 5,984 | 0,845 |
| $\Delta T1-T2$ VR- | 34 | 4,624 | 4,035 | 0,305 |
| $\Delta T2-T3$ VR- | 34 | -2,094 | -4,514 | 0,342 |

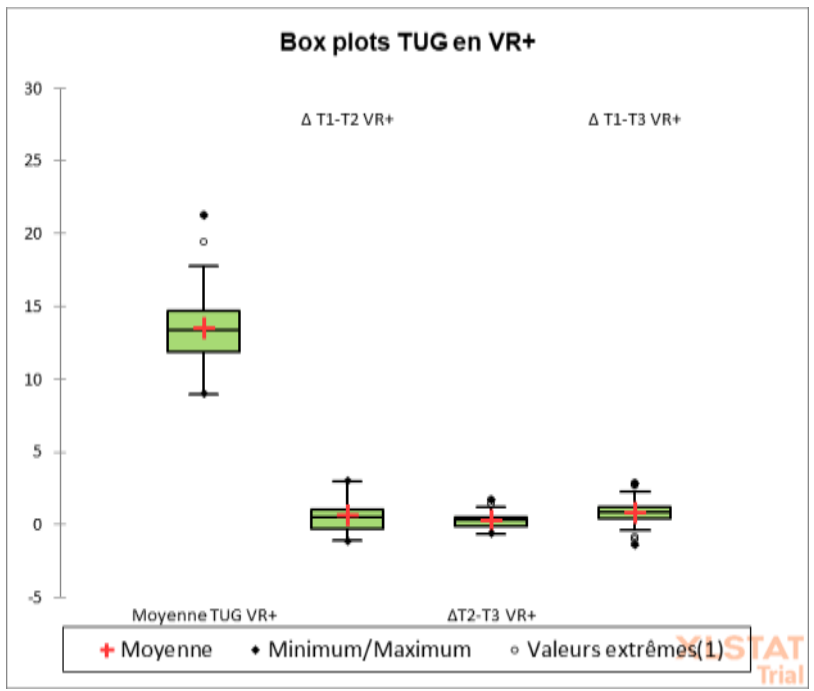
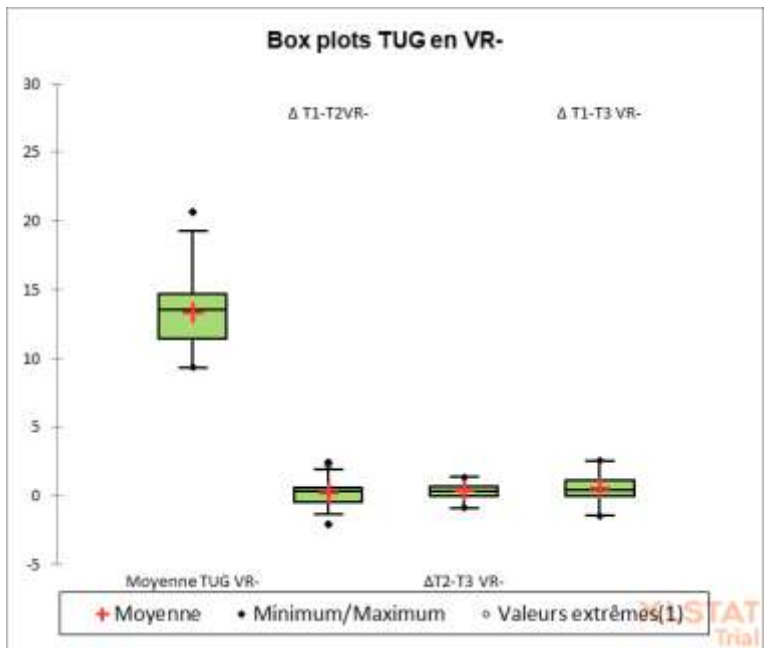
| Patient | Moyenne TUG | Δ T1-T2 | Δ T2-T3 | Δ T1-T3 | Moyenne TUG | Δ T1-T2 VR | Δ T2-T3 VR | Δ T1-T3 VR | Moyenne TUG VR | Δ T1-T2 VR | Δ T2-T3 VR | Δ T1-T3 VR |
|---------|-------------|----------------|----------------|----------------|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 13,094 | 1,443 | -0,916 | 0,527 | 13,649 | 0,379 | 1,199 | 1,578 | 13,348 | 0,038 | 0,448 | 0,486 |
| 2 | 12,648 | -0,713 | 0,837 | 0,124 | 12,297 | 0,618 | 0,022 | 0,640 | 12,111 | -0,641 | 0,412 | -0,229 |
| 3 | 14,769 | 1,100 | 0,223 | 1,323 | 17,068 | 1,193 | 1,233 | 2,426 | 16,254 | -0,396 | 1,241 | 0,845 |
| 4 | 11,808 | 1,916 | 0,106 | 2,022 | 13,544 | 0,455 | 0,842 | 1,297 | 13,362 | 3,010 | 1,730 | 0,845 |
| 5 | 12,622 | -1,165 | 0,288 | -0,877 | 12,639 | -0,655 | 1,001 | 0,346 | 13,362 | 0,554 | -0,251 | 0,303 |
| 6 | 12,940 | 1,188 | -0,057 | 1,131 | 17,453 | -0,449 | 0,409 | -0,040 | 17,802 | 0,905 | -0,345 | 0,560 |
| 7 | 13,302 | -0,230 | -0,539 | -0,769 | 12,907 | -0,473 | 0,071 | -0,402 | 12,947 | -1,094 | -0,239 | -1,333 |
| 8 | 10,338 | -0,393 | 1,747 | 1,354 | 11,715 | -0,344 | -0,203 | -0,547 | 11,836 | 0,851 | 0,433 | 1,284 |
| 9 | 10,863 | -0,602 | 0,270 | -0,332 | 11,401 | 1,157 | 0,015 | 1,172 | 11,777 | 0,261 | 0,310 | 0,571 |
| 10 | 9,087 | 0,260 | 0,047 | 0,307 | 9,433 | 0,305 | 0,694 | 0,999 | 8,981 | 0,017 | 0,154 | 0,171 |
| 11 | 10,595 | 0,906 | 0,758 | 1,664 | 10,928 | -0,311 | -0,011 | -0,322 | 11,175 | -0,681 | 0,346 | -0,335 |
| 12 | 11,931 | 0,634 | 1,044 | 1,678 | 16,588 | 2,245 | -0,874 | 1,371 | 16,686 | 0,969 | 0,610 | 1,579 |
| 13 | 10,903 | 0,314 | -0,074 | 0,240 | 14,858 | 1,226 | -0,326 | 0,900 | 15,378 | -0,380 | 0,147 | -0,233 |
| 14 | 9,994 | 0,797 | 0,092 | 0,889 | 10,428 | 0,189 | 0,727 | 0,916 | 10,306 | 0,504 | -0,089 | 0,415 |
| 15 | 12,810 | 2,260 | -0,555 | 1,705 | 13,341 | -0,883 | -0,064 | -0,947 | 14,313 | 0,511 | 0,457 | 0,968 |
| 16 | 9,678 | 0,898 | 0,026 | 0,924 | 13,658 | 1,972 | 0,607 | 2,579 | 12,595 | 0,849 | -0,118 | 0,731 |
| 17 | 13,231 | 1,125 | -0,412 | 0,713 | 15,783 | -0,308 | 0,616 | 0,308 | 14,988 | 1,819 | 0,486 | 2,305 |
