

MINISTÈRE DE LA SANTÉ

RÉGION GRAND EST

INSTITUT LORRAIN DE FORMATION DE MASSO-KINÉSITHÉRAPIE DE NANCY

Optocinétisme et réalité virtuelle : comparaison de deux techniques en rééducation vestibulaire

Mémoire présenté par Thibaut KELLER,
Étudiant en 3^e année de masso-kinésithérapie,
en vue de l'obtention du Diplôme d'État de
Masseur-Kinésithérapeute 2014-2017

SOMMAIRE

RÉSUMÉ

1. INTRODUCTION.....	1
1. 1. Recherche bibliographique.....	2
1. 2. Rappels.....	3
1. 2. 1. Physiologie de l'équilibre.....	3
1. 2. 1. 1. Systèmes récepteurs.....	3
1. 2. 1. 2. Voies et centres neurologiques.....	5
1. 2. 1. 3. Systèmes effecteurs.....	6
1. 2. 2. Pathologie.....	6
1. 2. 3. Rééducation vestibulaire.....	7
1. 2. 4. Techniques comparées dans cette étude.....	9
1. 2. 4. 1. Optocinétisme classique.....	9
1. 2. 4. 2. Réalité virtuelle.....	10
2. MATÉRIEL ET MÉTHODE.....	12
2. 1. Population.....	12
2. 2. Matériel.....	12
2. 2. 1. Plate-forme Satel®.....	12
2. 2. 2. Dizziness Handicap Inventory (D.H.I.).....	13
2. 2. 3. Échelle utilisée.....	13
2. 2. 4. Générateur d'optocinétisme Optotest®.....	14
2. 2. 5. Visiocasque.....	14
2. 2. 6. Virtualis®.....	14
2. 3. Méthode.....	15
2. 3. 1. Bilan initial.....	15
2. 3. 2. Séance de rééducation type et protocole instrumental.....	17
2. 4. Méthode statistique.....	19
3. RÉSULTATS.....	20
4. DISCUSSION.....	24
4. 1. Interprétation des résultats.....	24

4. 2. Méthodologie.....	25
4. 3. Comparaison des deux techniques	28
4. 4. Ouvertures	29
5. CONCLUSION.....	30

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

RÉSUMÉ :

Introduction : cette étude vise à déterminer s'il existe, au cours d'une prise en charge masso-kinésithérapique de rééducation vestibulaire, une différence d'efficacité entre l'utilisation d'un générateur d'optocinétisme classique et l'utilisation d'une technique de réalité virtuelle dans le but d'améliorer l'équilibre statique des patients.

Méthode : durant cinq séances en complément d'une rééducation vestibulaire classique, trois patients ont bénéficié d'une technique d'optocinétisme classique, et trois autres de réalité virtuelle. L'ensemble de ces patients sont atteints d'une pathologie vestibulaire périphérique unilatérale. Un bilan initial est réalisé, il comprend une analyse de l'équilibre statique sur une plate-forme de force normée et un questionnaire, le Dizziness Handicap Inventory, intéressant les retentissements de la pathologie. Ces deux éléments de bilan constituent nos deux critères de jugement principaux. Ce bilan est à nouveau réalisé après les 5 séances.

Résultats : cette étude n'a pu montrer de différence d'efficacité entre les deux techniques. Cliniquement, les bilans effectués présentent une évolution favorable de l'équilibre statique et des retentissements de la pathologie pour deux patients de chaque groupe.

Discussion : nous abordons les principales caractéristiques illustrant les spécificités de chacune de ces deux techniques telles que les contraintes d'utilisation, le type de stimulation, la sollicitation du champ de vision ou encore le prix et les possibilités qu'offrent ces appareils. Pour approfondir ce travail, des modifications seraient à apporter, notamment au niveau de la taille de l'échantillon, la conception des groupes, les conditions de réalisation des mesures et du protocole, ou encore le nombre de séances.

Mots-clés : « réalité virtuelle » - « rééducation vestibulaire » - « stimulation optocinétique » - « trouble vestibulaire périphérique unilatéral » - « visiocasque » ;

Keywords : « virtual reality » - « vestibular rehabilitation » - « optokinetic stimulation » - « unilateral peripheral vestibular disorder » - « head mounted display ».

1. INTRODUCTION

P.-M. Gagey et B. Weber évoquent dans l'ouvrage : « Posturologie : régulation et dérèglements de la station debout », que « *L'Homme debout n'est jamais en équilibre, dans la mesure où le verbe désigne un état. En effet l'équilibre se définit comme deux forces alignées, égales et de sens contraire. Or cette situation des résultantes des forces qui agissent sur le corps de l'homme n'est jamais acquise.* » (1). Par conséquent, l'Homme ne serait jamais en équilibre, mais plutôt à la recherche d'une position d'équilibre. Cette quête perpétuelle de stabilité est assurée par un ensemble d'éléments (systèmes de récepteurs sensoriels, structures neurologiques, systèmes effecteurs) (1–13). Cependant lorsqu'un dysfonctionnement survient au sein de cet ensemble, l'Homme se retrouve en situation d'instabilité, augmentant ses risques de chutes et leurs conséquences, qu'elles soient physiques, psychologiques ou sociales (3, 6, 11, 14, 15).

Dans le domaine de la masso-kinésithérapie, la rééducation vestibulaire est indiquée pour des patients sujets à des troubles de l'équilibre et plus précisément, lors d'une atteinte de l'oreille interne (14, 16–19). Cette indication est justifiée par le fait que les exercices de rééducation vestibulaire sont reconnus comme efficaces comparativement à une absence d'exercice ou à un placebo (16, 19). Seulement, il serait pertinent d'examiner par des moyens objectifs l'efficacité de la rééducation vestibulaire, notamment en comparant l'efficacité de différents types d'exercices vestibulaires (14, 16, 17, 19).

En parallèle, la technologie occupe une place de plus en plus importante dans le monde. Le cas de la réalité virtuelle en est un bon exemple puisqu'elle est utilisée dans une multitude de domaines tels que l'industrie, la culture, les loisirs etc. (20–26). Dans ce travail nous nous intéressons au secteur médical, dans la rééducation des troubles de l'équilibre où divers travaux ont abordé l'apport de la réalité virtuelle comme outil de traitement selon diverses méthodes et applications possibles (15–17, 22–24, 27–32).

Ainsi, au vu de ces informations, nous nous interrogeons sur une technique couramment pratiquée lors de séances de rééducation vestibulaire : la stimulation optocinétique. L'appareil habituellement utilisé étant un générateur d'optocinétisme, nous cherchons à savoir si l'utilisation de la réalité virtuelle permettrait d'être plus efficace.

Problématique : L'utilisation de la réalité virtuelle comparée à un générateur d'optocinétisme classique, dans le cadre de stimulations optocinétiques au sein d'un programme de rééducation vestibulaire, améliore-t-elle plus efficacement le bilan d'équilibre statique sur plate-forme de force, ainsi que les résultats du questionnaire Dizziness Handicap Inventory, chez des patients atteints d'un trouble vestibulaire périphérique unilatéral ?

Ce travail d'initiation à la recherche a été effectué durant un stage de masso-kinésithérapie d'une durée de sept semaines au sein du service de rééducation vestibulaire du centre Louis Pierquin à Nancy. Le matériel nécessaire à l'utilisation de la réalité virtuelle et le générateur d'optocinétisme étaient déjà présents et utilisés par les masseurs-kinésithérapeutes du service. Suite à plusieurs échanges avec ces derniers ainsi qu'avec l'un des médecins du service, plusieurs objectifs sont ressortis. D'une part la volonté de mettre en place un protocole standardisé, reproductible et le plus identique possible pour les deux techniques. D'autre part, de réaliser une étude préliminaire, basée sur ce protocole, pour comparer l'efficacité de ces deux techniques de stimulations optocinétiques. Celle-ci a été réalisée sur six patients atteints d'un trouble vestibulaire périphérique unilatéral qui étaient pris en charge dans le service.

1. 1. Recherche bibliographique

Nos recherches ont débuté par la consultation des livres « Posturologie : régulation et dérèglement de la station debout » de P-M. GAGEY (1) et « Vertiges : manuel de diagnostic et de réhabilitation » de J-P. SAUVAGE (11) afin d'enrichir nos connaissances sur le domaine de l'équilibre et de la rééducation vestibulaire. Nous avons poursuivi les recherches sur ces domaines dans différents livres empruntés à la Bibliothèque Universitaire de Santé de Nancy et figurant dans la bibliographie, mais aussi sur des sites internet comme celui de la Société Internationale de Réhabilitation Vestibulaire (S.I.R.V.).

Les recherches sur la réalité virtuelle ont commencé par le site internet du logiciel que nous utilisons : Virtualis® mais aussi l'un de ses concurrents : Vestibulus®. Nous les avons tous les deux contactés afin d'obtenir des informations sur le matériel que nous utilisons, et pour être conseillés sur d'éventuels ouvrages, articles, sites internet à consulter. Nous nous sommes également procuré les quatre premiers volumes du « Traité de la réalité virtuelle » de

P. FUCHS (20, 25, 33) en contactant l'Association Française de Réalité Virtuelle (A.F.R.V.) et le 5^{ème} volume, emprunté à la Bibliothèque Universitaire Sciences et Techniques de Nancy.

Nous avons poursuivi les recherches en consultant le site internet Ulysse regroupant un ensemble de bases de données, et individuellement, les bases de données EMConsulte, Pubmed, Cochrane, ScienceDirect, Google Scholar. Nous avons limité nos recherches à une période allant de 1988 à 2016.

Les principaux mots-clés que nous avons utilisés étaient : réalité virtuelle, rééducation vestibulaire, stimulation optocinétique, trouble vestibulaire périphérique unilatéral, visiocasque. Dans la littérature anglophone : virtual reality, vestibular rehabilitation, optokinetic stimulation, unilateral peripheral vestibular disorder, head mounted display.

1. 2. Rappels

1. 2. 1. Physiologie de l'équilibre

L'homme assure sa stabilité sur les modes statique ou dynamique grâce à un contrôle multi sensoriel (2). Des récepteurs font parvenir les informations sensorielles par des voies afférentes, aux noyaux vestibulaires ainsi qu'aux centres supérieurs (3, 4). Des réponses sont transmises aux systèmes effecteurs, constitués des muscles oculomoteurs et des muscles antigravitaires (5). La situation de l'Homme dans l'espace et sa stabilité résultent donc de l'intégration permanente d'informations par trois principaux systèmes récepteurs : la vision, l'oreille interne et la somesthésie (1–10).

1. 2. 1. 1. Systèmes récepteurs

❖ La vision

L'œil est un « capteur de l'environnement » (3). La vision permet de situer l'individu dans l'environnement par rapport à la position des objets plus ou moins éloignés, mais aussi de se déplacer et s'orienter dans l'espace. Ces informations sont utilisées pour la posture, l'équilibration et l'orientation (4).

Il existe deux voies de vision :

- la vision périphérique : elle met en jeu la totalité du champ visuel, c'est-à-dire pour chaque œil, 110° dans le champ temporal, 60° dans le champ nasal, 70° vers le haut, et 80° vers le bas, par rapport à l'axe de vision centrale (3). La vision binoculaire offre un champ visuel horizontal de 120°, et un champ visuel vertical de 150°;
- la vision centrale : elle permet de distinguer avec un maximum de netteté un élément du champ de vision. Elle met en jeu une faible portion de la rétine que l'on appelle fovéa, qui permet une image nette jusqu'à 20° d'excentration (3).

❖ L'oreille interne

L'oreille interne se situe dans l'os temporal. Elle est constituée d'un labyrinthe osseux. Au sein de cette coque se trouve le labyrinthe membraneux, il épouse les formes du labyrinthe osseux et contient du liquide endolymphatique. L'espace entre cette structure osseuse et membraneuse est rempli de liquide périlymphatique. Le labyrinthe membraneux est constitué (3, 4, 6, 8, 11–13) :

- de la cochlée : organe sensoriel de l'audition ;
- de trois canaux semi-circulaires : horizontal, antérieur et postérieur, situés dans des plans perpendiculaires entre eux ;
- des organes otolithiques : l'utricule dans le plan horizontal et le saccule dans le plan vertical.

Les canaux semi-circulaires permettent de renseigner sur les accélérations angulaires, c'est-à-dire les mouvements de rotation de tête suivant le plan du canal excité. Les organes otolithiques permettent de renseigner sur les accélérations linéaires, verticales pour le saccule et horizontales pour l'utricule. Chaque organe est relié à des fibres sensibles formant le nerf vestibulaire (11, 12).

Le nerf vestibulaire transmet les informations vers les noyaux vestibulaires situés sous le plancher du IVème ventricule (3, 11, 12). Il formera avec le nerf cochléaire le nerf vestibulocochléaire (VIII).

❖ La somesthésie

Ce système récepteur fait intervenir :

- la sensibilité profonde : elle permet de prendre conscience de la position ainsi que des mouvements des différents segments du corps. Elle est possible grâce à plusieurs types de récepteurs diffus ostéo-articulaires et musculo-tendineux (3–5, 8) :
- la sensibilité tactile : elle met en jeu des récepteurs diffus ou mécanorécepteurs superficiels. Ils sont sensibles au tact, à la pression, ainsi qu'aux vibrations. Les récepteurs de la voûte plantaire ont une importance particulière dans l'équilibration. Ils détectent les différences de pression entre les deux plantes de pieds, ou les irrégularités de terrain, ce qui ajuste les réflexes d'équilibration de l'individu (4, 5, 8) ;
- la sensibilité viscérale : elle provient des organes internes (8).

L'ensemble de ces informations perçues par ce système récepteur, est acheminé vers le système nerveux central via la moelle épinière. Cela permet d'être informé de manière continue sur la position des divers segments du corps, du rachis, ainsi que de la région céphalique (8).

1. 2. 1. 2. Voies et centres neurologiques

Chacun de ces systèmes récepteurs va faire parvenir par des voies afférentes ses messages vers les noyaux vestibulaires, connectés avec les centres supérieurs par les voies vestibulo-corticales (3, 6, 11). Une réponse mettant en lien les informations reçues par les trois systèmes récepteurs sera ensuite envoyée vers les systèmes effecteurs. Pour cela, plusieurs voies sont possibles (3, 6, 11) :

- la voie vestibulo-oculaire : pour stimuler les muscles oculomoteurs ;
- la voie vestibulo-spinale : pour stimuler les muscles de la posture ;
- la voie vestibulo-végétative : pour stimuler le système végétatif.

1. 2. 1. 3. Systèmes effecteurs

Tout d'abord nous distinguons les muscles oculomoteurs recevant des informations par les noyaux oculomoteurs. Leur but est de maintenir un regard stable. Pour cela il existe différents réflexes (3, 6) :

- le réflexe vestibulo-oculaire : il permet de maintenir la fixation d'une cible stable lors de mouvements de la tête (6) ;
- le réflexe optocinétique : il assure le maintien d'un regard stable lors du défilement de l'environnement dans la vision périphérique (6) ;
- les poursuites et les saccades : la poursuite permet le maintien de la fixation d'une cible mobile, et les saccades permettent de ramener une image sur la fovéa (6).

Puis les muscles de la posture, composés de deux groupes entrant en jeu dans le maintien de l'équilibre (3) :

- les muscles extenseurs : ils fonctionnent de manière permanente et assurent le maintien de la posture ;
- les muscles fléchisseurs : ils fonctionnent de manière transitoire et assurent l'enchaînement des mouvements.

