

Quel type de feedback sensoriel est le plus approprié pour un exercice d'équilibre chez les personnes âgées ?

Travail de fin d'études en vue de l'obtention du titre de
Master of Science en sciences du sport
Option enseignement

déposé par

Carine Guex

à

l'Université de Fribourg, Suisse
Faculté des sciences et de médecine
Section Médecine
Département des neurosciences et sciences du mouvement

en collaboration avec la
Haute école fédérale de sport de Macolin

Référent
Prof. Jean-Pierre Bresciani

Conseillère
Dr. Amandine Dubois

Matran, août 2019

Table des matières

Résumé.....	3
1 Introduction.....	4
1.1 L'équilibre.....	4
1.2 Tests pour évaluer l'équilibre	6
1.3 Améliorer l'entraînement de l'équilibre avec des feedbacks sensoriels	8
1.4 Les nouvelles technologies	11
1.5 Objectif du travail	12
2 Méthode	13
2.1 Description de l'échantillon (grandeur, sélection, caractéristiques).....	13
2.2 Design de l'étude	13
2.3 L'enregistrement des données.....	16
2.4 Evaluation et analyses statistiques des données.....	17
3 Résultats.....	18
3.1 Résultats du test MMS et du test TUG	18
3.2 Différences entre les exercices.....	18
3.3 Différences entre les quatre feedbacks	24
4 Discussion	32
5 Conclusion	36
Bibliographie.....	37
Annexe	41
Remerciements.....	50

Résumé

Introduction: Ce travail analyse l'effet de différents types de feedbacks sensoriels avec la pratique d'un exercice d'équilibre chez une personne âgée. Cette recherche vise à regarder si des exercices d'équilibre peuvent être améliorés en donnant un de ces feedbacks en temps réel.

Objectif: L'objectif de ce travail est de voir si un feedback visuel et/ou auditif améliore et aide la stabilité posturale d'une personne âgée lors d'un exercice d'équilibre. Si oui, quel feedback est le plus approprié aux personnes âgées?

Méthode: 39 personnes volontaires de plus de 60 ans ont participé à cette étude ($69,8 \pm 7,7$ ans). Tous étaient non à risque de chute. Le risque de chute a été auparavant déterminé à l'aide de deux évaluations. Il s'agit du test *Time up and go* (TUG, *Time up & go*) et du test MMS. Cinq exercices d'équilibre statique dans quatre conditions différentes, donc au total 20 exercices de 20 secondes chacun ont été effectués et enregistrés avec le capteur Kinect Sensor v2 de Microsoft. La procédure statistique a été effectuée avec le programme R Studio. Un test non-paramétrique de Friedman a été effectué pour déterminer la différence à l'intérieur des exercices d'équilibre.

Résultats: Les résultats principaux suggèrent qu'il n'y a aucune différence au niveau du feedback sensoriel mais des différences au niveau de certains exercices. L'analyse montre que quelques exercices ressortent différents des autres notamment l'exercice qui consiste à se tenir debout, les deux pieds normaux en position confortable versus les quatre autres exercices qui sont sur un pied, en pieds tandem, à pieds joints et les deux pieds normaux avec la mousse. L'exercice qui ressort le plus difficile est celui de tenir en équilibre sur un pied suivi de l'exercice des pieds tandem.

Discussion: Les deux observations réalisées durant cette étude sur des exercices d'équilibre statique ont déjà bien été documentées. Les recherches ont prouvé pour une part le bénéfice mais pour d'autres l'apport nul d'un feedback sensoriel, ce qui est le cas ici. Rappelons que cette étude n'examine que les sujets qui ne sont pas à risque de chute. Il est recommandé de poursuivre cette étude avec des patients à risque de chuter.

Conclusion: Les recherches jusqu'à ce jour sont encore bien controversées et il faudra d'autant plus encore d'études dans ce domaine-là pour pouvoir arriver à quelque chose de concluant et de scientifiquement valide.

1 Introduction

Le contrôle de l'équilibre et de son centre de masse est important pour les activités de tous les jours comme marcher ou simplement se tenir debout. Un contrôle postural instable peut être un indicateur de futures chutes (Howcroft, Lemaire, Kofman, & McIlroy, 2017). Pour mon travail, je me suis penchée sur les personnes âgées. De nombreux articles ont déjà réalisé des études sur ces personnes-là et démontrent l'importance du travail de l'équilibre car ces personnes sont sujettes de la perte d'équilibre (Hu & Woollacott, 1994 ; Maki, Holliday, & Topper, 1994). En Suisse, le Bureau de prévention des accidents a établi des chiffres globaux quant au nombre de chutes par année. Il est calculé que 83'000 personnes âgées de 65 ans et plus tombent chaque année (bpa – Swiss Accident Prevention Bureau, 2016). Une détection précoce du risque de chute peut ainsi permettre une mise en place de programmes de prévention adaptés pour réduire d'une part les blessures mais aussi d'autre part les coûts médicaux. Il est donc important de surveiller et travailler son équilibre tout au long de sa vie mais encore plus avec les années.

1.1 L'équilibre

L'équilibre est un terme fondamental dans le sport mais aussi dans la vie de tous les jours. Dès le plus jeune âge, l'être humain doit lutter contre les perturbations de l'équilibre pour se tenir debout et pour ne pas tomber. Lorsqu'une personne se tient debout ou marche, il y a deux façons de perturber son équilibre. Les perturbations du premier type sont induites intérieurement et cela se produit à chaque fois que l'être humain commence un mouvement. Le deuxième type de perturbation corporelle est induit à l'extérieur lorsque, par exemple, un individu est heurté par une autre personne en marchant. Ces deux types de perturbations créent des forces qui rapprochent le centre de gravité du corps des limites de base et mettent en péril la stabilité du corps. Un article scientifique apporte cette thèse (Santos, Kanekar, & Aruin, 2010). Santos et al. (2010) ont mené une étude sur le rôle des ajustements posturaux anticipatifs dans le contrôle compensatoire de la posture. Cette étude se questionne sur comment les ajustements posturaux compensatoires interagissent ensemble pour protéger l'équilibre corporel et comment est-ce que les sujets sont capables de compenser les perturbations externes et internes de l'équilibre. Pour réaliser l'étude, ils ont testé 8 sujets à qui l'on a demandé de rester debout et qui ont été exposés à une perturbation externe prévisible ou imprévisible induite au niveau de l'épaule. Dans le premier cas, les sujets se tenaient les yeux ouverts, dans le second cas les yeux fermés. Les chercheurs ont enregistré l'activité électrique des muscles des

jambes et du tronc et ils l'ont comparé entre les périodes d'anticipation et de compensation du contrôle postural. Quand les sujets étaient debout avec les yeux fermés, ils n'ont enregistré aucune activité d'anticipation mais une activité significativement compensatoire des muscles du tronc et des jambes. Quand les sujets étaient debout avec les yeux ouverts, ils ont enregistré une forte activation anticipée et une compensation nettement plus faible. Mais attention, cela ne veut pas dire que l'utilisation d'ajustements posturaux anticipés exclut complètement la génération d'ajustements compensatoires. Cela montre que dans des conditions prévisibles, l'être humain utilise une activité d'anticipation pour garder son équilibre, alors que dans les conditions imprévisibles, il ne peut pas utiliser d'activités anticipatrices. Les résultats obtenus suggèrent que centrer la réadaptation sur une meilleure utilisation des ajustements posturaux anticipés pourrait être bénéfique pour les personnes atteintes de troubles neurologiques et les personnes âgées qui ont des difficultés à maintenir leur équilibre. Cette étude confirme l'existence d'une relation entre les composantes anticipatoires et compensatoires du contrôle postural et prouve que notre système nerveux central utilise des ajustements posturaux anticipatifs pour éviter une nouvelle déstabilisation de l'équilibre.