| 18 | 11,137 | 0,911 | -0,123 | 0,788 | 10,969 | 0,095 | 0,315 | 0,410 | 10,510 | 0,206 | 0,362 | 0,568 |
| 19 | 11,007 | -0,103 | 0,082 | -0,021 | 13,946 | 2,371 | 0,342 | 0,277 | 13,603 | 1,173 | 1,467 | 2,640 |
| 20 | 10,081 | -0,041 | 0,762 | 0,721 | 11,667 | 0,017 | 0,151 | 0,168 | 11,016 | 0,427 | 0,756 | 1,183 |
| 21 | 9,927 | -1,269 | 0,133 | -1,136 | 11,078 | 0,427 | -0,158 | 0,269 | 12,519 | 1,562 | 0,373 | 1,935 |
| 22 | 13,153 | 1,163 | 0,661 | 1,824 | 14,841 | 0,241 | 0,531 | 0,772 | 17,278 | 0,809 | -0,294 | 0,515 |
| 23 | 10,439 | -0,027 | -0,438 | -0,465 | 11,222 | -1,033 | 1,033 | 0,000 | 12,159 | -0,625 | -0,224 | -0,849 |
| 24 | 11,328 | -1,738 | 1,483 | -0,255 | 13,772 | 0,307 | 0,342 | 0,649 | 14,529 | 1,842 | 0,052 | 1,894 |
| 25 | 8,760 | 0,110 | 0,346 | 0,456 | 10,364 | 0,473 | 0,703 | 1,176 | 10,338 | 0,395 | -0,554 | -0,159 |
| 26 | 14,552 | 1,293 | 0,821 | 2,114 | 13,544 | -2,041 | 1,363 | -0,678 | 14,085 | -0,264 | 1,129 | 0,865 |
| 27 | 16,065 | 1,378 | 0,348 | 1,726 | 15,422 | 1,731 | 0,077 | 1,808 | 14,679 | 0,900 | 0,065 | 0,965 |
| 28 | 12,865 | 0,789 | 0,738 | 1,527 | 11,554 | 0,075 | 0,307 | 0,382 | 12,076 | 0,481 | 0,178 | 0,659 |
| 29 | 13,293 | 1,329 | 0,328 | 1,657 | 14,609 | 1,133 | 0,893 | 2,026 | 14,850 | 1,611 | -0,562 | 1,049 |
| 30 | 10,849 | 0,082 | 1,461 | 1,543 | 10,937 | 0,595 | 0,531 | 1,126 | 10,494 | 1,409 | -0,277 | 1,132 |
| 31 | 11,387 | 0,691 | 0,049 | 0,740 | 11,871 | -1,306 | -0,147 | -1,453 | 12,286 | 2,398 | 0,361 | 2,759 |
| 32 | 17,763 | 1,151 | 0,831 | 1,982 | 19,248 | -0,443 | 0,992 | 0,549 | 19,371 | 0,714 | 0,377 | 1,091 |
| 33 | 12,484 | -0,612 | 0,863 | 0,251 | 14,711 | 1,189 | 1,314 | 2,503 | 14,592 | -0,276 | 1,220 | 0,944 |
| 34 | 11,808 | 0,987 | -0,099 | 0,888 | 13,544 | 0,305 | 0,342 | 0,647 | 13,362 | 0,422 | 0,268 | 0,690 |
| 35 | 11,808 | 0,536 | 0,419 | 0,955 | 15,143 | -0,674 | 0,706 | 0,032 | 16,018 | 2,285 | 0,570 | 2,855 |
| 36 | 9,207 | 1,565 | -0,474 | 1,091 | 10,665 | 0,334 | 0,084 | 0,418 | 11,230 | -0,246 | 0,423 | 0,177 |
| 37 | 10,296 | -0,365 | 0,101 | -0,264 | 14,463 | 0,367 | -0,598 | -0,231 | 14,283 | 1,785 | -0,400 | 1,385 |
| 38 | 10,961 | -0,010 | 0,531 | 0,521 | 11,599 | 0,080 | 0,333 | 0,413 | 12,394 | 0,765 | 0,451 | 1,216 |
| 39 | 8,243 | 0,295 | 0,067 | 0,362 | 9,360 | -0,567 | -0,072 | -0,639 | 9,581 | -0,400 | -0,586 | -0,986 |