1. 2. 2. Pathologie

Lorsque les systèmes récepteurs présentent des informations discordantes, il s'agit d'un conflit sensoriel, pouvant se traduire pour le patient par un vertige (3). Il est défini comme : *« une illusion de mouvement qui se manifeste par une impression de rotation ou de pseudo ébriété. Il s'accompagne habituellement de signes neurovégétatifs. Le patient reste conscient tout au cours de la crise »* (14). Plusieurs manifestations peuvent accompagner celui-ci :

- un nystagmus : il surgit suite à la perturbation de la voie vestibulo-oculaire (3). Il s'agit d' *« un déplacement rythmique des globes oculaires constitué d'une secousse lente d'origine vestibulaire et d'une secousse rapide qui ramène l'œil à son point de départ. Par convention, c'est le sens de la secousse rapide qui définit le nystagmus »* (11) ;

- un déséquilibre : il résulte des ordres de correction non-adaptés, transmis aux systèmes effecteurs pour compenser l'illusion de mouvement (3) ;
- des nausées et/ou vomissements : ils résultent de la stimulation de la voie vestibulo-végétative (3, 6, 11) ;

Ces pathologies peuvent avoir un fort retentissement psychologique avec comme signes cliniques une anxiété, des réactions émotives intenses, un isolement, et par conséquent des incidences socio-professionnelles (11, 15).

1. 2. 3. Rééducation vestibulaire

La rééducation vestibulaire a vu le jour en Grande-Bretagne, durant la seconde guerre mondiale en 1944 par les médecins Sir Terence Cawthorne et Harold Cooksey (2, 8, 16, 17).

Un bilan diagnostique réalisé par un médecin O.R.L. (Oto-Rhino-Laryngologiste) est indispensable avant toute prise en charge (2, 11, 17). Le médecin doit ensuite communiquer les informations cliniques recueillies au masseur-kinésithérapeute et lui confier une prescription médicale obligatoire (11). Ensuite, le masseur-kinésithérapeute effectue son propre bilan qui permet de cerner le patient sur les plans physique et psychologique, afin de choisir l'axe de traitement le plus approprié (6, 8, 11, 14, 15). Nous devons considérer que la rééducation vestibulaire « *doit en effet être adaptée à chaque patient selon sa pathologie, ses déficits, son contexte psychologique et ses capacités antérieures* » (17). Le masseur-kinésithérapeute doit également tenir informé le médecin prescripteur de l'évolution de l'état du patient. S'il venait à s'aggraver, il est conseillé d'indiquer au patient de consulter le médecin O.R.L. (2).

Les objectifs de cette rééducation sont multiples :

- obtenir une correction de l'équilibre postural permettant une marche plus performante (2, 11, 18) ;
- réduire les troubles visuels afin de permettre une vision nette (2, 11, 18) ;
- diminuer les vertiges et leurs conséquences (2, 7, 18) ;
- « *élever le niveau d'activité du sujet et réduire la tendance à l'isolement social* » (11).

La rééducation consiste à accélérer la compensation centrale dite vestibulaire. Elle se définit comme « *tous les processus neurobiologiques mis en jeu lors d'un déficit vestibulaire aigu et qui vont permettre au sujet atteint de retrouver une fonction d'équilibre malgré la persistance du déficit des récepteurs vestibulaires.* » (2). Il est important de noter que les centres appartenant au système nerveux central doivent être en bon état (34).

Le bilan kinésithérapique va permettre de « *choisir une méthode pour « reparamétrer » l'appareil vestibulaire ou ce qu'il en reste* » (11). Pour cela, on distingue plusieurs mécanismes de compensation vestibulaire (2, 6, 11, 12, 17, 18, 27) :

- adaptation (ou plasticité ou remodelage) : il s'agit d'un apprentissage positif visant à recréer des liens avec l'appareil vestibulaire déficient, par l'intermédiaire d'interactions visuo-vestibulo-proprioceptives. Les exercices de stabilisation du regard, de maintien postural et d'équilibre (associé à des mouvements de tête par exemple) représentent différents moyens d'y parvenir.
- habitude : il s'agit d'un apprentissage négatif qui consiste à répéter de manière identique les stimuli provoquant des symptômes afin que leurs réponses diminuent. Par exemple les exercices giratoires (avec fauteuil rotatoire) où l'objectif est d'abaisser le seuil de réactivité de l'oreille interne lésée ;
- sensibilisation : il s'agit de l'inverse de l'habitude, le but est de favoriser les systèmes récepteurs les moins utilisés par le patient. L'optocinétisme fait partie des techniques utilisées dans ce mécanisme de compensation.

Ces exercices de plus en plus difficiles peuvent provoquer des conflits sensoriels et des situations de déséquilibre, l'objectif étant de surprendre le patient le plus possible (12). Des explications doivent être fournies au patient pour chaque exercice dans l'intérêt de lui faire comprendre qu'ils peuvent, dans un premier temps, aggraver les symptômes mais que sa coopération est nécessaire (8, 11). La motivation est également un facteur important, que le rééducateur doit savoir mettre en place pour faire progresser au mieux le patient (15).

La littérature actuelle propose d'effectuer des recherches pour déterminer le type de patient et la période à laquelle réaliser une rééducation vestibulaire pour obtenir une compensation optimale (16).

1. 2. 4. Techniques comparées dans cette étude

1. 2. 4. 1. Optocinétisme classique

L'optocinétisme consiste à stimuler le réflexe optocinétique et créer un conflit neurosensoriel. Pour cela des stimuli lumineux mobiles sont projetés par un générateur de type planétaire au sein d'une pièce sombre, à la manière d'une boule à facette illuminant une piste de danse.

La stimulation du réflexe optocinétique va engendrer un nystagmus optocinétique. Il apparaît après environ douze secondes (8, 9). Lors du défilement d'une scène visuelle, la phase lente est dans le même sens que la stimulation, et la phase rapide de retour en sens contraire (4, 8, 9, 12, 35). Afin d'être le plus efficace possible, il est nécessaire de stimuler toute la rétine périphérique (4, 8, 9, 12, 17, 36). Ainsi, les projections sont réalisées dans une pièce sombre où les murs, le sol, et le plafond servent d'écran. Ceux-ci ne doivent pas avoir de repères (prise électrique, interrupteur, rai de lumière sous la porte) car cela pourrait perturber le déclenchement du nystagmus optocinétique (2, 8, 11, 37). Il est préférable de posséder une pièce avec des murs courbes, permettant une stimulation visuelle périphérique parfaite (36). Le sujet est en position érigée et doit regarder devant lui, dans le vague, en essayant de ne rien fixer (2, 8, 11, 12, 37, 38).

Lors de la stimulation optocinétique le système récepteur visuel donne au sujet une impression de mouvement, tandis que les systèmes récepteurs vestibulaire et somesthésique (notamment l'entrée podale) lui indiquent le contraire (12, 36). C'est ce genre de conflit neurosensoriel que l'on recherche dans la rééducation afin de favoriser la compensation centrale. Ce conflit peut être illustré par un exemple : *« lorsque l'on est assis à la fenêtre d'un train à l'arrêt et que le train d'à côté démarre. On a pendant quelques secondes l'impression de reculer. Cela signifie que les yeux nous ont donné une information alors que les oreilles internes et la proprioception (par les points d'appuis du siège) nous en donnaient une autre. Il y a incohérence entre les trois afférences de l'équilibre et impression de mouvement »* (12). Ce phénomène se traduit pendant la séance par l'apparition d'un nystagmus optocinétique, une déviation posturale ipsi-latérale à la stimulation, et une sensation de mouvement, appelée vection (2, 8, 9, 11, 17).

Ainsi (2, 8, 9, 11, 17) :

- la sensation de mouvement se fait dans le sens contraire de la stimulation et est la preuve de l'engagement du réflexe optocinétique. Le sujet a l'impression que la pièce tourne dans le sens contraire de la direction des points lumineux. « *Tout se passe comme si le sujet percevait un stimulus immobile et un mouvement contraire de la pièce qui fait office d'écran* » (9).
- la déviation posturale n'est pas un déséquilibre, mais une correction en réponse à la vection : elle se fait donc dans la direction des points lumineux.

Les objectifs de cette technique sont multiples :

- diminuer le poids du système visuel, pour favoriser le système somesthésique, notamment l'entrée podale (1, 3, 6, 11, 12, 35) ;
- réaliser une rééducation de type sensibilisation chez les personnes âgées (11) ;
- désensibiliser les sujets souffrant de cinétoses (mal des transports, mal de mer) (12, 39, 40) ;
- faciliter la compensation centrale (12) et améliorer l'équilibre postural (18).

1. 2. 4. 2. Réalité virtuelle

La réalité virtuelle est une technologie que l'on peut qualifier de multidisciplinaire (20–24). Elle est mise en place dans deux grands domaines que sont les sciences et techniques, et les sciences humaines et du vivant (20). Plusieurs secteurs y sont concernés (sciences, psychothérapies, médecine, environnement, industries manufacturières, architecture et urbanisme, transports, culture, art, loisir, patrimoine, défense) (21, 22, 24–26). Notre étude s'intéresse seulement au secteur médical, dans la réhabilitation des troubles vestibulaires.

La réalité virtuelle permet « *à une personne (ou à plusieurs) une activité sensori-motrice et cognitive dans un monde artificiel, créé numériquement, qui peut être imaginaire, symbolique ou une simulation de certains aspects du monde réel.* » (20, 21).

L'immersion de l'individu dans un environnement virtuel peut être décrite comme « *l'état d'un participant lorsque l'un ou plusieurs de ses sens ... est isolé du monde extérieur et n'enregistre plus que des informations issues de l'ordinateur.* » (21). Les différentes interfaces utilisées (sensorielles et motrices) vont affecter le degré d'immersion (21). Plus il y a de sens stimulés, meilleure est l'immersion car la perception de l'environnement virtuel est améliorée (21, 22).

Nous utilisons dans notre étude une interface sensorielle visuelle. La vision fait partie des sens presque indispensables en réalité virtuelle. C'est pourquoi la plupart des dispositifs utilisent cette interface (33). Pour cela il existe différents moyens allant d'un moniteur d'ordinateur standard, à des dispositifs plus complexes tels que les salles immersives (CAVE, SAS, Cube) (21, 22, 33).

L'interface utilisée est un visiocasque (« Head Mounted Display », H.M.D.), il s'agit de l'appareil le plus adapté au vu de l'objectif de cette étude (32). Il permet (21, 22, 26, 33) :

- une vision stéréoscopique (un écran pour chaque œil, ce qui offre une vision en relief) ;
- l'immersion totale dans la scène virtuelle, car l'environnement réel est occulté par le casque ;
- une immersion du regard (la scène visuelle accompagne les mouvements de la tête) ce qui nécessite un système de « tracking » (capteur de position de la tête).

La principale limite de la réalité virtuelle est l'apparition de « cybersickness » ou cinétose (mal des transports), se manifestant par des nausées, vomissements, maux de têtes, fatigue, vertiges etc. (20, 21, 23, 25, 28–30, 33). Celles-ci peuvent apparaître pendant ou après la séance, et sont à distinguer des troubles vestibulaires (28). Elles apparaissent essentiellement avec le port d'un visiocasque et lors (21) :

- « *de conflits entre les trois centres de perception du mouvement (le système vestibulaire de l'oreille interne, la vision et la proprioception) ;*
- *(...) d'immersions trop longues (...) ou d'immersions successives trop rapprochées.* »

Dans le cadre de la rééducation vestibulaire avec un visiocasque, ce n'est pas une limite car le but est de créer un conflit sensoriel comme avec le générateur d'optocinétisme.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODE

2. 1. Population

Notre étude regroupe un échantillon de six patients de sexe féminin avec une médiane d'âge de 53,5 ans (valeur minimale : 22 ans ; valeur maximale : 59 ans), suivi au centre Louis Pierquin pour un trouble vestibulaire périphérique unilatéral et pris en charge dans le service de rééducation vestibulaire. Dans 67% des cas, l'atteinte est située du côté gauche. Un formulaire d'information et de consentement libre et éclairé leur a été fourni avant le début de l'étude (ANNEXE I).

Aucun ne présente de critères d'exclusion, définis comme :

- des vertiges positionnels paroxystiques bénins (V.P.P.B.) ;
- certaines pathologies comme une hypertension artérielle mal contrôlée, une atteinte visuelle sévère, ou des patients sujets à des crises d'épilepsie ;
- des troubles orthopédiques ou rhumatologiques majeurs ;
- des troubles neurologiques.

2. 2. Matériel

2. 2. 1. Plate-forme Satel®

Pour cette étude, une plate-forme de stabilométrie clinique Satel® est utilisée (41). Elle est constituée d'un double-plateau rigide. Ses dimensions sont de 94 cm de largeur, 57 cm de longueur sur 5 cm de hauteur (42). Sous chaque plateau se trouvent quatre capteurs de force de type « Poutres à moment constant », chacun d'eux pouvant supporter une capacité maximale admissible de 100 kg (42, 43). La fréquence d'échantillonnage est de 40 Hz ce qui est recommandé à ce jour (44). La plate-forme est utilisée avec un ordinateur afin de recueillir en temps réel, les données sur le logiciel fourni. Cette plate-forme répond aux normes 85, recommandées par l'Association Française de Posturologie (A.F.P.).

Le principe de la posturographie statique ou dynamique est d'étudier les mécanismes de régulation de l'équilibre. Les capteurs mesurent les forces qui leurs sont appliquées et une seule en résulte : le centre de pression des pieds. Il peut être considéré comme la projection au sol du centre de masse du sujet (44). Le déplacement du centre de pression sur la surface de la plateforme dans le temps va représenter le comportement de régulation de l'équilibre du patient. La position est relevée plusieurs fois par seconde, ce qui permet de tracer en temps réel sur l'écran d'ordinateur « une pelotte ». Elle représente le chemin parcouru par le centre de pression : le statokinésigramme (44, 45). Plusieurs paramètres seront calculés et pourront être comparés à des valeurs normalisées afin d'analyser la capacité du sujet à maintenir son équilibre (45). Cette méthode permet d'évaluer quantitativement les troubles de l'équilibre, les bénéfices de la rééducation et donc l'efficacité des traitements (45).

2. 2. 2. Dizziness Handicap Inventory

Le Dizziness Handicap Inventory (46) ou D.H.I. (ANNEXE II) (47) est un auto-questionnaire validé pour les patients atteints de pathologies vestibulaires (18, 48). Il permet de mesurer les retentissements physique, fonctionnel et émotionnel de la pathologie. Ces trois modalités sont divisées en 25 items : 9 fonctionnels, 9 émotionnels, et 7 physiques. Plusieurs réponses notées de 0 à 4 sont possibles (oui : 4 points, parfois : 2 points, non : 0 point). Les catégories fonctionnelles et émotionnelles sont notées sur 36 points chacune, et la catégorie physique est notée sur 28 points. Le score maximal est de 100 points, plus il est élevé plus le retentissement de la pathologie est important. Nous utilisons le D.H.I. pour compléter les mesures sur plate-forme de force qui n'apportent pas d'information sur le ressenti des patients.

2. 2. 3. Échelle utilisée :

Nous nous basons sur l'Échelle Visuelle Analogique (E.V.A.), couramment utilisée et validée pour coter l'intensité de la douleur (49). Nous remplaçons le terme de douleur par celui de pénibilité. Les bornes de l'échelle sont : « pas de pénibilité » et « pénibilité maximale imaginable ». Nous choisissons de la nommer Échelle de Pénibilité (E.P.). L'utilisation de cette

échelle a pour but d'évaluer si l'une des deux techniques permet une exposition moins pénible aux stimulations optocinétiques.