Un second article sur l'équilibre a été publié par Witherington et al. (2002). Ils ont effectué une recherche sur les développements des ajustements posturaux anticipés auprès des enfants. Chaque personne apprend à compenser un déséquilibre avant même qu'il ne se passe. Dans cette étude, ils ont démontré que les enfants commencent très tôt à réaliser une adaptation au niveau postural notamment quand il s'agit d'ouvrir un tiroir pour récupérer les jouets. Ils anticipent le déplacement du centre de gravité afin de garder une posture droite. Le but de cette étude était d'observer de quelle manière les enfants développaient une anticipation dans la période située entre 10 et 17 mois. Pour ce fait, Witherington et al. (2002) ont mesuré l'activation des muscles gastrocnémien et biceps brachial pendant cette action de 34 nourrissons entre 10 et 17 mois. Ils ont observé que les sujets commençaient d'abord à activer les muscles des jambes avant d'activer les biceps pour anticiper un déséquilibre du corps. L'étude montre aussi que l'adaptation posturale se développe surtout après 13 mois et devient aussi plus spécifique. Ce phénomène commence très tôt lorsque les enfants arrivent à peine à marcher. Ce processus d'adaptation continue sans cesse et évolue avec les années. Ils ont remarqué aussi que les nourrissons ayant plus d'expérience dans l'ouverture des tiroirs ont appris à recruter une plus grande force de leurs ajustements posturaux anticipatifs pour les tirages plus lourds. Au lieu de cela, ceux qui avaient peu ou pas d'expérience n'ont pas ajusté leur activité posturale anticipative en fonction des différences de conditions de poids. Un élément important relevé dans l'étude est l'expérience de la marche indépendante. La consolidation des ajust-

tements posturaux anticipatifs est probablement assurée par une expérience de marche indépendante. Il est important de relever que les ajustements anticipatifs n'excluent pas les ajustements compensatoires dans le contrôle de la posture.

Pour résumer ces deux exemples d'articles scientifiques, il en ressort que l'équilibre est un élément important dans notre quotidien et est sujet de recherche sous différents aspects. Comme le dit l'article de Witherington et al. (2002) dès le plus jeune âge, les enfants réalisent une adaptation au niveau postural. Chaque jour, nous sommes confrontés à des actions qui nous obligent à maintenir l'équilibre du corps (Santos et al., 2010). Pour mon expérience, je m'intéresse aux personnes âgées étant donné qu'elles sont sujettes à une perte d'équilibre plus marquée. Il est donc important de surveiller et travailler son équilibre tout au long de sa vie mais encore plus avec les années.

1.2 Tests pour évaluer l'équilibre

Il existe différents tests qui permettent une évaluation du contrôle de l'équilibre notamment chez les personnes âgées.

1.2.1 Le Tinetti Test. Un test clinique souvent utilisé pour évaluer l'équilibre des personnes, est le test de Tinetti (Tinetti, 1986). Il s'agit là d'une simple évaluation objective du contrôle de l'équilibre. Le test se fonde sur une évaluation visuelle des exercices à accomplir. Dans ce test de Tinetti, des exercices statiques tels que le pied bipéd (en position confortable sur les deux pieds) ou le pied Romberg (pieds joints, pieds serrés) avec les yeux fermés et ouverts sont effectués. La surface du sol lors du test de Tinetti est toujours dur.

1.2.2 Le test TUG (TUG, *Time up & go*). Le Time up and go Test est un test standard pour l'identification de la mobilité d'un individu (Podsiadlo & Richardson, 1991). Le test TUG est l'une des méthodes les plus connues pour évaluer la mobilité quotidienne et le risque de chute des patients. Je vais expliquer le test TUG en me basant sur un article de la revue "physio-praxis" (Marks, 2016). La manière dont les gens peuvent vivre de manière autonome dans la vie quotidienne peut être déterminée par la mobilité quotidienne. Le test TUG est justement utilisé pour déterminer la mobilité quotidienne. Se lever d'une chaise, marcher une certaine distance et s'asseoir à nouveau est une activité importante de tous les jours. Avec l'aide du test TUG, ce genre d'action pertinente quotidienne peut être évaluée, ce qui apporte un avantage. En 1986, le test Get up & go a été développé (Mathias, Nayak, & Isaacs, 1986), mais celui-ci détermine l'équilibre au moyen d'une échelle ordinale. Le test TUG est un développement

ultérieur du test Get up & go. La procédure du test TUG est que l'expérimentateur demande au patient de se lever d'une chaise standard avec accoudoir et de marcher sur une distance de trois mètres. Au bout de trois mètres, il demande au patient de tourner autour d'un marquage ou mieux encore d'un cône, que le patient encercle, et revient en arrière tout en marchant pour s'asseoir à nouveau sur la chaise. L'objectif du patient est de parcourir la distance de manière sûre et confortable. Les chercheurs n'ont pas expliqué comment se déroule la rotation. Des accessoires tels qu'une canne, un déambulateur sont permis, et des chaussures fermées sont recommandées. Le nombre de secondes dont la personne testée a besoin pour cet exercice est mesuré. Trois catégories sont proposées suivant le temps parcouru (Podsiadlo & Richardson, 1991) :

- Les patients mobiles: Ils nécessitent < 20 secondes et ont donc une vitesse de marche d'au moins 0,5 m/s.
- Les patients à mobilité réduite: Ils ont besoin de 20 à 30 secondes pour faire le test. Afin de déterminer le statut de mobilité, des clarifications supplémentaires sont nécessaires, comme par exemple avec le test BBS (BBS, *Berg Balance Scale*).
- Les patients à mobilité très réduite: Ils ont besoin > 30 secondes pour compléter le test et ont besoin d'aide pour les activités de base.

Ce test me permet de classer mes sujets afin de savoir s'ils sont à risque de chute élevé ou faible.

1.2.3 Le test PPA (*Physiological Profile Assessment*). Afin de pouvoir prédire le risque de chute des sujets à l'avance, le test PPA (PPA, *Physiological Profile Assessment*) peut être réalisé. Ce test évalue le risque de chute en mesurant les déficiences physiologiques. L'évaluation du profil physiologique comprend une série de test simples de vision, de sensation périphérique, de force musculaire, de temps de réaction et de balancement postural. Il comprend également des exercices d'équilibre statique. Un des exercices consiste à rester immobile sur les deux jambes sur un sol dur pendant 30 secondes avec les deux yeux ouverts puis fermés. Le même exercice est également effectué mais cette fois-ci sur un coussin Airex. Ce test fournit des mesures valides et fiables qui peuvent être utilisées pour évaluer le risque de chutes d'une personne (Lord, Menz, & Tiedemann, 2003).

1.2.4 Le test évaluant la peur de chuter. Outre les tests pour évaluer l'équilibre, il y a le côté cognitif de la peur de tomber qui peut entrer en ligne de compte. Le réseau européen

ProFaNE a développé un questionnaire international sur la peur des chutes justement (Dias et al., 2006). La peur d'une chute lors de mouvements simples et complexes de la vie quotidienne ainsi que la dimension sociale du risque de chute sont saisies grâce à ce questionnaire.