| 40 | 14,721 | 0,470 | -0,162 | 0,308 | 20,620 | 0,714 | 0,498 | 1,212 | 21,248 | 1,081 | 1,109 | 2,190 |
| 41 | 13,354 | 0,696 | -0,589 | 0,107 | 13,861 | -0,417 | 0,354 | -0,063 | 14,362 | -0,632 | 1,125 | 0,493 |

ANNEXE VI : Statistiques descriptives et boîtes à moustache des temps au TUG et pour l'adaptation

| Statistique | Moyenne TUG r | $\Delta T1-T2$ r | $\Delta T2-T3$ r | $\Delta T1-T3$ r | Moyenne TUG VR- | $\Delta T1-T2$ VR- | $\Delta T2-T3$ VR- | $\Delta T1-T3$ VR- |
|------------------|---------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Nb. d'observatic | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 |
| Minimum | 8,243 | -1,738 | -0,916 | -1,136 | 9,360 | -2,041 | -0,874 | -1,453 |
| Maximum | 17,763 | 2,260 | 1,747 | 2,114 | 20,620 | 2,371 | 1,363 | 2,579 |
| Amplitude | 9,520 | 3,998 | 2,663 | 3,250 | 11,260 | 4,412 | 2,237 | 4,032 |
| 1er Quartile | 10,439 | -0,041 | -0,074 | 0,240 | 11,401 | -0,417 | 0,015 | 0,000 |
| Médiane | 11,808 | 0,634 | 0,133 | 0,740 | 13,544 | 0,305 | 0,342 | 0,418 |
| 3ème Quartile | 13,094 | 1,125 | 0,738 | 1,527 | 14,711 | 0,618 | 0,706 | 1,172 |
| Moyenne | 11,856 | 0,464 | 0,269 | 0,733 | 13,334 | 0,251 | 0,378 | 0,587 |
| Variance (n) | 3,878 | 0,751 | 0,341 | 0,699 | 6,220 | 0,844 | 0,271 | 0,828 |
| Variance (n-1) | 3,975 | 0,770 | 0,349 | 0,716 | 6,376 | 0,865 | 0,278 | 0,849 |
| Ecart-type (n) | 1,969 | 0,867 | 0,584 | 0,836 | 2,494 | 0,919 | 0,521 | 0,910 |
| Ecart-type (n-1) | 1,994 | 0,878 | 0,591 | 0,846 | 2,525 | 0,930 | 0,527 | 0,921 |
| Ecart-type de la | 0,311 | 0,137 | 0,092 | 0,132 | 0,394 | 0,145 | 0,082 | 0,144 |

| Moyenne TUG VR+ | $\Delta T1-T2$ VR+ | $\Delta T2-T3$ VR+ | $\Delta T1-T3$ VR+ |
|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 41 | 41 | 41 | 41 |
| 8,981 | -1,094 | -0,586 | -1,333 |
| 21,248 | 3,010 | 1,730 | 2,855 |
| 12,266 | 4,104 | 2,316 | 4,188 |
| 11,836 | -0,246 | -0,118 | 0,415 |
| 13,362 | 0,511 | 0,361 | 0,845 |
| 14,679 | 1,081 | 0,486 | 1,216 |
| 13,514 | 0,608 | 0,320 | 0,833 |
| 6,633 | 0,861 | 0,315 | 0,887 |
| 6,799 | 0,883 | 0,323 | 0,909 |
| 2,575 | 0,928 | 0,561 | 0,942 |
| 2,607 | 0,940 | 0,568 | 0,954 |
| 0,407 | 0,147 | 0,089 | 0,149 |





ANNEXE VII : Tableau récapitulatif des résultats au questionnaire et les statistiques descriptives