2. 2. 4. Générateur d'optocinétisme Optotest® (50)

Il s'agit d'une sphère lumineuse de 200 mm de diamètre qui contient une lampe à iode de 15 Watts (fig. 1, 2, en ANNEXE III). Sa disposition dans l'espace est assurée grâce à trois axes de rotation. Elle peut effectuer des rotations horaires et antihoraires allant à des vitesses de 0 à 120 degrés par seconde (°/s). Nous pouvons contrôler les directions de la sphère à distance grâce à une télécommande permettant de gérer la vitesse de rotation, l'axe, et le sens de rotation.

2. 2. 5. Visiocasque (51, 52)

Il s'agit de l'Oculus Rift® DK2, de l'entreprise Oculus VR® (fig. 3, 4, en ANNEXE IV). Il possède un écran de type AMOLED Full HD avec une résolution de 960 x 1080 pixels par œil, et une fréquence de rafraîchissement qui passe de 60Hz à 75Hz ce qui permet une résolution nette lors du mouvement afin d'éviter les flous. Il fonctionne avec les systèmes d'exploitation Windows, Linux, et OSX, avec un branchement sur ordinateur HDMI et USB. Il présente un champ de vision (« Field Of View ») de 100° (verticalement et horizontalement). Son poids est de 440g.

2. 2. 6. Virtualis® (31, 53)

Le visiocasque s'utilise à l'aide du logiciel de la société Virtualis®, créé par le masseur-kinésithérapeute Franck ASSABAN et son équipe. Nous utilisons l'application OptoVR de ce logiciel pour provoquer des stimulations optocinétiques, en choisissant parmi les différents modes possibles : Concrete, Tambour, OptoTree, OptoSpace (fig. 5, 6, 7, 8, en ANNEXE V). Notre choix se porte sur OptoSpace car il s'approche le plus de l'optocinétisme classique. Il s'agit d'un défilement de points lumineux blancs (des étoiles) sur un fond noir. Il y a également la présence de nébuleuses, que nous avons choisi de retirer (fig. 9, en ANNEXE V). Plusieurs

paramètres sont modifiables : la vitesse rotatoire allant de 0 à 100°/s, l'orientation du défilement (horizontal ou vertical), l'opacité du fond noir, la densité des étoiles allant de 100 à 2000, et la taille des étoiles (fig. 10, en ANNEXE V).

2. 3. Méthode

2. 3. 1. Bilan initial

La première séance consiste à réaliser une évaluation instrumentale de l'équilibre statique avec une plate-forme de force et de fournir un questionnaire D.H.I. à remplir pour la prochaine séance, il s'agit du bilan initial. Ces deux méthodes de mesures constituent nos critères de jugement principaux.

- Concernant les mesures sur plate-forme de force (1, 45, 54) :

Nous réalisons quatre mesures en position érigée. Premièrement les yeux ouverts (Y.O.) puis les yeux fermés (Y.F.). Ces deux mesures ne seront pas utilisées car elles servent d'habituations pour le sujet aux tests de la plate-forme. Puis à nouveau une mesure les Y.O. puis les Y.F. La durée de chaque examen est de 51,2 secondes (1). Le thérapeute est toujours placé derrière le patient pour ne pas figurer dans son champ de vision et prêt à le rattraper en cas de perte d'équilibre. Un exemple de feuilles d'évaluation de l'équilibre statique sur plate-forme de force (l'une en condition Y.O. et l'autre les Y.F.) est disponible en annexe (ANNEXE VI).

La position du sujet est normée : le patient monte pieds nus sur la plate-forme, ses pieds sont positionnés exactement de la même façon. Les talons sont écartés de 2 cm et l'espace entre les deux pieds forme un angle de 30° dont la bissectrice coïncide avec l'axe sagittal de la plateforme, le centre du polygone de sustentation se trouvant sur ce même axe.

Lors des mesures nous devons respecter un environnement visuel et sonore normé. C'est-à-dire, une pièce avec un niveau sonore neutre pour empêcher tout détournement d'attention, une lumière artificielle homogène et non agressive, ainsi que l'absence de repères visuels. Nous plaçons une gommette d'un centimètre de diamètre en face du sujet à une distance de 90 cm.

Nous éteignons le moniteur de l'ordinateur sur lequel est fixé la gomme lors de la mesure yeux ouverts (Y.O.) afin d'éviter une perturbation visuelle.

Les mêmes consignes doivent être données à chaque patient au cours des mesures :

- « *vous mettez les bras le long du corps* » (54) ;
- « vous allez rester détendu, sans bouger, en regardant la gomme devant vous (ou en fermant les yeux) et en comptant à haute voix jusqu'à ce qu'on vous dise que c'est fini. C'est bien compris ? » (54) ;
- « regardez la gomme, commencez à compter, et c'est parti ! » (54).

Le fait de compter à haute voix permet de réguler la respiration, de libérer les articulations temporo-mandibulaires (ATM), mais aussi d'avoir un niveau d'attention peu ou prou similaire pour chaque patient (1).

Ces conditions d'examen ont été établies dans un premier temps en 1985 puis en 1988, par l'A.F.P., désormais la S.O.F.P.E.L. (Société Francophone Posture Equilibre Locomotion), dans la deuxième édition du dossier nommé « Normes 85 ». Elles permettent ainsi un examen normalisé et reproductible. Toutes les conditions d'enregistrement d'examen des données recueillies par la plate-forme y sont renseignées (54).

- Les paramètres évalués à l'aide de la plate-forme de force sont (1, 54) :

Longueur du statokinésigramme (mm) : il s'agit de la longueur du déplacement du centre de pression (pelote déroulée). Plus la valeur est élevée, plus le sujet est instable.

Surface (mm²) : la surface de l'ellipse de confiance est de 90%. Elle représente la dispersion spatiale des différentes positions du centre de pression sur le polygone de sustentation. Les 10% restant sont considérés comme des oscillations mal contrôlées par le sujet. Ce paramètre représente la précision avec laquelle le sujet se maintient en position érigée.

LFS : longueur en fonction de la surface. Celle-ci permet de mesurer la distance parcourue par le centre de pression par unité de surface. Ce paramètre permet d'appréhender l'énergie que le sujet dépense pour maintenir son équilibre.

Quotient de Romberg (Q.R.) : le rapport entre la surface les Y.F. sur la surface les Y.O. Ce paramètre quantifie la participation de l'entrée visuelle dans la régulation de l'équilibre. Un Q.R. inférieur à 1,12 traduit une perturbation par l'entrée visuelle.

2. 3. 2. Séance de rééducation type et protocole instrumental

Une fois le bilan initial effectué, les patients sont suivis sur cinq séances consécutives au cours de leur rééducation en kinésithérapie vestibulaire. En complément de séances de rééducation vestibulaire classique, trois patients forment le groupe « optocinétisme » et bénéficient de séances d'optocinétisme classique. Trois autres patients forment le groupe « réalité virtuelle » et bénéficient de séances de réalité virtuelle. Une fois les cinq séances terminées, un bilan final identique au bilan initial est réalisé. Une fiche protocolaire reprenant les principaux éléments du suivi d'un patient à respecter, est disponible en annexe (ANNEXE VII).

La durée d'une séance s'étend de 45 minutes à 1 heure (18). En premier lieu, un interrogatoire est réalisé afin de recueillir des informations sur l'après-séance précédente, d'identifier si de nouvelles doléances sont apparues ou ont disparues, et évaluer l'état du patient. Ces informations sont importantes, car elles permettent d'adapter les séances au patient. Suite à cet interrogatoire, la séance se poursuit par une rééducation vestibulaire classique au cours de laquelle nous essayons de reproduire les mêmes conditions d'exercice pour chacun des patients par soucis de reproductibilité. Néanmoins, le principe de cette rééducation est de s'adapter à chaque patient. Celle-ci diffère donc en fonction des individus, de leurs habitudes de vie et de leur état au moment de la prise en charge. En fin de séance, nous procédons aux exercices faisant l'objet de cette étude.

- Protocole d'optocinétisme classique :

N'existant pas de consensus sur un protocole d'optocinétisme, nous avons décidé de nous inspirer de certains éléments des travaux d'Alain SEMONT (37) et de celui déjà mis en place au centre de rééducation Louis Pierquin, par les rééducateurs en kinésithérapie vestibulaire.

La durée de l'exercice est d'environ 10 minutes. Nous réalisons la séance dans une pièce sombre, où les murs et le plafond de couleur blanche font office d'écrans (37). Le sujet se trouve à environ 2 mètres du mur situé en face de lui, il est en position érigée, les bras détendus le long du corps, les pieds légèrement écartés et le regard à l'horizontale (37). Le générateur d'optocinétisme est placé au-dessus du sujet, sur le mur situé derrière lui. Une chaise est placée derrière le sujet par précaution. Nous nous assurons que la face postérieure des membres inférieurs ne soit pas en contact avec celle-ci. Le thérapeute se trouve latéralement et en arrière du sujet, en parade, de manière à ne pas figurer dans le champ de vision du patient. La consigne donnée au patient est : « Regardez devant vous le défilement des points lumineux en essayant de ne rien fixer » (37).

Nous réalisons une stimulation de 2 minutes dans chaque sens, toujours dans le même ordre : vers la gauche, la droite, le bas et le haut. Entre chaque stimulation une pause de 10 secondes est accordée au patient, celui-ci se plaçant en position assise les yeux fermés (mise au repos oculaire) ce qui nous permet également de changer le sens de la stimulation. La vitesse de rotation du planétarium est mise en place en fonction du patient qui doit être perturbé par le défilement des lumières (oscillations, déviations) (38). Cependant, nous ne dépassons jamais 20°/s.

Durant chaque stimulation, nous recueillons le ressenti du patient, afin de nous assurer qu'il supporte la séance, et pour savoir s'il se produit une sensation de vection. À la fin de la séance, l'E.P. est fournie au patient afin qu'il cote la pénibilité de l'exercice. La relève d'un phénomène de vection, et la mesure de la pénibilité constituent nos critères de jugement secondaires.

Dès lors que le patient est perturbé pendant la séance, nous y mettons immédiatement fin. Nous éteignons le générateur, ouvrons la porte de la salle et allumons la lumière. Nous notons ensuite la cause de l'arrêt (nausées, vertiges, céphalées, etc.) et demandons une cotation du trouble ressenti à l'origine de l'arrêt à l'aide de l'échelle de pénibilité.

- Protocole de réalité virtuelle :

Par soucis de reproductibilité, le protocole de réalité virtuelle est le plus identique possible à celui de l'optocinétisme classique. Ainsi, la différence majeure est la disposition de la pièce. Le sujet porte le visiocasque et se situe face au système de tracking situé sur l'ordinateur. Le fait que le patient soit totalement immergé permet au thérapeute de se placer en parade où bon lui semble sans gêner le patient dans son exercice. Une chaise est placée avec la même précaution que dans le protocole d'optocinétisme classique. Concernant les autres modalités du protocole (temps, position du sujet, consigne, direction et vitesse des stimulations, temps de pause, fin de séance et recueil des critères de jugement secondaires) ils sont identiques à ceux du protocole d'optocinétisme classique.

2. 4. Méthode statistique :

L'effectif de la population étant de petite taille, nous avons fait le choix d'évaluer et de quantifier la progression de chaque patient par une analyse descriptive. L'évolution des résultats sur plate-forme de force est mesurée en gain (ce qui permet de quantifier la progression de chaque patient indépendamment de leur niveau d'origine), à l'aide de la formule $(((\text{valeur bilan final} - \text{valeur bilan initial}) / \text{valeur bilan initial}) * 100)$. L'évolution des scores au questionnaire Dizziness Handicap Inventory est quantifiée en calculant la différence de points obtenus, dans chaque catégorie, lors du passage du bilan initial au bilan final.

3. RÉSULTATS

Tableau I : résultats des mesures sur plate-forme de force, groupe optocinétisme

Rééducation par optocinétisme classique				Patient 1		Patient 2		Patient 5	
Paramètres	Conditions	Normes	Bilan	Valeur	Gain (%)	Valeur	Gain (%)	Valeur	Gain (%)
Longueur (mm)	Yeux ouverts	429 [307,599]	Initial	1971	5,3	493,4	7,49	363,9	-1,18
			Final	2075,77		530,38		359,63	
	Yeux fermés	613 [346,880]	Initial	2431	20,73	881,9	-9,02	578	-0,51
			Final	2935		802,37		575,1	
Surface (mm ²)	Yeux ouverts	91 [39,210]	Initial	3815	-28,33	307,6	-54,61	331,4	-22,31
			Final	2734,47		139,61		257,48	
	Yeux fermés	225 [79,638]	Initial	4981	32,44	361,7	-49,53	612,7	6,27
			Final	6596,74		182,54		651,09	
LFS	Yeux ouverts	1 [0,72 , 1,39]	Initial	0,24	150	1,02	24,51	0,72	8,33
			Final	0,6		1,27		0,78	
	Yeux fermés	1 [0,70 , 1,44]	Initial	0,09	-66,67	1,4	5,71	0,74	-1,35
			Final	0,03		1,48		0,73	
Quotient de Romberg		2,88 [1,12 , 6,77]	Initial	1,31	83,97	1,18	11,02	1,85	36,76
			Final	2,41		1,31		2,53	

Les résultats des mesures sur plate-forme de force du groupe optocinétisme (tab. I) montrent que :

Chez le patient 1, l'ensemble des paramètres excepté le quotient de Romberg étaient en dehors des normes lors du bilan initial. Au bilan final la valeur du paramètre longueur en condition Y.O. a augmenté de 5,3%, celle des paramètres longueur et surface en condition Y.F. de 20,73% et 32,44%, et la valeur du paramètre LFS en condition Y.F. a diminué de 66,67%. Ces gains montrent pour ces 4 paramètres un éloignement des normes. Les paramètres surface et LFS en condition Y.O. tendent à s'approcher des normes avec, respectivement, une diminution de 28,33% et une augmentation de 150% de leurs valeurs. Le quotient de Romberg est maintenu dans l'intervalle des normes.

Chez le patient 2, au bilan final, la valeur du paramètre surface en condition Y.O. a diminué de 54,61% et celle du paramètre longueur en condition Y.F. de 9,02% leur permettant de se normaliser. Le paramètre LFS en condition Y.F. est sorti de l'intervalle des normes suite à une augmentation de sa valeur de 5,71%. Les 4 paramètres restant se maintiennent dans les normes.

Chez le patient 5, au bilan final, la valeur du paramètre LFS en condition Y.O. a augmenté de 8,33% lui permettant de se normaliser. Le paramètre surface en condition Y.O. tend vers l'intervalle des normes suite à une diminution de sa valeur de 22,30%. Le paramètre surface en condition Y.F. est sorti de l'intervalle des normes suite à une augmentation de sa valeur de 6,27%. Les 4 paramètres restant se maintiennent dans les normes.

Tableau II : résultats au questionnaire D.H.I., groupe optocinétisme

Rééducation par optocinétisme classique		Patient 1		Patient 2		Patient 5	
Catégories	Bilan	Score	Différentiel	Score	Différentiel	Score	Différentiel
Fontionnelle (sur 36)	Initial	24	-6	26	-4	26	-26
	Final	18		22		0	
Emotionnelle (sur 36)	Initial	22	-6	18	-4	16	-16
	Final	16		14		0	
Physique (sur 28)	Initial	14	-2	16	-2	24	-24
	Final	12		14		0	
Total (sur 100)	Initial	60	-14	60	-10	66	-66
	Final	46		50		0	

Les résultats au questionnaire D.H.I. du groupe optocinétisme (tab. II) montrent que :

Au bilan final, le score de chaque catégorie a diminué pour l'ensemble des patients. Le patient 5 est celui chez qui la diminution a été la plus importante puisque chaque catégorie a vu son score passer à 0 point, faisant passer le score total de 66 à 0 point. Le patient 1 est le suivant avec une diminution de 14 points du score total le faisant passer de 60 à 46 points. Les scores des catégories émotionnelle et fonctionnelle ont diminué de 6 points chacun, de manière plus importante, que la catégorie physique avec une réduction de 2 points de son score. Chez le patient 2, le score total a diminué de 10 points passant de 60 à 50 points. Les scores des catégories fonctionnelle et émotionnelle ont diminué de 4 points chacun, de manière plus importante que la catégorie physique avec une réduction de 2 points de son score.