1.2.5 Les tests développés en laboratoire. Une étude de 2004 a examiné le contrôle postural chez les personnes âgées. L'objectif était d'identifier le risque de chute chez les sujets. Six tests de stabilité ont été effectués : position confortable sur les deux pieds sur un sol dur avec les yeux ouverts puis fermés. Même position, sur les deux pieds mais cette fois sur coussin Airex avec les yeux ouverts. Les mêmes exercices ont été effectués en position Romberg (pieds joints, pieds serrés). Ces tests en laboratoire ont permis de différencier les personnes âgées qui tombent de celles qui ne tombent pas, ce qui suggère une application clinique possible comme outil d'exploration préalable pour prédire le risque de futures chutes (Melzer, Benjuya, & Kaplanski, 2004).

D'autres tests objectifs et plus précis améliorent l'évaluation des compétences d'équilibre. L'état actuel de la technique permet de tester objectivement et précisément les capacités d'équilibre. Les instruments de mesure possibles sont une plaque de force (Chorin, Cornu, Beaune, Frere, & Rahmani, 2016) et un système de mesure portable (Howcroft, Lemaire, Kofman, & McIlroy, 2018). En clinique, de tels systèmes de mesure ne sont que très rarement utilisés car les coûts d'acquisition et de maintenance du matériel sont élevés et qu'un personnel qualifié est nécessaire pour un déroulement correct des tests. Tous ces différents tests servent à classer les sujets soit à risque élevé ou soit à faible risque de chutes.

1.3 Améliorer l'entraînement de l'équilibre avec des feedbacks sensoriels

Dans ce présent travail, je me suis penchée plus précisément sur le lien qu'il peut y avoir entre différents types de feedbacks avec la pratique d'un exercice d'équilibre chez une personne âgée. A l'aide de cette recherche, je veux observer si ces différents exercices d'équilibre peuvent être améliorés en donnant un feedback visuel et/ou auditif en temps réel. L'importance des informations visuelles ainsi que les différents feedbacks sont déjà bien documentées. Ces études déjà réalisées se concentrent le plus souvent sur le rôle du système visuel et auditif dans le maintien de la stabilité posturale (Palm, Strobel, Achatz, von Luebken, & Friemert, 2009). Dans cet article, la présence ou l'absence d'un feedback visuel sur l'écran d'un ordinateur ainsi que la condition des yeux ouverts ou fermés sont testés. Comme conclusion, la stabilité posturale est plus faible avec les yeux fermés et le contrôle de la balance s'est amélioré de manière significative grâce à un feedback visuel. Une autre étude scientifique s'est pen-

chée sur un entraînement interactif à l'équilibre intégrant rétroaction visuelle du mouvement basée sur un capteur la performance (Schwenk et al., 2014). Le principe est que la personne testée puisse voir avec précision les mouvements de son corps pendant l'exercice. Le but de cette expérience-là était d'évaluer l'efficacité et l'expérience de l'utilisateur d'un programme d'entraînement à l'équilibre chez les personnes âgées intégrant les données de capteurs portables dans une interface homme-machine conçue pour une formation interactive. L'exercice était une extension de la cheville, changement de trajectoire et franchissement d'un obstacle apparaissant à l'écran. L'ordinateur était positionné à la hauteur des yeux. Le but était d'apprendre le transfert du poids et coordonner les articulations. Grâce à un feedback visuel, le sujet pouvait suivre son avancement. S'il exécutait de manière correct l'exercice, il était récompensé en voyant à l'écran l'explosion du cercle et pour le feedback auditif, lors d'une récompense, le son devenait positif. Encore une fois, les feedbacks visuels et auditifs sont utilisés pour l'expérience. Plusieurs autres articles se sont penchés uniquement sur la question de l'influence des stimuli auditifs. Dans un premier article, la stimulation auditive est donnée au moyen d'un casque. La problématique était de savoir quel nature de son influence sur le contrôle de la posture (Tanaka, Kojima, Takeda, Ino, & Ifukube, 2001). Un autres de ces articles sur le son a pour but de déterminer l'influence de la fréquence, du spectre et de l'intensité des sons sur le contrôle de la posture chez les hommes et femmes en santé (Siedlecka, Sobera, Sikora, & Drzewowska, 2015). Ici les sujets étaient de jeunes adultes et différentes sortes de sons étaient testés comme par exemple 3 sons sinusoïdaux avec différents rythmes et 2 sons musicaux de guitare et piano. Comme résultat les sons à haute fréquence contribuaient à une diminution importante des valeurs de la zone de balancement. Au contraire il n'y avait aucune influence significative des sons de basse fréquence sur le contrôle de la posture. L'influence du spectre sonore est limitée. Le spectre crescendo améliore la stabilité du corps en position bipède et non le spectre musical comme la guitare et le piano. L'intensité du son n'est pas la cause du changement du contrôle postural par rapport à l'intensité plus faible. En conclusion de cet article, une position bipède en termes de stabilité, une fréquence sonore élevée améliore le contrôle de la posture, alors que le spectre et l'intensité sonores ont un impact limité. Une façon de remplacer l'équilibre par des informations sensorielles manquantes est d'utiliser la technologie du biofeedback. Un dispositif de biofeedback audio a des effets bénéfiques chez les sujets présentant une perte vestibulaire profonde, puisqu'il réduit considérablement le balancement du corps dans les exercices debout tranquille. Les sujets recevaient l'information bidimensionnelle. Lorsque le sujet se balançait vers l'avant, et par conséquent l'accélération augmentait dans la direction antérieure,

le son devenait plus fort en volume et plus haut en hauteur. Lorsque le sujet basculait vers l'arrière, le son devenait plus fort en volume et plus grave en hauteur. Vers la droite, le son devenait plus fort dans le canal auditif droit et plus bas dans celui de gauche et vice-versa. Le biofeedback audio peut être utilisé pour traiter l'instabilité posturale, il aide le cerveau à passer activement à une activité de contrôle plus basée sur la rétroaction au niveau de la posture debout. Ce dispositif peut trouver des applications intéressantes en clinique mais aussi dans le cadre des soins à domicile (Dozza et al., 2005). Dans un second article, ils concluent que la plus grande amélioration de la capacité des sujets à maintenir l'équilibre a été obtenue dans la condition où l'apport auditif a été fourni (Dozza, Horak, & Chiari, 2007).

Un article scientifique s'est intéressé de comparer l'orientation et la stabilité posturale chez des sujets voyants et des aveugles (Easton, Greene, DiZio, & Lackner, 1998). Easton et al. (1998), ont constaté que le balancement du centre géométrique était réduit au même niveau dans les deux groupes lorsque deux personnes ont fourni des informations auditives pour l'orientation spatiale. Une comparaison de l'effet stabilisateur de la rétroaction visuelle et de l'information auditive a toutefois montré que, alors que la vision atténuait le balancement du corps de 60%, les apports auditifs ne réduisaient le balancement que de 10% et ne jouaient qu'un rôle mineur dans la stabilité posturale. Un article scientifique récent sur la question du son et de la posture met en avant les différentes recherches faites auparavant sur ce sujet afin de mieux comprendre comment le son est intégré dans le contrôle posturale (Gandemer, Parseihian, Bourdin, & Kronland-Martinet, 2014). De nombreuses études, menées dans des contextes différents, tendent à montrer que le son peut influencer la posture, et plus précisément que l'information auditive peut être intégrée par les sujets pour diminuer leur balancement postural (Ross & Balasubramaniam, 2015 ; Rumalla, Karim, & Hullar, 2015 ; Zhong & Yost, 2013 ; Gago et al., 2015).