| PT | Lieu de vie | Seul ? | Entourage | des à domicilien de fois h | nb med | psychotropes | Chutes ? | Cb | y a cb de ten | Peur chute | Confiance | Peur chute | Aimé la VR | |
|----|-------------|--------|-----------|----------------------------|--------|--------------|---------------|----|---------------|--------------|-----------|------------|------------|---|
| 1 | maison | 0 | compagnon | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | | | 2 | 4 | 1 | 4 |
| 2 | appartement | 1 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | | | 3 | 4 | 1 | 4 |
| 3 | appartement | 1 | 0 | 1 | 8 | 5 | 0 | 0 | | | 1 | 4 | 1 | 4 |
| 4 | maison | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | | | 0 | 3 | | |
| 5 | maison | 0 | compagnon | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | | | 2 | 3 | 2 | 3 |
| 6 | appartement | 1 | 0 | 0 | 0 | 9 | stinox | 0 | | | 2 | 4 | 1 | 3 |
| 7 | maison | 1 | 0 | 1 | 3 | 5 | immoval | 0 | | | 2 | 3 | 1 | 3 |
| 8 | appartement | 1 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 1 | 2 | 3 et 5 mois | 2 | 4 | 1 | 4 |
| 9 | appartement | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | anxiolytiques | 1 | 1 | 12mois | 1 | 4 | 1 | 4 |
| 10 | maison | 0 | compagnon | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | 2 | 4 | 1 | 4 |
| 11 | maison | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | 2 | 4 | 1 | 3 |
| 12 | maison | 0 | compagnon | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | | | 1 | 4 | 1 | 4 |
| 13 | maison | 0 | compagnon | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | 1 | 3 | 2 | 4 |
| 14 | maison | 0 | compagnon | 0 | 0 | 8 | anti-dépress | 0 | | | 3 | 2 | 3 | 2 |
| 15 | maison | 0 | compagnon | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | | | 2 | 4 | 1 | 3 |
| 16 | maison | 0 | compagnon | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | | | 1 | 3 | 1 | 3 |
| 17 | maison | 1 | 0 | 1 | 8 | 3 | 0 | 0 | | | 1 | 4 | 1 | 4 |
| 18 | appartement | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 1 | 4 | 2,3,6,9 mois | 2 | 3 | 1 | 3 |
| 19 | maison | 0 | compagnon | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | | | 3 | 3 | 1 | 4 |
| 20 | maison | 1 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | | | 2 | 4 | 1 | 3 |