Les figures 11, 12, 13, et 14 (ANNEXE VIII) représentent graphiquement les résultats de chaque catégorie du questionnaire D.H.I. pour les patients du groupe optocinétisme.

Tableau III : résultats des mesures sur plate-forme de force, groupe réalité virtuelle

Rééducation par réalité virtuelle			Patient 3		Patient 4		Patient 6		
Paramètres	Conditions	Normes	Bilan	Valeur	Gain (%)	Valeur	Gain (%)	Valeur	Gain (%)
Longueur (mm)	Yeux ouverts	429 [307,599]	Initial	1812	-23,56	342,5	22,51	514,4	-20,96
			Final	1385,2		419,52		406,6	
	Yeux fermés	613 [346,880]	Initial	2478	-9,09	474,3	2,23	582	-11,07
			Final	2252,89		484,86		517,55	
Surface (mm ²)	Yeux ouverts	91 [39,210]	Initial	2987	-45,17	209,6	38,44	104,2	-44,87
			Final	1637,73		290,2		57,45	
	Yeux fermés	225 [79,638]	Initial	6194	-26,66	205,1	-9,34	125,1	-29,09
			Final	4542,74		185,89		88,73	
LFS	Yeux ouverts	1 [0,72 , 1,39]	Initial	0,42	128,57	0,76	19,74	1,24	-16,94
			Final	0,96		0,91		1,03	
	Yeux fermés	1 [0,70 , 1,44]	Initial	0,04	200	0,84	9,52	1,12	-8,04
			Final	0,12		0,92		1,03	
Quotient de Romberg		2,88 [1,12 , 6,77]	Initial	2,07	33,82	0,98	-34,69	1,2	28,33
			Final	2,77		0,64		1,54	

Les résultats des mesures sur plate-forme de force du groupe réalité virtuelle (tab. III) montrent que :

Chez le patient 3, l'ensemble des paramètres excepté le quotient de Romberg étaient en dehors des normes lors du bilan initial. Au bilan final, le paramètre LFS en condition Y.O. s'est normalisé suite à une augmentation de sa valeur de 128,57%, et le quotient de Romberg a été maintenu dans l'intervalle des normes. Les 5 paramètres restant tendent à se normaliser.

Chez le patient 4, l'ensemble des paramètres excepté le quotient de Romberg étaient dans les normes lors du bilan initial. Au bilan final, le quotient de Romberg s'est éloigné des normes suite à une diminution de sa valeur de 34,69%, et le paramètre surface en condition Y.O. est sorti de l'intervalle des normes suite à une augmentation de 38,44% de sa valeur. Les 5 paramètres restant se maintiennent dans les normes.

Chez le patient 6, l'ensemble des paramètres étaient dans les normes lors du bilan initial. Au bilan final la totalité des paramètres se maintiennent dans les normes.

Tableau IV : résultats au questionnaire D.H.I., groupe réalité virtuelle

Rééducation par réalité virtuelle		Patient 3		Patient 4		Patient 6	
Catégories	Bilan	Score	Différentiel	Score	Différentiel	Score	Différentiel
Fontionnelle (sur 36)	Initial	16	-6	22	2	20	-4
	Final	10		24		16	
Emotionnelle (sur 36)	Initial	20	-8	20	4	16	-4
	Final	12		24		12	
Physique (sur 28)	Initial	14	-6	20	6	22	-2
	Final	8		26		20	
Total (sur 100)	Initial	50	-20	62	12	58	-10
	Final	30		74		48	

Les résultats au questionnaire D.H.I. du groupe réalité virtuelle (tab. IV) montrent que :

Au bilan final, les scores de l'ensemble des catégories chez les patients 3 et 6 ont diminué, tandis que ceux du patient 4 ont augmenté. Chez le patient 3, le score total a diminué de 20 points le faisant passer de 50 à 30 points. La catégorie émotionnelle a diminué de 8 points, de manière plus importante que les catégories fonctionnelle et physique ayant diminué de 6 points chacune. Chez le patient 6, le score total a diminué de 10 points le faisant passer de 58 à 48 points. Les catégories fonctionnelle et émotionnelle ont diminué de 4 points, et la catégorie physique de 2 points. Chez le patient 4, le score total a augmenté de 12 points le faisant passer de 62 à 74 points. La catégorie physique a augmenté de 6 points, émotionnelle de 4 points, et fonctionnelle de 2 points.

Les figures 15, 16, 17, et 18 (ANNEXE VIII) représentent graphiquement les résultats de chaque catégorie du questionnaire D.H.I. pour les patients du groupe réalité virtuelle.

Les tableaux V et VI (ANNEXE IX) présentent les résultats des critères de jugement secondaires. C'est-à-dire la relève du phénomène de vection, ainsi que la cotation de la pénibilité ressentie à l'aide de l'échelle de pénibilité au cours de chaque séance pour l'ensemble des patients des deux groupes.

Le tableau VII regroupe la totalité des données obtenues sur l'échantillon (ANNEXE X).

4. DISCUSSION

4. 1. Interprétation des résultats

Les résultats des bilans obtenus sur plate-forme de force associés aux résultats du questionnaire D.H.I. semblent montrer une amélioration de l'équilibre statique et des retentissements fonctionnels, émotionnels, et physiques de la pathologie pour les patients 2 et 5 du groupe optocinétisme et pour les patients 3 et 6 du groupe réalité virtuelle. Concernant le cas du patient 5, il est important de préciser que seulement deux séances séparées de plus de deux semaines ont été réalisées et que suite à la dernière séance, les plaintes n'étaient plus présentes. Concernant le patient 1 du groupe optocinétisme, l'équilibre statique semble se dégrader suivant les résultats des mesures sur plate-forme de force, mais les résultats au questionnaire D.H.I. montrent une amélioration des retentissements de la pathologie. Nous reviendrons ultérieurement sur une hypothèse de cette divergence au cours de la discussion. Enfin, chez le patient 4, les résultats des mesures sur plate-forme de force semblent montrer une dégradation de l'équilibre statique, ce qui est en accord avec les résultats au questionnaire D.H.I. qui montrent une aggravation des retentissements de la pathologie sur la patiente.

Les critères de jugement secondaires ne bénéficient pas d'analyse descriptive car ils n'ont pu être utilisés de manière pertinente. Premièrement, la mesure de la pénibilité n'a pu se faire dès la première séance de rééducation pour la majorité des patients, ce qui limite l'interprétation des résultats. De plus, cette échelle qui est basée sur l'E.V.A. permet le suivi d'un patient, mais elle ne permet pas de réaliser des comparaisons interindividuelles (49). Secondement, le phénomène de vection a été relevé selon les sensations que les patients nous décrivaient. Notre intention était d'étudier si l'une des deux techniques avait la possibilité de produire un nystagmus optocinétique plus aisément. Seulement cette méthode ne permet pas d'apprécier ce phénomène quantitativement. Une évaluation par une méthode plus fiable, comprenant par exemple une échelle de mesure validée serait plus adaptée. Enfin, peu de variations des résultats sont observables pour ces deux critères. Une analyse sur un nombre de séances plus important permettrait de pallier ce manque de données.

L'interprétation de ces résultats ne nous permet pas de conclure à la supériorité d'une technique par rapport à l'autre. Cependant, au vu de ces résultats, la même proportion de patients dans chaque groupe est sujette à une évolution bénéfique. Par conséquent, nous pouvons envisager que la technique de réalité virtuelle n'est pas moins efficace que la technique de référence qu'est l'optocinétisme classique. Concernant l'évolution favorable de ces patients, nous devons tenir compte que plusieurs hypothèses, en dehors des techniques utilisées dans cette étude, peuvent l'expliquer :

- une amélioration due à la rééducation vestibulaire classique, adaptée à chaque patient ;
- une amélioration due à une pratique sportive ou à des activités que le patient peut exercer en dehors de la rééducation (15, 35, 55) ;
- une amélioration spontanée, car la récupération évolue suivant différents facteurs intrinsèques propre à chaque individu (compensation vestibulaire, pathologie, âge, motivation et anxiété) (15).

4. 2. Méthodologie

La principale limite de cette étude est la faiblesse de l'échantillon de population utilisé. En effet, un effectif plus important permettrait d'homogénéiser la population (en terme d'âge, de sexe, de pratique sportive, de pathologie etc.), et de réaliser une étude statistique afin de rechercher une différence significative entre les deux techniques utilisées.

Concernant les groupes de patients, il serait pertinent de les concevoir par randomisation contrôlée ce qui limiterait les biais de sélection. Nous proposons également d'ajouter un groupe de contrôle C, composé de patients ne réalisant aucune des deux techniques de rééducation proposées dans cette étude mais uniquement une rééducation vestibulaire commune à l'ensemble des patients. Ce groupe permettrait de faire la distinction entre l'évolution de l'équilibre postural permise par la rééducation vestibulaire, et celle par l'optocinétisme classique ou la réalité virtuelle.

Lors de notre étude le bilan final est réalisé au bout de 5 séances pour l'ensemble des patients. Cela ne correspond pas aux données de la littérature qui préconisent 15 séances de rééducation avec un maximum de 20 séances (12, 17). Le nombre de séances va cependant

dépendre de l'évolution des patients, et s'étend sur une période de 2 à 10 semaines (14, 17). Au sujet de la réalité virtuelle il est notion d'un temps d'exposition plutôt que d'un nombre de séances. La durée cumulée doit être de 120 à 150 minutes si l'on veut pouvoir quantifier un bénéfice pour le patient (28). Le temps d'une séance de stimulation optocinétique (classique ou par réalité virtuelle) ayant été estimé à environ 10 minutes, nous suggérons de suivre les patients sur 15 séances à raison de 2 séances par semaines.

Lors des bilans, les horaires où les mesures sur plate-forme de force ont été réalisées n'étaient pas similaires d'un patient à l'autre et chez le même patient, ce qui constitue un biais de réalisation. Une prise de mesures à une période définie de la journée étant difficilement réalisable au vu de la disponibilité de chaque patient. Avant le début du bilan sur plate-forme de force, nous devons contrôler la fatigue, la prise d'un repas, d'alcool, de drogue, de tabac, de tranquillisant, ou d'un traitement médicamenteux ou ototoxique afin d'éviter toutes modifications des résultats (1). Cela peut s'illustrer dans notre étude chez le patient 1 puisque suite à son bilan final, les résultats des mesures sur plate-forme de force montrent une dégradation de la majorité des paramètres, notamment les yeux fermés. Cependant les résultats au questionnaire D.H.I. montrent une diminution de l'ensemble des catégories et par conséquent une amélioration du ressenti du patient. Nous émettons comme hypothèse que la cause de cette incohérence soit due à l'état du patient lors de la mesure. En effet celui-ci nous avait confié ce jour un état de fatigue important suite à : « une mauvaise nuit ». Au cours de ces mêmes mesures, certaines conditions de réalisation n'ont pas pu être respectées, or il est nécessaire qu'elles soient rigoureusement suivies si nous souhaitons assurer la reproductibilité des tests (45). En effet, l'environnement sonore ne pouvait être neutre puisque la pièce où se trouvait la plate-forme était une salle de rééducation où d'autres patients et leurs thérapeutes pouvaient se trouver. De la même manière, l'environnement visuel n'était pas composé d'une lumière artificielle non agressive mais d'une fenêtre et donc d'un éclairage variable.

Des informations supplémentaires sont à recueillir afin de compléter nos connaissances actuelles sur les modalités d'application de la réalité virtuelle dans la rééducation vestibulaire, notamment en définissant une population de patients à qui prodiguer cette technique, et en relevant les désavantages de cette technique, que sont (16, 28) :

- relever l'heure à laquelle chaque séance est réalisée, la fréquence, l'intensité et la difficulté des séances.
- évaluer les cinétoses ou cybersickness potentiellement induites par l'utilisation d'une technique de réalité virtuelle à l'aide d'un questionnaire comme le Simulator Sickness Questionnaire (S.S.Q.) (56) ;

Certains aspects des séances de stimulations optocinétiques sont à discuter :

La pièce dans laquelle étaient réalisées les stimulations par optocinétisme classique était de forme carrée. En revanche pour produire une stimulation visuelle périphérique parfaite nous avons vu qu'il était préférable que la pièce possède des murs courbes (36). L'inconvénient d'une stimulation dans une pièce carrée est la présence d'angles entre les murs et le plafond, qui vont fournir un repère fixe où le regard du patient va pouvoir s'accrocher, perturbant ainsi le déclenchement du nystagmus optocinétique. A l'inverse, une pièce courbe génère un défilement de la scène visuelle parfaitement fluide ne laissant aucun repère au patient. Cette configuration se rapproche d'une stimulation avec un visiocasque qui immerge totalement le patient dans un environnement lui aussi dépourvu de repère (21, 22, 26, 33).

Plusieurs visiocasques existent et d'autres sont en développement. Une étude validée sur les différents visiocasques disponibles sur le marché, permettrait d'orienter notre choix sur l'appareil le plus pertinent à utiliser dans la rééducation vestibulaire. Un avis comparatif entre l'Oculus Rift CV1 ® (qui est un modèle plus récent que celui utilisé dans notre étude) et l'HTC Vive ®, est disponible sur le site internet de la société Virtualis ® (57). Différentes caractéristiques sont comparées, en arrivant à la conclusion que l'HTC Vive ® serait plus adapté pour une utilisation thérapeutique (57). Toutefois, il faut tenir compte du fait qu'il s'agit d'un test subjectif où l'accès aux méthodes de comparaison n'est pas disponible.

4. 3. Comparaison des deux techniques

Au cours de la rééducation vestibulaire, l'utilisation d'un générateur d'optocinétisme classique ou d'un visiocasque présente des avantages et des inconvénients techniques qui leurs sont propres. Ces derniers doivent être pris en compte afin de constituer un choix dans l'utilisation de l'un de ces deux appareils. D'une part, l'emploi d'un générateur d'optocinétisme classique nécessite une pièce adaptée si nous souhaitons réaliser les séances dans des conditions optimales (2, 8, 11, 36, 37). Or l'utilisation d'un visiocasque permet d'effectuer une séance dans une pièce quelconque, le sujet étant immergé dans l'environnement virtuel. L'unique condition est l'installation du patient face à l'ordinateur (pour faire face au système de tracking). De plus, le planétaire du générateur d'optocinétisme classique est conçu de sorte à ce que les stimuli lumineux soient séparés d'espaces réguliers. En revanche le mode OptoSpace utilisé en réalité virtuelle présente un environnement où les stimuli lumineux sont disposés de manières aléatoires, provoquant une augmentation de l'efficacité de la stimulation (58). D'autre part, au cours de stimulations optocinétiques avec un générateur classique, l'intégralité du champ de vision du patient est stimulée du fait que les projections lumineuses se font sur les murs et le plafond d'une pièce entourant le patient. Il s'agit d'une stimulation optimale car l'ensemble de la rétine périphérique est stimulée (4, 8, 9, 12, 17, 36), contrairement au résultat obtenu avec l'utilisation d'un visiocasque, comme celui de cette étude, qui n'offre qu'un champ de vision réduit (100°) limitant la couverture des projections sur la rétine périphérique. Par ailleurs, l'usage de la réalité virtuelle avec un visiocasque permet d'envisager divers exercices de rééducation. En effet, si nous prenons comme exemple le logiciel utilisé dans cette étude, plusieurs applications peuvent être employées dans la réalisation d'exercices et de bilans, sachant également que dans l'application OptoVR, différentes formes de stimulations optocinétiques sont envisageables (31, 53). Ainsi cette technique diffère d'un générateur d'optocinétisme classique qui ne permet qu'un exercice, réalisable sous une unique forme. Pour finir, la dernière version du générateur d'optocinétisme Optotest® a une valeur de 4327,26 € toutes taxes comprises. En ce qui concerne la technique de réalité virtuelle, le premier prix disponible proposé par Virtualis® pour pouvoir utiliser leurs logiciels d'optocinétismes (pack comprenant les logiciels d'optocinétismes, de flux optique et de simulation autoroutière, ainsi que le matériel complet nécessaire à leur fonctionnement, c'est-à-dire un visiocasque HTC Vive

®, un ordinateur PC VR-Ready ®, un écran et les accessoires) est de 4302 €. Ces deux appareils présentent donc un coût similaire. Cependant, la réalité virtuelle offre un plus large éventail d'applications.