La perte auditive chez les personnes âgées et son association avec un risque accru de chute revient dans de nombreux articles (Viljanen et al., 2009 ; Lin & Ferruci, 2012). Selon certains auteurs, cette association pourrait s'expliquer par une perte globale de la fonction vestibulaire liée à l'âge, dans laquelle la perte auditive est simplement un marqueur des pertes vestibulaires entraînant un déséquilibre. Cependant, une étude récente a comparé le balancement postural des utilisateurs de prothèses auditives, dans des conditions aidées ou non (Rumalla et al., 2015). La performance posturale des sujets était significativement meilleure avec l'aide, ce qui prouve les avantages d'avoir une entrée auditive entièrement disponible. Une étude intéressante aussi a comparé le balancement postural de sujets dans différents environnements auditifs (Kanegaonkar, Amin, & Clarke, 2012). Toutes ces études démontrent que l'absence

d'apport auditif se traduit par une mauvaise maîtrise posturale des sujets. Les êtres humains intègrent le son dans leur processus de contrôle postural, ouvrant la voie à des études sur les interactions entre le son et la posture. Cependant, l'influence du son sur la posture a été à ce jour peu étudiée. Différentes études posent le pour et le contre d'une stimulation sonore, les résultats étant peu contradictoires montre qu'il est nécessaire d'approfondir les recherches dans ce domaine encore.

1.4 Les nouvelles technologies

Avec le développement de la technologie, de nouvelles possibilités s'ouvrent dans la recherche. Ces nouvelles technologies permettent d'avoir des outils faciles à transporter pour être utilisées n'importe où. Une nouvelle découverte est le Kinect Sensor v2 de Microsoft. Cet instrument innovant permet, entre autres, de déterminer des paramètres physiques tels que le centre de gravité, la longueur du pas et la vitesse de marche des patients (Dolatabadi, Taati, & Mihailidis, 2016). Pour mon étude, j'ai travaillé à l'aide de ce capteur bas coût et facile à transporter. Initialement, cet instrument de mesure a été conçu pour les jeux vidéo. Un premier article sur cet appareil s'est concentré sur l'aptitude à mesurer les mouvements de l'ensemble du corps pendant l'exercice (Van Diest et al., 2014). Le but de l'étude était d'évaluer l'utilisation de Kinect pour capturer et analyser les mouvements du corps entier. Les enregistrements Kinect ont été comparés à différents niveaux avec un autre système de mesure déjà bien connu, le système Vicon. A noter que le système Vicon est composé de dix caméras qui enregistrent les positions tridimensionnelles des marqueurs positionnés sur le corps. Cet appareil est utilisé en clinique ou laboratoire car il coûte cher. Les résultats ont montré que Vicon et Kinect capturent tous deux une variance supérieure à 90% de tous les mouvements des segments du corps. La Kinect démontrait avec précision la variance des mouvements du tronc et moins dans les segments de la main et du pied. Les différences entre Vicon et Kinect en ce qui concerne les mesures des résultats d'équilibre montraient de grandes différences notamment lors de paramètres de mouvements plus rapides et/ou du mouvement des extrémités. Ces résultats contribuent au développement de la technologie des capteurs et d'algorithmes de quantification de la capacité d'équilibre pour les jeux d'exercices d'entraînement de l'équilibre à domicile pour les personnes âgées. Les résultats impliquent notamment que Kinect offre la possibilité unique de quantifier la capacité d'équilibre tout en exécutant des exercices complexes dans un environnement d'exercice. Dans un second article scientifique, la fiabilité et la validité de cet appareil a été vérifiée (Clark et al., 2015). Le but de cette étude était d'évaluer la validité et la fiabilité simultanées des données cinématiques enregis-

trées lors de différentes évaluations de l'équilibre statique et dynamique. Les résultats étaient comparables d'un dispositif à l'autre, entre le Kinect Sensor v2 et le 3DMA. D'où la conclusion que le Kinect Sensor v2 a le potentiel d'être utilisé comme un outil fiable et valide pour l'évaluation de certains aspects de la performance d'équilibre. Une troisième étude scientifique a utilisé le capteur Kinect pour caractériser la capacité d'équilibre pendant les exercices de mouvement (Lim, Kim, Jung, Jung, & Chun, 2015). Le mouvement dynamique des sujets a été mesuré à l'aide de deux systèmes de capteurs de profondeur Kinect et d'un système de capture de mouvement tridimensionnel avec huit caméras infrarouges. Les deux systèmes ont donné des résultats similaires pour les changements du centre de masse corporelle ($P > 0,05$) avec un coefficient de corrélation de Pearson élevé de $\gamma > 0,60$. Les résultats montrent que des changements dans le centre de gravité du corps ont été détectés de manière fiable lors d'un entraînement à l'équilibre. Une autre étude scientifique a combiné le capteur Kinect avec le test assis-debout. Cet article prouve que le Kinect Sensor v2 peut-être administrer en milieu clinique et supervisé à domicile. Ce test assis-debout peut s'avérer utile en milieu clinique pour identifier les personnes à risque élevé en vue d'une intervention plus poussée ou d'évaluations régulières à domicile dans l'avenir. (Ejupi et al., 2015). Ces quatre articles confirment qu'il est possible d'utiliser le capteur Kinect Sensor v2 de Microsoft pour quantifier les performances d'équilibre.

1.5 Objectif du travail

Dans cette étude, nous souhaitons savoir s'il y a un feedback plus pertinent chez les sujets âgés afin de présenter cette méthode lors de la réhabilitation. Le but futur étant qu'un médecin ou physiothérapeute à domicile puisse transporter cette caméra à bas coût avec lui et utiliser la méthode de feedback également pour que la personne âgée puisse s'améliorer en équilibre dans les meilleures conditions et le plus efficacement possible.

En jouant sur quatre différentes conditions de feedbacks, je vais essayer de mieux comprendre l'effet de ceux-ci en temps réel lors d'un exercice d'équilibre.

Questions concrètes :

- Est-ce qu'un feedback visuel et/ou auditif améliore et aide la stabilité posturale d'une personne âgée lors d'un exercice d'équilibre? Si oui, quel feedback est le plus approprié aux personnes âgées?

2 Méthode

Ce chapitre décrit les différentes étapes allant de la sélection de l'échantillon à l'évaluation des données. Cette partie comprend la description de l'échantillon, le protocole d'essai, la collecte et l'analyse des données.

2.1 Description de l'échantillon (grandeur, sélection, caractéristiques)

Il y a 39 participants qui étaient inclus dans l'expérience. Le Tableau 1 présente les différentes caractéristiques de ceux-ci.

Tableau 1

Description des sujets par âge, nombre, critères de sélection et d'exclusion

	Féminin	Total	Masculin
	M ± ET [année]	M ± ET [année]	M ± ET [année]
Age	70.1 ± 7.6	69.8 ± 7.7	69.5 ± 7.9
Nombre	18	39	21
Choix	Participants âgés de plus de 60 ans		
Exclusion	Participants souffrants de problèmes orthopédiques Participants qui ont subi un ou plusieurs AVC		

Remarques. Représentation des femmes, des hommes et de tous les sujets. M ± ET = moyenne ± écart-type.

2.2 Design de l'étude

Cette partie du travail décrit les différents tests effectués avec les sujets.

2.2.1 Evaluation de la cognition. L'état cognitif des personnes testées a été évalué sur la base d'un procédé de test pratique. La classification cognitive indique dans quelle mesure la personne âgée est capable d'accomplir l'exercice souhaité (Folstein, Folstein, & McHugh, 1975).