| 21 | appartement | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | | | 2 | 4 | 1 | 4 |
| 22 | appartement | 1 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | | | 1 | 3 | 1 | 2 |
| 23 | appartement | 1 | 0 | 0 | 0 | 9 | 0 | 1 | 1 | 12mois | 2 | 4 | 1 | 3 |
| 24 | appartement | 1 | 0 | 0 | 0 | 10 | BD+AD | 1 | 2 | 4 et 8 mois | 1 | 3 | 1 | 4 |
| 25 | maison | 1 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | | | 2 | 4 | 1 | 4 |
| 26 | appartement | 1 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | | | 1 | 3 | 1 | 4 |
| 27 | maison | 1 | 0 | 1 | 12 | 6 | BD | 0 | | | 1 | 4 | 1 | 4 |
| 28 | maison | 1 | 0 | 1 | 8 | 3 | 0 | 0 | | | 1 | 4 | 1 | 4 |
| 29 | maison | 0 | compagnon | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | | | 1 | 4 | 1 | 3 |
| 30 | maison | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | 1 | 4 | 1 | 3 |
| 31 | appartement | 1 | 0 | 0 | 0 | 7 | AD | 0 | | | 1 | 4 | 1 | 4 |
| 32 | maison | 0 | compagnon | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 7 mois | 3 | 3 | 2 | 3 |
| 33 | appartement | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | | | 2 | 3 | 1 | 4 |
| 34 | appartement | 1 | 0 | 0 | 0 | | | | | | 2 | 3 | 1 | 3 |
| 35 | maison | 1 | 0 | 1 | 16 | 3 | 0 | 0 | | | 1 | 3 | 1 | 4 |
| 36 | appartement | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1mois | 2 | 3 | 1 | 3 |
| 37 | maison | 1 | 0 | 0 | 0 | 5 | immoval | 1 | 2 | 6 et 12 mois | 1 | 4 | 1 | 3 |
| 38 | appartement | 0 | fils | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | | | 2 | 4 | 1 | 3 |
| 39 | appartement | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | | | 2 | 2 | 1 | 2 |
| 40 | maison | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 1 | 1 | 11 mois | 1 | 4 | 1 | 4 |
| 41 | appartement | 0 | compagnon | 0 | 0 | 6 | morphine | 1 | 1 | 4 mois | 1 | 4 | 1 | 4 |

| Statistique | Peur chuter quotidien | Confiance en VR | Peur chuter en VR | Aimé la VR |
|---------------|-----------------------|-----------------|-------------------|------------|
| Moyenne | 1,634 | 3,537 | 1,146 | 3,488 |
| Minimum | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Maximum | 3 | 4 | 3 | 4 |
| Amplitude | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 1er Quartile | 1 | 3 | 1 | 3 |
| Médiane | 2 | 4 | 1 | 4 |
| 3ème Quartile | 2 | 4 | 1 | 4 |