4. 4. Ouvertures

Plusieurs éléments de cette étude semblent pertinents à développer :

- renouveler cette étude en tenant compte des modifications énoncées dans la discussion ;
- rechercher si une stimulation de la totalité du champ de vision avec un générateur d'optocinétisme classique est différente de celle d'un champ de vision réduit avec un visiocasque ;
- rechercher si le phénomène de vection s'obtient plus rapidement et aisément avec l'une des deux techniques ;
- rechercher si la pénibilité ressentie est différente selon que l'on utilise une technique ou l'autre ;
- rechercher une population spécifique pour qui la réalité virtuelle serait une technique adaptée. En effet cette technologie peut s'avérer anxiogène pour certains patients, notamment les personnes âgées (15).

5. CONCLUSION

L'objectif de cette étude préliminaire était de rechercher si au cours d'une rééducation vestibulaire, des stimulations optocinétiques appliquées à l'aide d'une technique de réalité virtuelle seraient plus efficaces comparées à celles appliquées à l'aide d'une technique d'optocinétisme classique, afin d'améliorer l'équilibre statique ainsi que les retentissements de la pathologie chez des patients atteints d'un trouble vestibulaire périphérique unilatéral.

Les résultats obtenus ne permettent pas de montrer que la réalité virtuelle offre une amélioration plus importante que celle d'un générateur d'optocinétisme classique. Cependant il semblerait que la réalité virtuelle ne soit pas moins efficace.

Mais si la problématique ne se voit pas dotée d'une réponse, cette étude préliminaire offre un protocole standardisé, reproductible et similaire d'utilisation pour chacune des deux techniques et où l'évolution des patients peut être évaluée par des moyens validés. Ce protocole pourra donc servir de support pour de futures études plus approfondies. Ainsi nous suggérerions de sélectionner une population de patients plus importante, d'ajouter un groupe de patients supplémentaire qui n'effectueraient aucune des deux techniques, et de perfectionner l'utilisation et l'évaluation des critères de jugement secondaires.

Bibliographie :

1. Gagey P-M, Weber B. Posturologie: régulation et dérèglements de la station debout. 3e ed. Paris: Masson; 2004.
2. Coroian F, Enjalbert M, Hérisson C, Uziel A. Troubles de l'équilibre d'origine neuro-otogénique et rééducation vestibulaire. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2011.
3. Chays A, Florant A, Ulmer É, Seidermann L. Les vertiges. 2e ed. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2009.
4. Ulmer E, Magnan J. Le Vestibule: un iceberg, des risques de naufrage. Boulogne-Billancourt: Laboratoires Janssen; 1992.
5. SIRV. Equilibration : système de l'équilibre, systèmes récepteurs et effecteurs [Internet]. [Page consultée le 13 décembre 2016]. Disponible sur: <http://www.vestib.org/equilibration.html>
6. Liard P. Le Vertige. Basel: Karger; 1993.
7. Debry C, Mondain M, Reyt É. Collège français d'ORL et de chirurgie cervico-faciale. 2e ed. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2011.
8. Hassid N, Hennaux C, Van Nechel C. La rééducation vestibulaire. Nouveau tirage 2009. Paris: Éditions Frison-Roche; 2004.
9. SIRV. Neurophysiologie de l'équilibration [Internet]. [Page consultée le 13 décembre 2016]. Disponible sur: <http://www.vestib.org/neurophysiologie.html>
10. Souchard P-E. Rééducation posturale globale, RPG. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2011.

11. Sauvage J-P. Vertiges: manuel de diagnostic et de réhabilitation. 2e ed. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2014.
12. Sauvage J-P, Grenier H, Fumat C. Guide de rééducation vestibulaire. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2015.
13. SIRV. L'oreille interne et vestibule, labyrinthe membraneux : anatomie [Internet]. [Page consultée le 13 décembre 2016]. Disponible sur: <http://www.vestib.org/interne.html>
14. ANAES. Vertiges chez l'adulte : Stratégies diagnostiques, place de la rééducation vestibulaire. 1997 [Internet]. [Page consultée le 4 novembre 2016]. Disponible sur: http://www.orl-chu-angers.fr/media/rbpc_vertiges_diagn__073817100_0810_22062012.pdf
15. Lacour M, Bernard-Demanze L. Interaction between Vestibular Compensation Mechanisms and Vestibular Rehabilitation Therapy: 10 Recommendations for Optimal Functional Recovery. *Front Neurol.* 2014;5:285.
16. Hall CD, Herdman SJ, Whitney SL, Cass SP, Clendaniel RA, Fife TD, et al. Vestibular Rehabilitation for Peripheral Vestibular Hypofunction: An Evidence-Based Clinical Practice Guideline. *J Neurol Phys Ther.* 2016;40(2):124-55.
17. Tran Ba Huy P, Charfi S. Bases physiopathologiques et pratiques de la rééducation vestibulaire. *Ann Otolaryngol Chir Cervico-Faciale.* 2008;125(5):273-81.
18. SOFMER. Éléments de la littérature pour une refonte des actes de rééducation vestibulaire - Réunion CNAMTS (document de travail) [Internet]. [Page consultée le 3 septembre 2016]. Disponible sur: file:///C:/Users/Sony/AppData/Local/Temp/reeducation_vestibulaire_sofmer_2.pdf
19. McDonnell MN, Hillier SL. Vestibular rehabilitation for unilateral peripheral vestibular dysfunction. *Cochrane Database Syst Rev.* 2015;1.

20. Fuchs P. Le traité de la réalité virtuelle : Tome 1, L'homme et l'environnement virtuel. 3e ed. Paris: Presses de l'Ecole des Mines; 2006.
21. Klinger E. Apports de la réalité virtuelle à la prise en charge de troubles cognitifs et comportementaux. 2006. 228p. Thèse. : Paris, École Doctorale d'Informatique, Télécommunications et Électronique de Paris
22. Piette P, Pasquier J. Réalité virtuelle et rééducation. *Kinésithérapie Rev.* 2012;12(128–129):38-41.
23. Sparto PJ, Furman JM, Whitney SL, Hodges LF, Redfern MS. Vestibular rehabilitation using a wide field of view virtual environment. *Eng Med Biol Soc.* 2004;7:4836-9.
24. Morel M, Bideau B, Lardy J, Kulpa R. Advantages and limitations of virtual reality for balance assessment and rehabilitation. *Neurophysiol Clin Neurophysiol.* 2015;45(4–5):315-26.
25. Fuchs P. Le traité de la réalité virtuelle : Tome 4, Applications de la réalité virtuelle. 3e ed. Paris: Presses de l'Ecole des Mines; 2006.
26. Burdea G, Coiffet P. La Réalité virtuelle. Paris: Hermès; 1993.
27. Deveze A, Bernard-Demanze L, Xavier F, Lavieille J-P, Elziere M. Vestibular compensation and vestibular rehabilitation. Current concepts and new trends. *Neurophysiol Clin Neurophysiol.* 2014;44(1):49-57.
28. Bergeron M, Lortie CL, Guitton MJ. Use of Virtual Reality Tools for Vestibular Disorders Rehabilitation: A Comprehensive Analysis. *Adv Med.* 2015;2015:e916735.
29. Robert MT, Ballaz L, Lemay M. The effect of viewing a virtual environment through a head-mounted display on balance. *Gait Posture.* 2016;48:261-6.

30. Kiryu T, So RH. Sensation of presence and cybersickness in applications of virtual reality for advanced rehabilitation. *J NeuroEngineering Rehabil.* 2007;4:34.
31. Assaban F. Réalité virtuelle : de nouvelles possibilités en kinésithérapie vestibulaire. *Kiné Actu.* 2016;1462:20-3.
32. Pavlou M, Kanegaonkar RG, Swapp D, Bamiou DE, Slater M, Luxon LM. The effect of virtual reality on visual vertigo symptoms in patients with peripheral vestibular dysfunction: a pilot study. *J Vestib Res Equilib Orientat.* 2012;22(5-6):273-81.
33. Fuchs P. Le traité de la réalité virtuelle : Tome 2, Interfaçage, immersion et interaction en environnement virtuel. 3e ed. Paris: Presses de l'Ecole des Mines; 2006.
34. SIRV. Rééducation vestibulaire pour le traitement des vertiges [Internet]. [Page consultée le 13 décembre 2016]. Disponible sur: <http://www.vestib.org/rehabilitation.html>
35. Mesure S, Lamendin H. Posture, pratique sportive et rééducation. Paris: Masson; 2001.
36. Grapinet J. La stimulation optocinétique (Optokinetic stimulation) / Rééducation vestibulaire. In *Vestibulaire.com* [Internet]. [Page consultée le 14 décembre 2016]. Disponible sur: http://www.vestibulaire.com/La-stimulation-optocinetique-Optokinetic-stimulation-Reeducation-vestibulaire_a14.html
37. Vitte E, Sémont A, Berthoz A. Repeated optokinetic stimulation in conditions of active standing facilitates recovery from vestibular deficits. *Exp Brain Res.* 1994;102(1):141-8.
38. SIRV. Rééducation vestibulaire : le Syndrome Déficitaire [Internet]. [Page consultée le 13 décembre 2016]. Disponible sur: <http://www.vestib.org/deficitaire.html>
39. Trendel D, Haus-Cheymol R, Erauso T, Bertin G, Florentin J-L, Vaillant P-Y, et al. Original clinical research: Optokinetic stimulation rehabilitation in preventing seasickness. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis.* 2010;127:125-9.

40. Ressiot E, Dolz M, Bonne L, Marianowski R. Prospective study on the efficacy of optokinetic training in the treatment of seasickness. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis.* 2013;130(5):263-8.
41. Satel. Les plateformes de forces. In Satel posture [Internet]. [Page consultée le 8 septembre 2016]. Disponible sur: http://www.satel-posture.com/index.php?option=com_content&view=article&id=67&Itemid=145&lang=fr
42. Satel. Evaluation des troubles de l'équilibre en conditions statiques et dynamiques (posturographie). Plateforme de forces double plateau. [Internet]. [Page consultée le 18 septembre 2016]. Disponible sur: https://focuslab.inria.fr/IMG/pdf/ft_pf8.pdf
43. Satel. Les Capteurs de forces. In Satel Posture [Internet]. [Page consultée le 12 décembre 2016]. Disponible sur: http://www.satel-posture.com/index.php?option=com_content&view=article&id=68&Itemid=146&lang=fr
44. Montoya R, Dupui P. Technique d'analyse de la posture, de l'équilibre et de la locomotion [Internet]. [Page consultée le 18 septembre 2016]. Disponible sur: <http://www.adpodologie.com/sites/default/files/technique-danalyse-de-la-posture.pdf>
45. HAS. Analyse de la posture statique et/ou dynamique sur plate-forme de force (posturographie). 2007. [Internet]. [Page consultée le 3 septembre 2016]. Disponible sur: http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/rapport_analyse_de_la_posture.pdf
46. Jacobson GP, Newman CW. The development of the Dizziness Handicap Inventory. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* 1990;116(4):424-7.

47. Dizziness Handicap Inventory (Français) [Internet]. [Page consultée le 9 janvier 2017]. Disponible sur: https://www.atlasmedic.com/documents/fr/Protocoles%20et%20guides/5-DHI%20/5-DHI_FR.pdf
48. Mutlu B, Serbetcioglu B. Discussion of the dizziness handicap inventory. *J Vestib Res Equilib Orientat*. 2013;23(6):271-7.
49. HAS. Évaluation et suivi de la douleur chronique chez l'adulte en médecine ambulatoire [Internet]. [Page consultée le 26 janvier 2017]. Disponible sur: http://www.has-sante.fr/portail/jcms/c_540915/fr/evaluation-et-suivi-de-la-douleur-chronique-chez-l-adulte-en-medecine-ambulatoire
50. Optotest©. Boule de Stimulation Optocinétique, rééducation vestibulaire. In Techno Concept [Internet]. [Page consultée le 22 septembre 2016]. Disponible sur: http://www.elitemedicale.fr/media/documentations/Techno_concept/boule_optocinetique/Techno_concept_fiche_technique_boule_optocinetique.pdf
51. Oculus VR. Announcing the Oculus Rift Development Kit 2 (DK2). In Oculus [Internet]. [Page consultée le 18 janvier 2017]. Disponible sur: <https://www.oculus.com/blog/announcing-the-oculus-rift-development-kit-2-dk2>
52. ETR. Fiche technique. In Oculus Rift DK2 [Internet]. [Page consultée le 8 septembre 2016]. Disponible sur: <http://www.etr.fr/oculus-rift-dk2/>
53. Fonlupt T. Réalité Virtuelle thérapeutique Vestibulaire. In Virtualis [Internet]. Virtualis. [Page consultée le 21 septembre 2016]. Disponible sur: <http://virtualis-lab.com/>
54. Gagey P-M, Gentaz R, Guillamon J-L, Bizzo G, Bodot-Brégeard C, Debruille C, et al. Normes 85 Etudes statistiques des mesures faites sur l'homme normal à l'aide de la plateforme de stabilométrie clinique normalisée. 2e ed. Paris; 1988.

55. Vaillant J. Kinésithérapie et amélioration du contrôle de l'équilibre du sujet âgé : effets de traitements cognitifs, manuels et instrumentaux. 2007. 257p. Thèse. : Grenoble, Université Joseph-Fourier
56. Kennedy RS, Lane NE, Berbaum KS, Lilienthal MG. Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *Int J Aviat Psychol.* 1993;3(3):203-20.
57. Fonlupt T. HTC Vive vs Oculus Rift. In *Virtualis [Internet]. Virtualis.* [Page consultée le 8 janvier 2017]. Disponible sur: <http://virtualis-lab.com/htc-vive-vs-oculus-rift/>
58. Watanabe Y, Ohmura A, Shojaku H, Mizukoshi K. Optokinetic nystagmus elicited by a random dot pattern and a wide interval stripe pattern in normal subjects. *Acta Oto-Laryngol Suppl.* 1994;511:104-8.

ANNEXES

ANNEXE I : formulaire d'information et de consentement libre et éclairé

ANNEXE II : questionnaire Dizziness Handicap Inventory (D.H.I.)

ANNEXE III : générateur d'optocinétisme Optotest®

ANNEXE IV : visiocasque Oculus Rift® DK2 et matériel associé

ANNEXE V : logiciel Virtualis®

ANNEXE VI : exemples de feuilles d'évaluation de l'équilibre statique sur plate-forme de force en conditions Y.O. puis Y.F.