2.2.2 Evaluation des chutes. Au moyen d'un questionnaire écrit, rempli au début du test, cela a permis de déterminer si le participant avait subi une ou plusieurs chutes au cours des trois dernières années.

2.2.3 Evaluation du risque de chute. Dans l'environnement clinique, le test TUG (*Time Up & Go*) est considéré comme l'un des tests de référence le plus importants pour déterminer le

risque de chute. Ce test a été introduit par Podsiadlo et Richardson (Podsiadlo & Richardson, 1991). Il est utilisé dans de nombreux endroits dans les pratiques cliniques et présente une haute précision diagnostique pour les personnes à mobilité réduite (Shumway-Cook, Brauer, & Woollacott, 2000). Dans ce test, on demande au sujet de se lever après le signal de l'expérimentateur d'une chaise avec accoudoirs, puis de marcher 3 mètres jusqu'à un repère au sol, de le contourner de 180 degrés, et de retourner à la chaise et de s'asseoir. Les sujets qui effectuent le test en moins de 13,5 secondes ne courent aucun risque de chute, tandis que les sujets qui ont besoin de 13,5 secondes ou plus courent un risque de chute (Shumway-Cook et al., 2000). Chaque sujet effectue le test TUG une fois.

2.2.4 Evaluation de l'équilibre. L'évaluation de l'équilibre avec le capteur Kinect Sensor v2 comprend cinq exercices d'équilibre statique dans quatre conditions différentes. Le Tableau 2 présente les cinq exercices et les différentes conditions. Chaque exercice est effectué une fois mais dans les quatre conditions (sans feedback, avec un feedback visuel, avec un feedback auditif et avec un feedback visuel et auditif). Au total, chaque participant a effectué vingt exercices. La durée par exercice est de 20 secondes (Melzer et al., 2004). Le participant accomplit les exercices pieds nus. Apparemment, cela n'a pas d'influence significative sur le port de chaussures par le sujet (Wrisley & Whitney, 2004). L'expérimentateur se tient à côté de la personne testée et peut la tenir en cas de perte d'équilibre. Mais assez loin malgré tout, pour n'apporter aucune aide.

Tableau 2

Description des vingt exercices d'équilibre statique

	Position debout	Feedbacks sensoriels
Exercice 1	Sur les deux jambes	Rien
Exercice 2	Sur un pied	Rien
Exercice 3	Les pieds tandem	Rien
Exercice 4	Les pieds joints	Rien

Exercice 5	Sur les deux jambes et mousse	Rien
Exercice 6	Sur les deux jambes	Vision
Exercice 7	Sur un pied	Vision
Exercice 8	Les pieds tandem	Vision
Exercice 9	Les pieds joints	Vision
Exercice 10	Sur les deux jambes et mousse	Vision
Exercice 11	Sur les deux jambes	Auditif
Exercice 12	Sur un pied	Auditif
Exercice 13	Les pieds tandem	Auditif
Exercice 14	Les pieds joints	Auditif
Exercice 15	Sur les deux jambes et mousse	Auditif
Exercice 16	Sur les deux jambes	Vision et auditif
Exercice 17	Sur un pied	Vision et auditif
Exercice 18	Les pieds tandem	Vision et auditif
Exercice 19	Les pieds joints	Vision et auditif
Exercice 20	Sur les deux jambes et mousse	Vision et auditif

Remarques. Les exercices sont expliqués en fonction de la position debout et du feedback sensoriel.

2.3 L'enregistrement des données

Ce chapitre décrit les différents tests qui ont été soumis aux sujets.

2.3.1 Évaluation des chutes – le questionnaire. Le questionnaire était composé de 17 questions. Ces questions portaient sur d'éventuels problèmes d'audition et de vision, si le sujet portait des lunettes au quotidien ou non ou s'ils les portaient que lors d'éventuelles situations comme la lecture, pour conduire, etc. Il était important de relever si le sujet avait besoin de ses lunettes durant l'expérience ou non. Il était aussi demandé dans ce questionnaire si le sujet avait subi une opération de tous types au cours des deux dernières années (entre 2018-2019). Il était intéressant de savoir également si le sujet portait une prothèse de hanche ou non et s'il avait subi une ou plusieurs chutes au domicile au cours des trois dernières années (2017-2019). Ce questionnaire a été rempli au début de la séance de tests.

2.3.2 Évaluation de la cognition - Mini Mental State. L'état cognitif de la personne testée a été évalué sur la base d'une procédure de test pratique. La classification cognitive a été réalisée avec le Mini Mental State Test (MMS) (Folstein et al., 1975). Le test MMS se compose de deux parties. La première partie concerne l'orientation, la mémoire et l'attention du sujet. Dans cette partie, un score maximum de 21 peut être atteint. La deuxième partie teste la capacité à suivre des commandes verbales et écrites, à copier un polygone complexe et à écrire une phrase complète (sujet, verbe, complément). Le score maximum dans cette section est de 9, soit 30 points au total. Pour ce test, le maximum de 30 points signifie que les fonctions cognitives sont non restreintes. Par contre 0 point signifie que là, les fonctions cognitives sont très gravement endommagées. Les fonctions cognitives considérées normales sont valables à partir de 24 points sur 30 (Trivedi, 2017).

2.3.3 Évaluation de l'équilibre - Algorithme. Les vingt exercices d'équilibre ont été effectués à une distance de 1,5 mètre du capteur Kinect. Un algorithme a été utilisé pour analyser les images de fond fournies par le capteur. L'algorithme est basé sur une méthode de soustraction (Dubois, 2017). Pour déterminer la capacité d'équilibre, la silhouette de la personne testée a été extraite de l'image de fond capturée par la caméra. Avec la silhouette correspondante, le centre géométrique du sujet respectif a été calculé. La vitesse transversale du centre géométrique a été calculée à l'aide de l'algorithme.

2.4 Evaluation et analyses statistiques des données

La procédure statistique a été effectuée avec le programme R Studio Version 1.1.456.

La vitesse moyenne, la vitesse médiane et la vitesse maximale du centre géométrique ont été calculées pour chaque exercice. Un test de Friedman non-paramétrique a été effectué pour déterminer les différences entre chaque exercice d'équilibre. Puis des tests Friedman ont été faits pour évaluer les différences obtenues pour chaque feedback sensoriel.

3 Résultats

Ce chapitre présente les résultats et les tests statistiques correspondants. Les résultats sont résumés et présentés sous forme de tableaux, graphiques et textes.

3.1 Résultats du test MMS et du test TUG

Les personnes ayant des fonctions cognitives considérées comme normales obtiennent un résultat supérieur ou égal à 24 sur 30 au test MMS (Trivedi, 2017). Une personne (le sujet n°16) n'a pas rempli ce critère avec 21 points seulement. Pour le test TUG, une personne (le sujet n°15) a dépassé la durée maximale de 13,5 secondes pour exercer l'exercice, ce qui signifie qu'elle a potentiellement un risque de chute. Les résultats des participants obtenus au test MMS et TUG sont présentés au Tableau 3.

Tableau 3

Résumé des résultats du test cognitif (MMS) et du test TUG

	Féminin	Total	Masculin
	M ± ET	M ± ET	M ± ET
Âge [a]	70.1 ± 7.6	69.8 ± 7.7	69.5 ± 7.9
MMS [-]	28.2 ± 2.3	28.1 ± 1.9	28.1 ± 1.5
TUG [s]	10.0 ± 2.3	10.0 ± 1.9	10.0 ± 1.6
Nombre de sujets	18	39	21

Remarques. Les résultats des tests sont séparés et présentés selon le sexe masculin, féminin et ensemble. M ± ET = Moyenne ± écart type. a = année. s = secondes. MMS = Mini Mental State. TUG = Time up & go.