ANNEXE VII : fiche protocolaire

ANNEXE VIII : représentation graphique des résultats au questionnaire D.H.I.

ANNEXE IX : tableaux de résultats des critères de jugement secondaires

ANNEXE X : tableau de centralisation des données

ANNEXE I : formulaire d'information et de consentement libre et éclairé

Effet d'une rééducation vestibulaire par optocinétisme ou par réalité virtuelle sur la qualité du contrôle postural

Formulaire d'information

Madame, Monsieur,

L'atteinte de l'oreille interne peut-être responsable de troubles de l'équilibre et de chutes.

La fonction d'équilibration fait intervenir des informations visuelles, vestibulaires (oreille interne), la sensibilité des muscles, des articulations, des tendons et de la peau. Toutes 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.

La rééducation vestibulaire en masso-kinésithérapie est souvent recommandée chez des personnes atteintes de troubles vestibulaires afin d'améliorer leurs capacités physiques et leur équilibre.

Nous souhaitons évaluer les effets de deux techniques similaires sur votre équilibre debout. Ces techniques ont pour but de provoquer un conflit sensoriel au niveau du cerveau : donner une illusion de mouvement aux yeux alors que l'entrée podale, c'est-à-dire les pieds, nous donne une sensation de stabilité. Ce conflit sensoriel va alors provoquer une instabilité posturale se traduisant par des oscillations. Cela a pour conséquence une habitude du cerveau à ce genre de conflit sensoriel, et améliore donc votre équilibre. Nous avons deux moyens pour cela, d'une part le générateur d'optocinétisme, d'autre part le masque de réalité virtuelle. Chaque séance dure environ 10 minutes sur plusieurs séances. Un premier bilan est réalisé avant l'étude puis un second à la fin. Celui-ci consiste en une évaluation de votre équilibre statique sur une plate-forme, ainsi qu'un questionnaire à remplir. Cela permettra d'objectiver l'efficacité de chacune de ces deux techniques.

Au cours des séances, une personne sera à vos côtés afin de prévenir tout risque de chute. Des périodes de repos seront également prévues pendant les séances.

Votre participation à l'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 en aucun cas vos séances de rééducation proposées habituellement par les kinésithérapeutes.

Vous n'aurez aucune charge financière à supporter.

Formulaire de consentement éclairé

Je soussigné(e), M, Mme, Melle..... né(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 II : questionnaire Dizziness Handicap Inventory (D.H.I.)

DIZZINESS HANDICAP INVENTORY (Français)

	Oui	Parfois	Non
1P. Est-ce que votre problème s'aggrave quand vous regardez vers le haut?			
2E. Vous sentez-vous frustré(e) par votre problème?			
3F. À cause de votre problème, limitez-vous vos voyages pour votre travail ou vos vacances?			
4P. Est-ce que votre problème s'aggrave quand vous marchez dans l'allée au supermarché?			
5F. À cause de votre problème, avez-vous de la difficulté à vous coucher ou à vous relever du lit?			
6F. Est-ce que votre problème vous oblige à limiter sérieusement votre participation à des activités sociales, comme des sorties au restaurant ou au cinéma, des soirées de danse ou des "partys"?			
7F. À cause de votre problème, avez-vous de la difficulté à lire?			
8P. Est-ce que votre problème s'aggrave quand vous entreprenez des activités relativement ambitieuses comme les sports, la danse, ou des tâches ménagères comme balayer ou ranger la vaisselle?			
9E. À cause de votre problème, avez-vous peur de sortir de chez vous sans être accompagné(e)?			
10E. À cause de votre problème, vous êtes-vous déjà trouvé(e) dans une situation embarrassante en présence d'autres personnes?			
11P. Est-ce que votre problème s'aggrave quand vous bougez rapidement la tête?			
12F. Évitez-vous les hauteurs à cause de votre problème?			
13P. Est-ce que votre problème s'aggrave quand vous vous tournez dans votre lit?			
14F. À cause de votre problème, est-ce que vous trouvez difficile de faire des travaux d'entretien dans la maison ou sur votre terrain?			
15E. À cause de votre problème, avez-vous peur que les gens pensent que vous avez consommé de l'alcool ou de la drogue?			
16F. À cause de votre problème, trouvez-vous difficile d'aller faire une marche seul(e)?			
17P. Est-ce que votre problème s'aggrave quand vous marchez sur le trottoir?			
18E. À cause de votre problème, avez-vous de la difficulté à vous concentrer?			
19F. À cause de votre problème, avez-vous de la difficulté à marcher dans la maison dans l'obscurité?			
20E. À cause de votre problème, avez-vous peur de rester seul(e) à la maison?			
21E. Vous sentez-vous handicapé(e) à cause de votre problème?			
22E. Est-ce que votre problème rend plus difficiles vos relations avec votre famille ou vos amis?			
23E. Êtes-vous déprimé(e) à cause de votre problème?			
24F. Est-ce que votre problème nuit à votre travail ou à vos responsabilités familiales?			
25P. Est-ce que votre problème s'aggrave quand vous vous penchez?			

ANNEXE III : générateur d'optocinétisme Optotest®



Figure 1 : générateur d'optocinétisme en arrêt

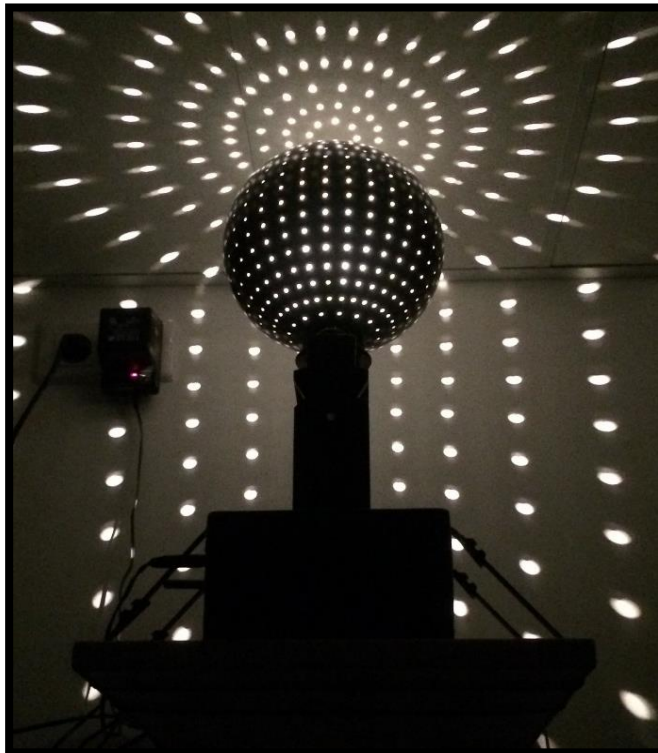


Figure 2 : générateur d'optocinétisme en marche

ANNEXE IV : visiocasque Oculus Rift® DK2 et matériel associé



Figure 3 : visiocasque Oculus Rift® DK2

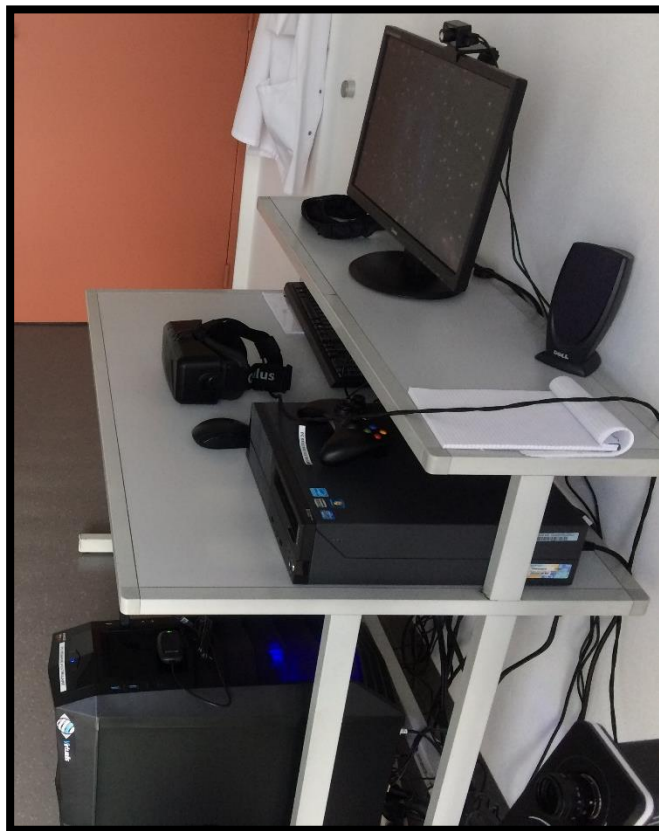


Figure 4 : visiocasque et son ordinateur

ANNEXE V : logiciel Virtualis®

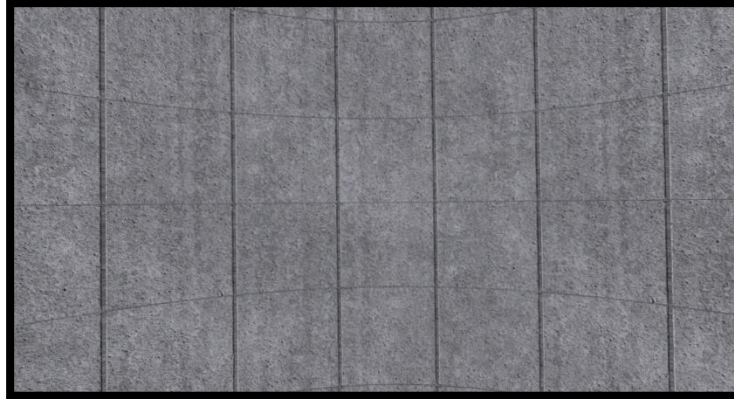


Figure 5 : mode Concrete® (stimulation horizontale)



Figure 6 : mode Tambour® (stimulation horizontale)



Figure 7 : mode OptoTree® (stimulation horizontale)



Figure 5 : mode OptoSpace® (avec la présence de nébuleuses)

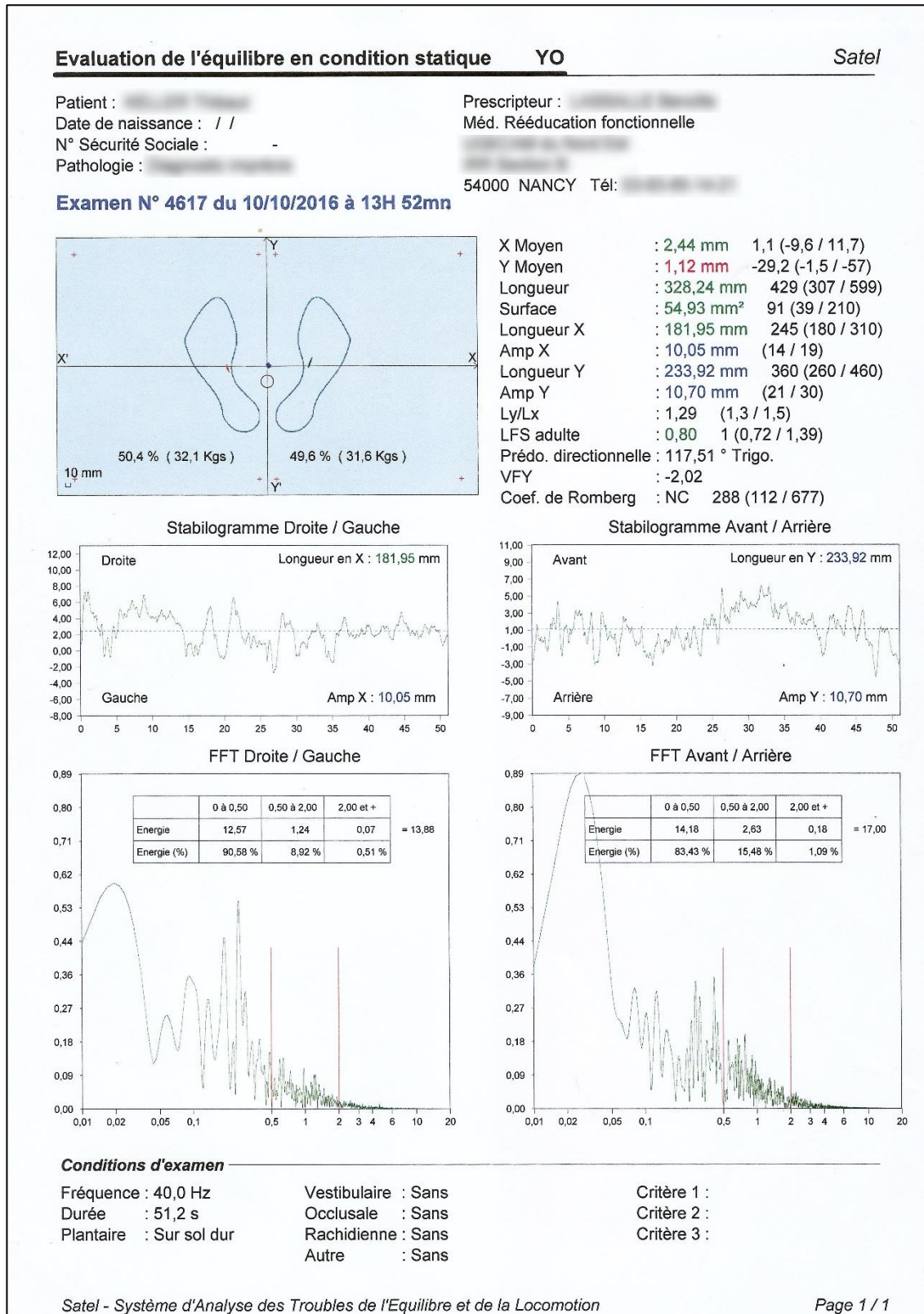


Figure 9 : mode OptoSpace® (sans la présence de nébuleuses)



Figure 10 : écran de gestion des paramètres du mode OptoSpace®

ANNEXE VI : exemples de feuilles d'évaluation de l'équilibre statique sur plate-forme de force en conditions Y.O. puis Y.F.



Evaluation de l'équilibre en condition statique YF

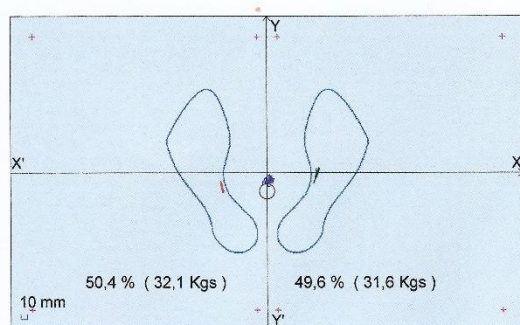
Satel

Patient :
 Date de naissance : / /
 N° Sécurité Sociale : -
 Pathologie :

Prescripteur :
 Méd. Rééducation fonctionnelle

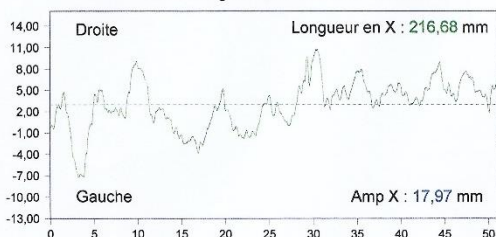
54000 NANCY Tél:

Examen N° 4618 du 10/10/2016 à 13H 54mp

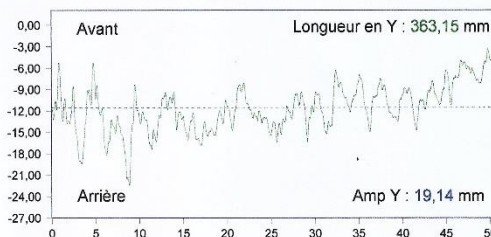


X Moyen : 2,99 mm 0,3 (-10,5 / 11,1)
 Y Moyen : -11,56 mm -27,5 (-3,6 / -51,4)
 Longueur : 465,69 mm 613 (346 / 880)
 Surface : 145,63 mm² 225 (79 / 638)
 Longueur X : 216,68 mm 317 (194 / 440)
 Amp X : 17,97 mm (18 / 29)
 Longueur Y : 363,15 mm 480 (280 / 680)
 Amp Y : 19,14 mm (27 / 45)
 Ly/Lx : 1,68 (1,3 / 1,5)
 LFS adulte : 0,88 1 (0,70 / 1,44)
 Prédo. directionnelle : 42,23 ° Trigo.
 VFY : -3,17
 Coef. de Romberg : 2,65 2,88 (1,12 / 6,77)

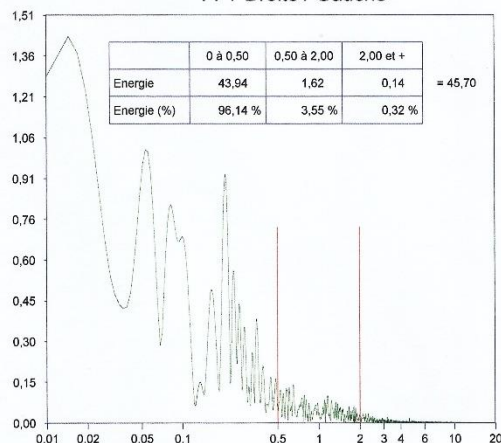
Stabilogramme Droite / Gauche



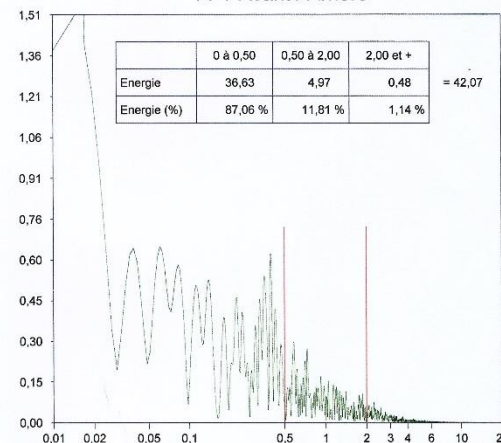
Stabilogramme Avant / Arrière



FFT Droite / Gauche



FFT Avant / Arrière



Conditions d'examen

Fréquence : 40,0 Hz Vestibulaire : Sans
 Durée : 51,2 s Occlusale : Sans
 Plantaire : Sur sol dur Rachidienne : Sans
 Autre : Sans

Critère 1 :
 Critère 2 :
 Critère 3 :

ANNEXE VII : fiche protocolaire

Fiche protocolaire :

Bilan initial :

- Prendre 2 mesures d'équilibre statique sur plate-forme de force (yeux ouverts et yeux fermés) qui serviront d'habituatation au patient. Puis réaliser la même procédure où cette fois les paramètres longueur, surface, LFS, quotient de Romberg seront conservés.
- Ensuite, faire remplir au patient le questionnaire Dizziness Handicap Inventory (D.H.I.).

Séance d'optocinétisme classique/réalité virtuelle :

- L'utilisation de ces techniques s'effectuera suite à une séance de rééducation vestibulaire masso-kinésithérapique classique.

Séance			1	2	3	4	5
Date							
Stimulation	Gauche	Vitesse (°/s)					
		Temps (min)					
		Vection (oui/non)					
	Droite	Vitesse (°/s)					
		Temps (min)					
		Vection (oui/non)					
	Bas	Vitesse (°/s)					
		Temps (min)					
		Vection (oui/non)					
	Haut	Vitesse (°/s)					
		Temps (min)					
		Vection (oui/non)					
Arrêt	Cause						
	E.P. (sur 10)						
E.P. de la séance (sur 10)							

Bilan final :

- Prendre 2 mesures d'équilibre statique sur plate-forme de force (yeux ouverts et yeux fermés) qui serviront d'habituatation au patient. Puis réaliser la même procédure où cette fois les paramètres longueur, surface, LFS, quotient de Romberg seront conservés.
- Ensuite, faire remplir au patient le questionnaire Dizziness Handicap Inventory (D.H.I.).

ANNEXE VIII : représentation graphique des résultats au questionnaire D.H.I.