3.2 Différences entre les exercices

Dans un premier temps, j'ai regardé les différences qu'il pouvait y avoir entre les exercices réalisés avec les quatre conditions de feedback. J'ai regardé si les données étaient paramétriques ou non en faisant un test de normalité. Pour les trois fichiers de vitesses (maximale, moyenne et médiane), les tests étaient non-paramétriques en prenant 0.05. J'ai poursuivi avec le test de Friedman et là, la valeur p était plus petite que 0.05 ($< 2,2 \times 10^{-16}$), ce qui voulait dire qu'elle était significative. J'ai continué en faisant les post-hoc non-paramétriques de Friedman pour voir exactement entre quelles conditions il y avait la significativité. Les différences entre les exercices sont présentées sous forme de tableau selon le paramètre choisi, le

Tableau 4 pour les vitesses maximales du centre géométrique, le Tableau 5 pour les vitesses moyennes et le Tableau 7 pour les vitesses médianes. Dans le Tableau 6, les résultats des « vrais » des deux premiers tableaux (vitesses maximales du centre géométrique et vitesses moyennes) sont mis en commun pour voir s'il y a des similitudes dans les différences pour ces deux vitesses-ci. Chaque colonne des tableaux représente un exercice et est comparé avec les 19 autres.

Tableau 4 :

Résumé des post-hoc non-paramétrique de Friedman pour les vitesses maximales du centre géométrique obtenues pour chaque exercice d'équilibre

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
2	x																		
3	x	Faux																	
4	Faux	x	Faux																
5	x	Faux	Faux	x															
6	Faux	x	x	Faux	x														
7	x	Faux	Faux	x	Faux	x													
8	x	Faux	Faux	Faux	Faux	x	Faux												
9	Faux	x	x	Faux	x	Faux	x	x											
10	x	Faux	Faux	Faux	Faux	x	Faux	Faux	x										
11	Faux	x	x	Faux	x	Faux	x	x	Faux	x									
12	x	Faux	Faux	x	Faux	x	Faux	x	x	x	x								
13	x	Faux	Faux	x	Faux	x	Faux	Faux	x	Faux	x	Faux							
14	Faux	x	x	Faux	x	Faux	x	Faux	Faux	x	Faux	x	x						
15	x	Faux	Faux	Faux	Faux	x	Faux	Faux	x	Faux	x	x	Faux	Faux					
16	Faux	x	x	Faux	x	Faux	x	x	Faux	x	Faux	x	x	Faux	x				
17	x	Faux	Faux	x	Faux	x	Faux	Faux	x	Faux	x	Faux	Faux	x	Faux	x			
18	x	Faux	Faux	Faux	Faux	x	Faux	Faux	x	Faux	x	x	Faux	Faux	Faux	x	Faux		
19	Faux	x	x	Faux	x	Faux	x	Faux	Faux	x	Faux	x	x	Faux	Faux	Faux	x	Faux	
20	x	x	Faux	Faux	Faux	x	Faux	Faux	x	Faux	x	x	Faux	Faux	Faux	x	Faux	Faux	Faux

Remarques. X = Vrai, il y a une différence. Faux, il n'y a pas de différence.

Tableau 5 :

Résumé des post-hoc non-paramétrique de Friedman pour les vitesses moyennes obtenues pour chaque exercice d'équilibre

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
2	x																		
3	x	Faux																	
4	x	x	x																
5	x	x	Faux	Faux															
6	Faux	x	x	x	x														
7	x	Faux	Faux	x	x	x													
8	x	Faux	Faux	x	Faux	x	Faux												
9	Faux	x	x	Faux	Faux	Faux	x	x											
10	x	x	Faux	Faux	Faux	Faux	x	x	Faux	Faux									
11	Faux	x	x	x	x	Faux	x	x	x	x									
12	x	Faux	Faux	x	x	x	Faux	Faux	x	x	x								
13	x	Faux	Faux	x	Faux	x	Faux	Faux	x	Faux	x	Faux							
14	x	x	x	Faux	Faux	x	x	x	Faux	Faux	x	x	x						
15	x	x	Faux	Faux	Faux	x	x	Faux	Faux	Faux	x	x	Faux	Faux					
16	Faux	x	x	x	x	Faux	x	x	x	x	Faux	x	x	x	x				
17	x	Faux	Faux	x	x	x	Faux	Faux	x	x	x	Faux	Faux	x	x	x			
18	x	Faux	Faux	Faux	Faux	x	Faux	Faux	x	Faux	x	Faux	Faux	Faux	Faux	x	x		
19	Faux	x	x	Faux	Faux	Faux	x	x	Faux	Faux	x	x	x	Faux	Faux	x	x	x	
20	x	x	Faux	Faux	Faux	x	x	Faux	Faux	Faux	x	x	Faux	Faux	Faux	x	x	Faux	Faux

Remarques. X = Vrai, il y a une différence. Faux, il n'y a pas de différence.

Tableau 6 :

Résumé des post-hoc non-paramétrique de Friedman mis en commun des deux tableaux précédents (vitesses maximales du centre géométrique et vitesses moyennes)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
2	x																		
3	x	Faux																	
4	Faux	x	Faux																
5	x	Faux	Faux	Vrai															
6	Faux	x	x	Faux	x														
7	x	Faux	Faux	x	Faux	x													
8	x	Faux	Faux	Faux	Faux	x	Faux												
9	Faux	x	x	Faux	Vrai	Faux	x	x											
10	x	Faux	Faux	Faux	Faux	x	Faux	Faux	Vrai										
11	Faux	x	x	Faux	x	Faux	x	x	Faux	x									
12	x	Faux	Faux	x	Faux	x	Faux	Vrai	x	x	x								
13	x	Faux	Faux	x	Faux	x	Faux	Faux	x	Faux	x	Faux							
14	Faux	x	x	Faux	Vrai	Faux	x	Faux	Faux	Vrai	Faux	x	x						
15	x	Faux	Faux	Faux	Faux	x	Faux	Faux	Vrai	Faux	x	x	Faux	Faux					
16	Faux	x	x	Faux	x	Faux	x	x	Faux	x	Faux	x	x	Faux	x				
17	x	Faux	Faux	x	Faux	x	Faux	Faux	x	Faux	x	Faux	Faux	x	Faux	x			
18	x	Faux	Faux	Faux	Faux	x	Faux	Faux	x	Faux	x	Vrai	Faux	Faux	Faux	x	Faux		
19	Faux	x	x	Faux	Vrai	Faux	x	Faux	Faux	Vrai	Faux	x	x	Faux	Faux	Faux	x	Faux	
20	x	x	Faux	Faux	Faux	x	Faux	Faux	Vrai	Faux	x	x	Faux	Faux	Faux	x	Faux	Faux	Faux

Remarques. X = Vrai, il y a une différence pour les deux vitesses (maximale et moyenne). La base du tableau est celle des vitesses maximales du centre géométrique, donc la base du Tableau 4. Vrai, il y a une différence mais pas commun entre les deux vitesses, seulement pour les vitesses maximales du centre géométrique, Faux, pareil il n'y a pas de différence pour les vitesses maximales du centre géométrique.