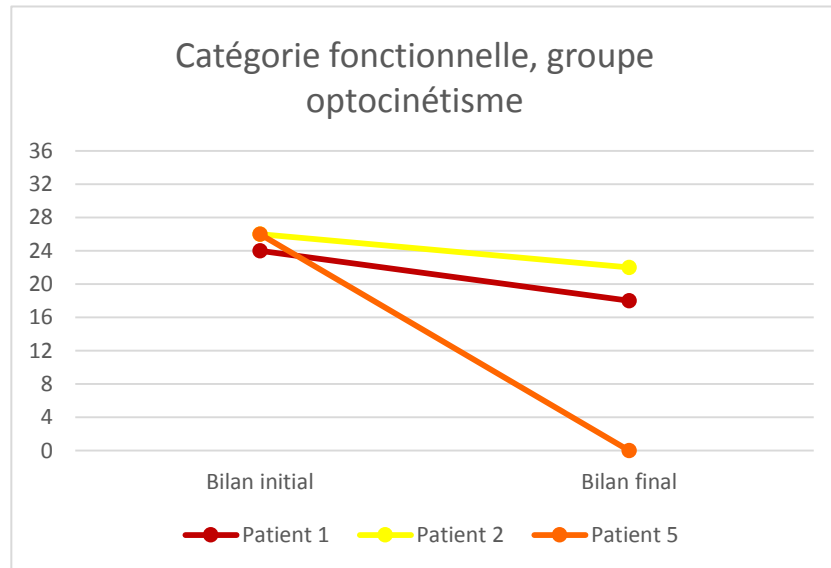


Figure 11 : catégorie fonctionnelle, groupe optocinétisme

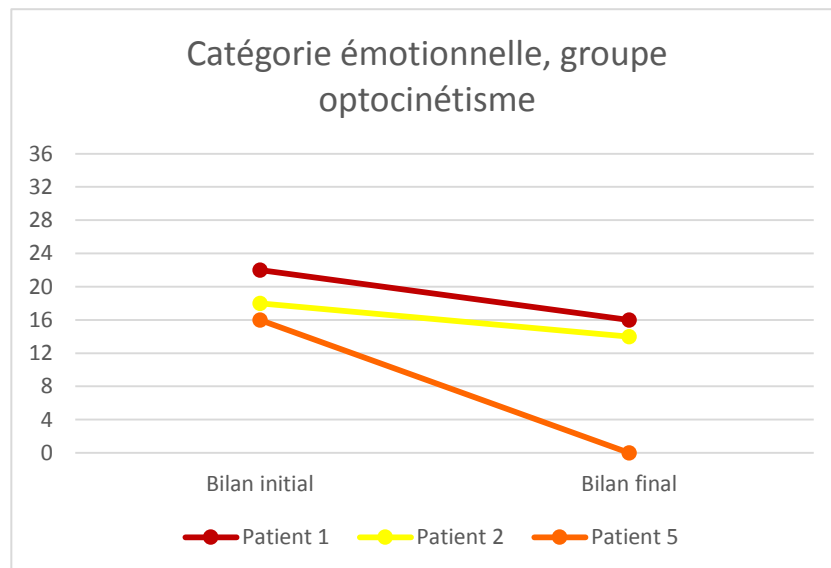


Figure 12 : catégorie émotionnelle, groupe optocinétisme

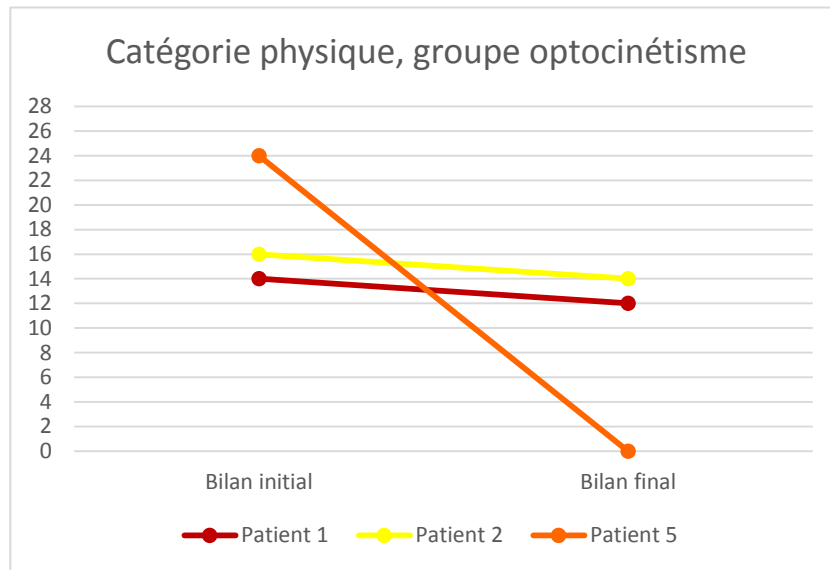


Figure 13 : catégorie physique, groupe optocinétisme

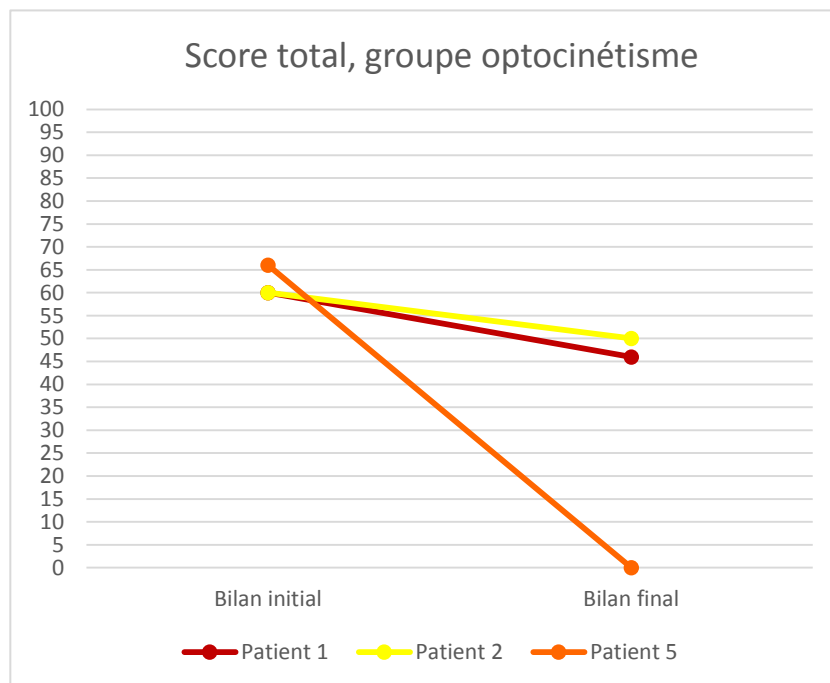


Figure 14 : score total, groupe optocinétisme

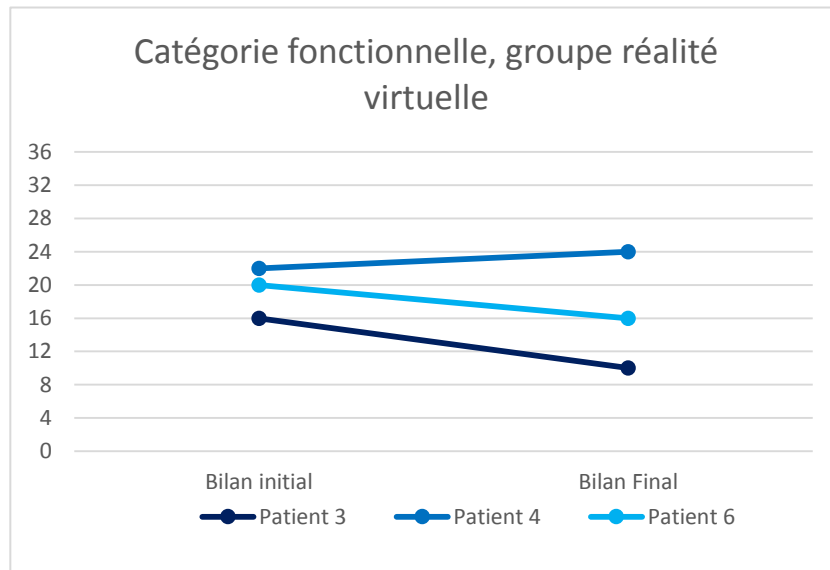


Figure 15 : catégorie fonctionnelle, groupe réalité virtuelle

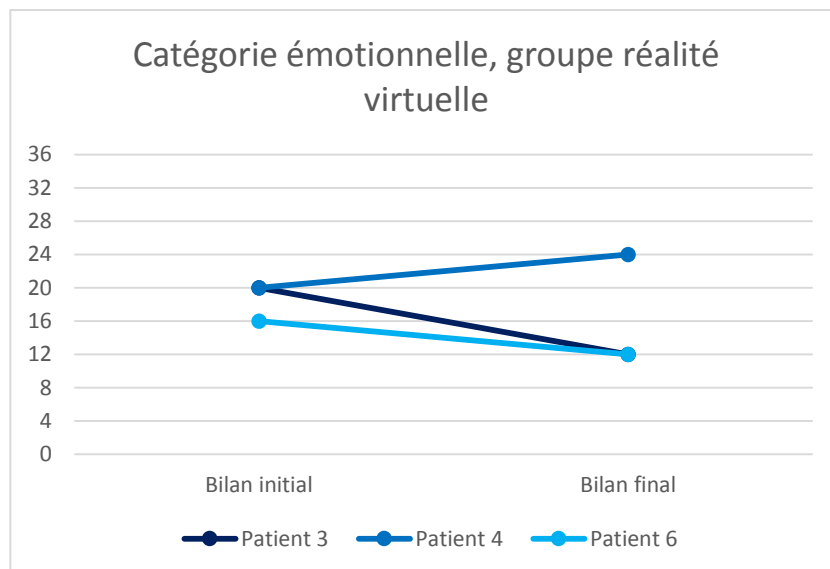


Figure 16 : catégorie émotionnelle, groupe réalité virtuelle

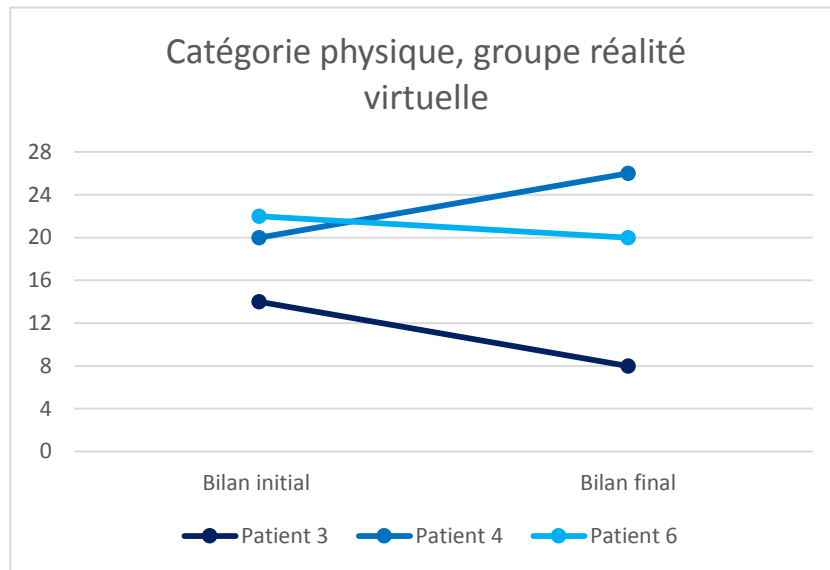


Figure 17 : catégorie physique, groupe réalité virtuelle

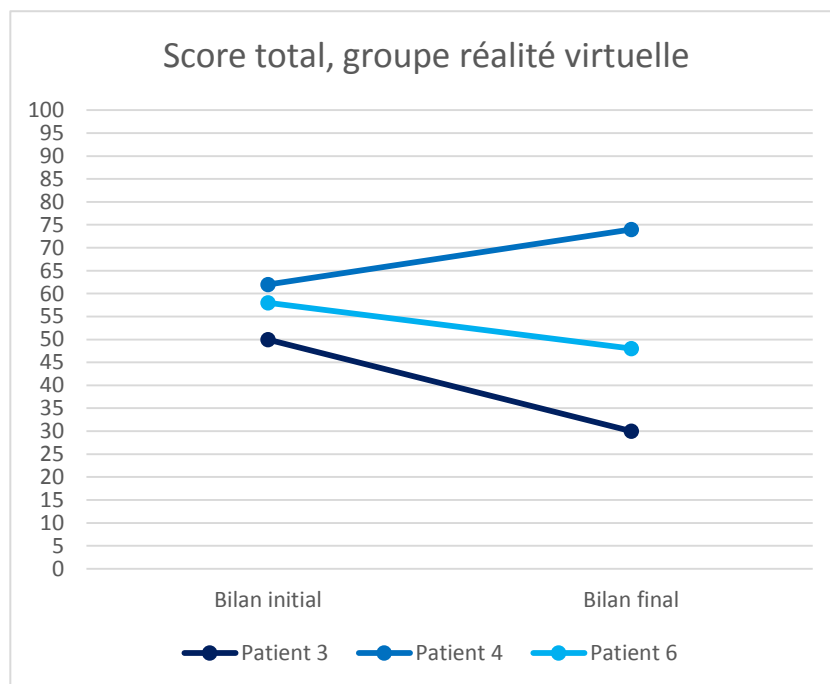


Figure 18 : score total, groupe réalité virtuelle

ANNEXE IX : tableaux de résultats des critères de jugement secondaires

Tableau V : tableau de résultats du phénomène de vection

Relève du phénomène de vection pour le groupe optocinétisme						
Patient	Sens de la stimulation	Séance 1	Séance 2	Séance 3	Séance 4	Séance 5
Patient 1	Gauche	Non	Non	Non	Non	Non
	Droite	Non	Non	Non	Non	Non
	Bas	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
	Haut	Arrêt	Non	Arrêt	Arrêt	Non
Patient 2	Gauche	Non	Oui	Oui	Oui	Oui
	Droite	Non	Non	Non	Non	Non
	Bas	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
	Haut	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Patient 5	Gauche	Non réalisé	Non	Non réalisé	Non réalisé	Non réalisé
	Droite	Non réalisé	Non	Non réalisé	Non réalisé	Non réalisé
	Bas	Non	Oui	Non réalisé	Non réalisé	Non réalisé
	Haut	Oui	Oui	Non réalisé	Non réalisé	Non réalisé
Relève du phénomène de vection pour le groupe réalité virtuelle						
Patient	Sens de la stimulation	Séance 1	Séance 2	Séance 3	Séance 4	Séance 5
Patient 3	Gauche	Non	Non	Non	Non	Non
	Droite	Non	Non	Oui	Non	Non
	Bas	Arrêt	Non	Non	Non	Non
	Haut	Arrêt	Non	Non	Non	Oui
Patient 4	Gauche	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
	Droite	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
	Bas	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
	Haut	Arrêt	Oui	Oui	Oui	Oui
Patient 6	Gauche	Non	Non	Non réalisé	Non	Non
	Droite	Non	Non	Non réalisé	Non	Non
	Bas	Oui	Oui	Non réalisé	Oui	Oui
	Haut	Oui	Oui	Non réalisé	Non	Oui

Oui = présence du phénomène de vection

Non = absence du phénomène de vection

Tableau VI : tableau des résultats de la pénibilité ressentie au cours des séances

Échelle de pénibilité (de 0 à 10) du groupe optocinétisme classique					
Patient	Séance 1	Séance 2	Séance 3	Séance 4	Séance 5
Patient 1	Non réalisé	Non réalisé	Non réalisé	3	1
Patient 2	Non réalisé	Non réalisé	3	2	1
Patient 5	Non réalisé	0	Non réalisé	Non réalisé	Non réalisé
Échelle de pénibilité (de 0 à 10) du groupe réalité virtuelle					
Patient	Séance 1	Séance 2	Séance 3	Séance 4	Séance 5
Patient 3	Non réalisé	Non réalisé	6	6	5
Patient 4	Non réalisé	7	2	2	3
Patient 6	5	2	Non réalisé	0	6

ANNEXE X : tableau de centralisation des données

Tableau VII : tableau de centralisation des données

Patient		1	2	5	3	4	6	
Type de rééducation		Optocinétisme			Réalité virtuelle			
Consentement libre et éclairé écrit		Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	
Sexe		Féminin	Féminin	Féminin	Féminin	Féminin	Féminin	
Âge (année)		59	52	22	49	29	25	
Profession		Auxiliaire de vie en maison de retraite	Infirmière scolaire au lycée	Etudiante en 4ème année de pharmacie	Assistante de site à la prison de Nancy	Infirmière	Etudiante en 6ème année de dentaire	
Activités/loisirs		Aucune	Marche	Aucune	Natation/Pilates/Marche	Marche/Vélo/Bois/Jardinage	Aucune	
Antécédents		Maladie de Forestier	Tuberculose, migraine, HTA, trouble du rythme.	Aucun	Maladie de Lyme, opération ligamentaire du genou	Extraction des dents de sagesse	Aucun	
Traitement en cours		Aucun	Flécaïne, aprovel, betaserc	Aucun	Wystamm, Innovair, traitement de la maladie de Lyme	Prise de fer	Aucun	
Tabagisme actif		Non	Non	Non	Non	Non	Non	
Lunette ou lentilles		Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	
Orthoptie		Oui	Non	Prescription d'un bilan	Oui	Oui	Oui	
Atteinte vestibulaire périphérique unilatéral		Gauche	Droite	Droite	Gauche	Gauche	Gauche	
Gêne visuelle		En voiture	Foule, cinétose	Oscillopsie	Défilement du paysage	Cinétose, foule, supermarché, oscillopsie	Magasin, foule, oscillopsie	
Bilan initial	Date	07/09/2016	07/09/2016	16/09/2016	09/09/2016	13/09/2016	19/09/2016	
	Plate-forme yeux ouverts	Longueur (mm)	1971,22	493,41	363,91	1812,22	342,45	514,4
		Surface (mm²)	3815,41	307,59	331,4	2986,87	209,62	104,2
		LFS	0,24	1,02	0,72	0,42	0,76	1,24
	Plate-forme yeux fermés	Longueur (mm)	2431,09	881,94	578,04	2478,26	474,28	581,95
		Surface (mm²)	4980,78	361,68	612,68	6193,67	205,05	125,13
		LFS	0,09	1,4	0,74	0,04	0,84	1,12
	Quotient de Romberg		1,31	1,18	1,85	2,07	0,98	1,2
	Questionnaire Dizziness Inventory	Fonctionnel (sur 36)	24	26	26	16	22	20
		Emotionnel (sur 36)	22	18	16	20	20	16
	Handicap Inventory	Physique (sur 28)	14	16	24	14	20	22
Total (sur 100)		60	60	66	50	62	58	

Rééducation	Séance 1	Date	07/09/2016	07/09/2016	19/09/2016	09/09/2016	13/09/2016	19/09/2016	
		Temps (minutes)	Gauche	2	2	0	2	2	2
			Droite	2	2	0	1min15s	2	2
			Bas	2	2	3	0	1min48s	2
			Haut	0	2	3	0	0	2
		Vitesse (°/s)	Gauche	10	20	0	10	10	10
			Droite	10	20	0	10	10	10
			Bas	10	20	10	0	10	10
			Haut	0	20	10	0	0	10
		Vection	Gauche	Non	Non	Non réalisé	Non	Oui	Non
			Droite	Non	Non	Non réalisé	Non	Oui	Non
			Bas	Inconstant	Oui	Non	Arrêt	Oui	Oui
			Haut	Arrêt	Oui	Oui	Arrêt	Arrêt	Oui
	Arrêt	Cause	Fatigue	Non réalisé	Non réalisé	Nausée	Vertige	Pas d'arrêt	
		E.P.	Non réalisé	Non réalisé	Non réalisé	Non réalisé	Non réalisé	Pas d'arrêt	
	E.P. générale	Non réalisé	Non réalisé	Non réalisé	Non réalisé	Non réalisé	Non réalisé	5 (sur 10)	
	Séance 2	Date	09/09/2016	14/09/2016	05/10/2016	14/09/2016	20/09/2016	20/09/2016	
		Temps (minutes)	Gauche	2	2	2	2	2	2
			Droite	2	2	2	2	2	2
			Bas	2	2	2	2	2	2
			Haut	2	2	2	30s	2	2
		Vitesse (°/s)	Gauche	10	20	20	10	10	10
			Droite	10	20	20	10	10	15
			Bas	10	20	20	10	10	10
			Haut	10	20	20	10	10	10
Vection		Gauche	Non	Oui	Non	Non	Oui	Non	
		Droite	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	
		Bas	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	
		Haut	Non	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	
Arrêt	Cause	Pas d'arrêt	Pas d'arrêt	Pas d'arrêt	Désagréable	Pas d'arrêt	Pas d'arrêt		
	E.P.	Pas d'arrêt	Pas d'arrêt	Pas d'arrêt	Non réalisé	Pas d'arrêt	Pas d'arrêt		
E.P. Générale	Non réalisé	Non réalisé	0 (sur 10)	Non réalisé	7 (sur 10)	2 (sur 10)			
Séance 3	Date	14/09/2016	28/09/2016	Non réalisé	28/09/2016	23/09/2016	26/09/2016		
	Temps (minutes)	Gauche	2	2	Non réalisé	2	2	Non réalisé	
		Droite	2	2	Non réalisé	2	2	Non réalisé	
		Bas	40s	2	Non réalisé	2	2	Non réalisé	
		Haut	0	2	Non réalisé	1	2	Non réalisé	
	Vitesse (°/s)	Gauche	10	20	Non réalisé	10	10	Non réalisé	
		Droite	10	20	Non réalisé	15	10	Non réalisé	
		Bas	10	20	Non réalisé	15	10	Non réalisé	
		Haut	0	20	Non réalisé	10	10	Non réalisé	
	Vection	Gauche	Non	Oui	Non réalisé	Non	Oui	Non réalisé	
		Droite	Non	Non	Non réalisé	Oui	Oui	Non réalisé	
		Bas	Oui	Oui	Non réalisé	Non	Oui	Non réalisé	
		Haut	Arrêt	Oui	Non réalisé	Non	Oui	Non réalisé	
Arrêt	Cause	Vertige	Pas d'arrêt	Non réalisé	Nausées	Pas d'arrêt	Non réalisé		
	E.P.	Non réalisé	Pas d'arrêt	Non réalisé	8 (sur 10)	Pas d'arrêt	Non réalisé		
E.P. Générale	Non réalisé	3 (sur 10)	Non réalisé	6 (sur 10)	2 (sur 10)	Non réalisé			

Rééducation	Séance 4	Date	15/09/2016	05/10/2016	Non réalisé	03/10/2016	27/09/2016	28/09/2016	
		Temps (minutes)	Gauche	2	2	Non réalisé	2	2	0
			Droite	2	2	Non réalisé	2	2	0
			Bas	1min25s	2	Non réalisé	2	2	6
			Haut	0	2	Non réalisé	2	2	0
		Vitesse (°/s)	Gauche	10	20	Non réalisé	10	10	0
			Droite	10	20	Non réalisé	10	10	0
			Bas	10	20	Non réalisé	10	10	10
			Haut	0	20	Non réalisé	10	10	0
		Vection	Gauche	Non	Oui	Non réalisé	Non	Oui	Non
			Droite	Non	Non	Non réalisé	Non	Oui	Non
			Bas	Inconstant	Oui	Non réalisé	Non	Oui	Oui
			Haut	Arrêt	Oui	Non réalisé	Non	Oui	Non
Arrêt	Cause	Vertige	Pas d'arrêt	Non réalisé	Pas d'arrêt	Pas d'arrêt	Pas d'arrêt		
	E.P.	3 (sur 10)	Pas d'arrêt	Non réalisé	Pas d'arrêt	Pas d'arrêt	Pas d'arrêt		
E.P. Générale		3 (sur 10)	2 (sur 10)	Non réalisé	6 (sur 10)	2 (sur 10)	0 (sur 10)		
Séance 5	Date	23/09/2016	12/10/2016	Non réalisé	12/10/2016	04/10/2016	03/10/2016		
	Temps (minutes)	Gauche	2	2	Non réalisé	2	2	2	
		Droite	2	2	Non réalisé	2	2	2	
		Bas	2	2	Non réalisé	2	2	2	
		Haut	2	2	Non réalisé	2	2	31s	
	Vitesse (°/s)	Gauche	10	20	Non réalisé	10	10	10	
		Droite	10	20	Non réalisé	10	10	10	
		Bas	10	20	Non réalisé	10	10	10	
		Haut	10	20	Non réalisé	10	10	10	
	Vection	Gauche	Non	Oui	Non réalisé	Non	Oui	Non	
		Droite	Non	Non	Non réalisé	Non	Oui	Non	
		Bas	Oui	Oui	Non réalisé	Non	Oui	Oui	
		Haut	Non	Oui	Non réalisé	Oui	Oui	Oui	
Arrêt	Cause	Pas d'arrêt	Pas d'arrêt	Non réalisé	Pas d'arrêt	Pas d'arrêt	Instabilité		
	E.P.	Pas d'arrêt	Pas d'arrêt	Non réalisé	Pas d'arrêt	Pas d'arrêt	8 (sur 10)		
E.P. Générale		1 (sur 10)	1 (sur 10)	Non réalisé	5 (sur 10)	3 (sur 10)	6 (sur 10)		
Bilan final	Date	27/09/2016	19/10/2016	05/10/2016	19/10/2016	06/10/2016	05/10/2016		
	Plate-forme yeux ouverts	Longueur (mm)	2075,77	530,38	359,63	1385,2	419,52	406,6	
		Surface (mm²)	2734,47	139,61	257,48	1637,73	290,2	57,45	
		LFS	0,6	1,27	0,78	0,96	0,91	1,03	
	Plate-forme yeux fermés	Longueur (mm)	2935	802,37	575,1	2252,89	484,86	517,55	
		Surface (mm²)	6596,74	182,54	651,09	4542,74	185,89	88,73	
		LFS	0,03	1,48	0,73	0,12	0,92	1,03	
	Quotient de Romberg		2,41	1,31	2,53	2,77	0,64	1,54	
	Questionnaire Dizziness Handicap Inventory	Fonctionnel (sur 36)		18	22	0	10	24	16
		Emotionnel (sur 36)		16	14	0	12	24	12
Physique (sur 28)			12	14	0	8	26	20	
Total 100 (sur 100)			46	50	0	30	74	48	