Tableau 7 :

Résumé des post-hoc non-paramétrique de Friedman pour les vitesses médianes obtenues pour chaque exercice d'équilibre

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
2	x																		
3	x	Faux																	
4	x	x	Faux																
5	x	x	Faux	Faux															
6	Faux	x	x	x	x														
7	x	Faux	Faux	x	x	x													
8	x	Faux	Faux	x	Faux	x	Faux												
9	x	x	x	Faux	Faux	x	x	x											
10	x	x	Faux	Faux	Faux	x	x	Faux	Faux										
11	Faux	x	x	x	x	Faux	x	x	x	x									
12	x	Faux	Faux	x	x	x	Faux	Faux	x	x	x								
13	x	Faux	Faux	Faux	Faux	x	Faux	Faux	x	Faux	x	Faux							
14	x	x	x	Faux	Faux	x	x	x	Faux	Faux	x	x	x						
15	x	x	Faux	Faux	Faux	x	x	Faux	Faux	Faux	x	x	Faux	Faux					
16	Faux	x	x	x	x	Faux	x	x	x	x	Faux	x	x	x					
17	x	Faux	Faux	x	x	x	Faux	Faux	x	x	x	Faux	Faux	x	x	x			
18	x	Faux	Faux	Faux	Faux	x	Faux	Faux	Faux	Faux	x	Faux	Faux	Faux	Faux	x	x		
19	x	x	x	Faux	Faux	x	x	x	Faux	Faux	x	x	x	Faux	Faux	x	x	Faux	
20	x	x	Faux	Faux	Faux	x	x	Faux	Faux	Faux	x	x	Faux	Faux	Faux	x	x	Faux	Faux

Remarques. X = Vrai, il y a une différence. Faux, il n'y a pas de différence.

Pour mon expérience, j'ai interprété le Tableau 5 car il présente un plus grand nombre de différences (ce qui est en vert avec une croix). Dans les autres tableaux, il y avait un peu moins de résultats. C'est pour cela que je me suis concentrée sur le Tableau 5 qui pour le rappeler présente les vitesses moyennes obtenues pour chaque exercice. L'exercice 1 est significativement plus petit que les exercices 2-3-4-5-7-8-10-12-13-14-15-17-18-20 par rapport à la moyenne. L'exercice 2 est plus grand que les exercices 4-5-6-9-10-11-14-15-16-19-20. L'exercice 3 est plus grand que 4-6-9-11-14-16-19. L'exercice 4 est plus petit que les exercices 7-8-12-13-17 mais plus grand que les exercices 6-11-16. L'exercice 5 est plus petit que les exercices 7-12-17 mais plus grand que les exercices 6-11-16. L'exercice 6 est plus petit que les exercices 7-8-10-12-13-14-15-17-18-20. L'exercice 7 est plus grand que les exercices 9-10-11-14-15-16-19-20. L'exercice 8 est plus grand que les exercices 9-11-14-16-19. L'exercice 9 est plus petit que les exercices -12-13-17-18 mais plus grand que les exercices 11-16. L'exercice 10 est plus petit que les exercices 12-17 mais plus grand que les exercices 11-16. L'exercice 11 est plus petit que les exercices 12-13-14-15-17-18-19-20. L'exercice 12 est plus grand que les exercices 14-15-16-19-20. L'exercice 13 est plus grand que les exercices 14-16-19. Les exercices 14 et 15 sont plus petits que l'exercice 17 mais plus grand que l'exercice 16. L'exercice 16 est plus petit que les exercices 17-18-19-20. L'exercice 17 est plus grand que les exercices 18-19-20. Finalement, l'exercice 18 est plus petit que l'exercice 19.

Ce qui m'intéressait vraiment c'étaient les exercices 1-2-3-4-5, car pour les autres, ils étaient finalement tous des doublons, y étaient ajoutés un des feedbacks sensoriels. En observant plus précisément les cinq premiers exercices, afin de les différencier, j'ai pu voir que, l'exercice 1 est significativement plus petit que les exercices 2-3-4-5. L'exercice 2 est significativement plus grand que le 4-5 ainsi que l'exercice 3 est significativement plus grand que l'exercice 4. Il en ressort que l'exercice le plus facile était l'exercice 1 où il s'agissait d'être en position confortable sur les deux pieds et les exercices les plus difficiles étaient de tenir stable sur un pied suivi des pieds tandem.

Le Tableau 8 représente les valeurs moyennes en millimètres par secondes [mm/s] par exercice des trois vitesses différentes (maximale, moyenne et médiane). Les valeurs des exercices 1-6-11 et 16 sont pour les trois moyennes très basses par rapport aux autres exercices. Ce qui amène à dire que les participants étaient très stables durant ces exercices et cela veut aussi dire que ces exercices posaient peu de problèmes aux participants. Ils étaient certainement trop faciles. Il s'agissait d'être debout en position confortable avec les différentes conditions de feedback. Au contraire, les exercices 2-7-12 et 17 ont des valeurs les plus hautes par rapport aux autres exercices pour les trois vitesses, ce qui veut dire que les participants ont le plus bougés durant ces exercices-là. Ces exercices étaient les plus difficiles pour les participants. Il s'agissait-là de tenir debout sur un pied avec les différentes conditions de feedback.

Tableau 8 :

Les moyennes de la vitesse maximale, de la vitesse moyenne et de la vitesse médiane par exercice

Exercices	Moyennes vitesse maximale	Moyennes vitesse moyenne	Moyenne vitesse médiane
1	20.98	5.59	4.95
2	54.79	13.74	11.43
3	32.91	9.49	8.45
4	21.89	7.02	6.51
5	29.14	8.37	7.52
6	19.23	5.52	4.91
7	51.85	13.11	10.90
8	34.44	9.78	8.67
9	20.94	6.933	6.41
10	28.33	8.621	7.88
11	20.21	5.57	4.85
12	66.24	14.79	10.94
13	34.27	10.09	8.32
14	22.99	7.17	6.53
15	27.17	8.35	7.62
16	19.18	5.452	4.87
17	53.53	15.58	11.56
18	36.12	11.86	8.39
19	22.30	7.02	6.44
20	26.61	8.4	7.60

Remarques. Les moyennes sont données en [mm/s] =millimètre par seconde.

3.3 Différences entre les quatre feedbacks

Dans un second temps, j'ai regardé si le feedback jouait un rôle spécifique ou non dans le maintien de l'équilibre. Pour cela, j'ai tout d'abord observé l'exercice des deux pieds normaux dans les quatre conditions de feedbacks (aucun, feedback visuel, feedback auditif, feedback visuel et auditif) et regarder la valeur p en faisant le test de normalité. J'ai fait ceci pour les cinq exercices (deux pieds normaux, un pied, pieds tandem, pieds joints et deux pieds normaux et mousse).

Pour tous les cas, il y avait au moins une valeur qui était plus petit que 0.05 donc les valeurs étaient non-paramétrique. Il a fallu faire les tests de Friedman pour voir si la valeur p est <0.05 ou non. Le Tableau 9 présente les résultats de la valeur p pour les vitesses maximales pour les cinq exercices. Dans le Tableau 16, les résultats de la valeur p pour les vitesses moyennes obtenues pour chaque exercice d'équilibre sont décrits et pour terminer le Tableau 23 montre la valeur p pour les vitesses médianes obtenues pour les cinq exercices d'équilibre. La p-value est dans tous les cas >0.05 , ce qui signifie qu'il n'y a pas de différence significative. Les personnes ont réalisé les exercices de la même façon, qu'il y ait un feedback ou non, que le feedback soit visuel ou auditif ou les deux, cela n'a pas ou peu apporté d'aide pour les participants.

Tableau 9

Résumé des statistiques pour les vitesses maximales du centre géométrique obtenues pour chaque exercice d'équilibre

Exercices	Test de normalité	Test-Friedman (p-value)
2 pieds (normaux)	Non paramétrique	0.9306
1 pied	Non paramétrique	0.2598
Pieds tandem	Non paramétrique	0.7128
Pieds joints	Non paramétrique	0.1673
2 pieds normaux et mousse	Non paramétrique	0.3423

J'ai mis, en complément dans le Tableau 10, les moyennes de chaque exercice selon le feedback sensoriel. On peut y voir qu'au niveau des moyennes, il n'y a pas de différences. Il n'y a pas de différences nettes entre les groupes.

Tableau 10 :

Moyennes par feedback pour chaque exercice pour les vitesses maximales du centre géométrique

Exercices	Aucun feedback	Feedback visuel	Feedback auditif	Feedback visuel et auditif
2 pieds (normaux)	20.985	19.234	20.213	19.184
1 pied	54.8	51.85	66.24	53.54
Pieds tandem	32.92	34.45	34.27	36.12
Pieds joints	21.891	20.941	22.992	22.302
2 pieds normaux et mousse	29.144	28.337	27.173	26.611

Remarques. Les moyennes sont données en [mm/s] =millimètre par seconde.

Afin d'illustrer les données et voir à quoi ça ressemble, les Figures 1-5 représentent les box-plots pour les cinq exercices différents. Encore une fois, on peut voir que visuellement, les résultats ne ressortent pas.

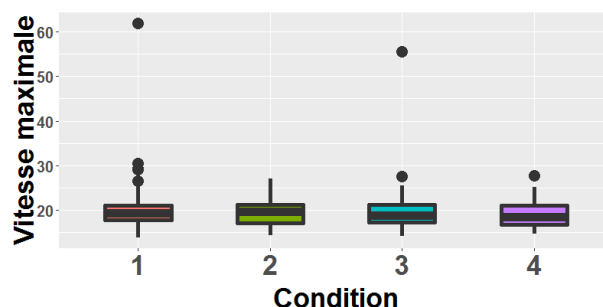


Figure 1. Cette figure représente l'exercice sur les deux pieds, position confortable.

1 = aucun feedback, 2 = feedback visuel, 3 = feedback auditif, 4 = feedback visuel et auditif.

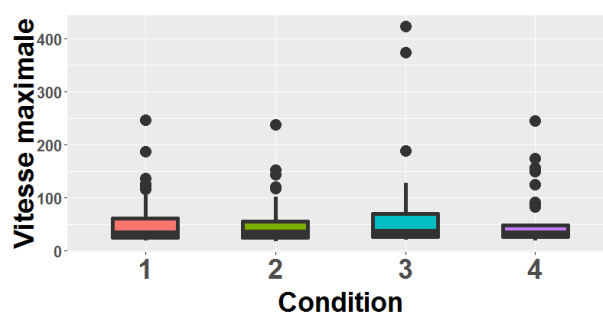


Figure 2. Cette figure représente l'exercice sur un pied.

1 = aucun feedback, 2 = feedback visuel, 3 = feedback auditif, 4 = feedback visuel et auditif.

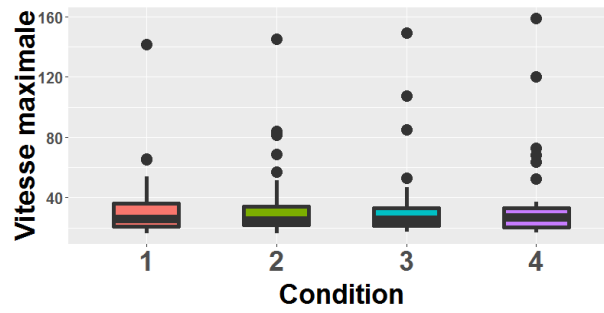


Figure 3. Cette figure représente l'exercice en pieds tandem.

1 = aucun feedback, 2 = feedback visuel, 3 = feedback auditif, 4 = feedback visuel et auditif.

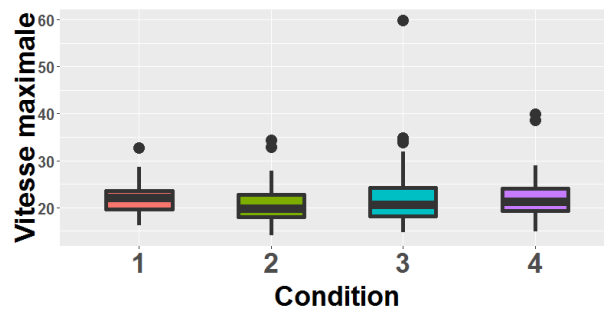


Figure 4. Cette figure représente l'exercice à pieds joints.

1 = aucun feedback, 2 = feedback visuel, 3 = feedback auditif, 4 = feedback visuel et auditif.

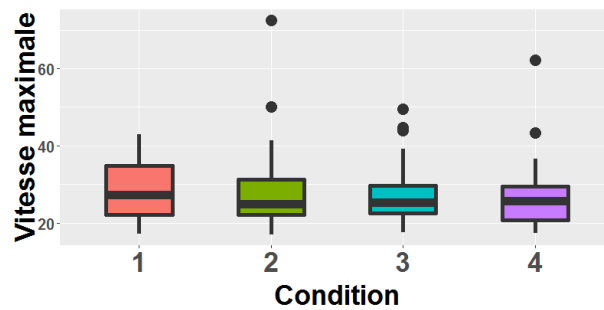


Figure 5. Cette figure représente l'exercice sur les deux pieds normaux et mousse.

1 = aucun feedback, 2 = feedback visuel, 3 = feedback auditif, 4 = feedback visuel et auditif.

Tableau 11 :

Résumé des statistiques pour les vitesses moyennes du centre géométrique obtenues pour chaque exercice d'équilibre

Exercices	Test de normalité	Test-Friedman (p-value)
2 pieds (normaux)	Non paramétrique	0.7892
1 pied	Non paramétrique	0.7674
Pieds tandem	Non paramétrique	0.6754
Pieds joints	Non paramétrique	0.8037
2 pieds normaux et mousse	Non paramétrique	0.7602

J'ai également mis, en complément dans le Tableau 11, les résultats des tests statistiques, cette fois-ci pour le paramètre de la vitesse moyenne du centre géométrique. On peut y voir qu'au niveau des vitesses moyennes, il n'y a pas de différences significatives entre chaque feedback pour aucun des exercices. Le Tableau 12 présente les moyennes par exercices et feedback obtenues pour les vitesses moyennes du centre géométrique.

Tableau 12 :

Moyennes par feedback pour chaque exercice pour les vitesses moyennes du centre géométrique

Exercices	Aucun feedback	Feedback visuel	Feedback auditif	Feedback visuel et auditif
2 pieds (normaux)	5.6	5.568	5.571	5.453
1 pied	15.886	13.501	14.795	15.588
Pieds tandem	9.845	9.864	10.095	11.860
Pieds joints	7.026	6.972	7.174	7.029
2 pieds normaux et mousse	8.366	8.657	8.356	8.4

Remarques. Les moyennes sont données en [mm/s] =millimètre par seconde.

Afin d'illustrer les données et voir à quoi ça ressemble, les Figures 6-10 représentent les box-plots pour les cinq exercices différents avec les vitesses moyennes du centre de géométrique.

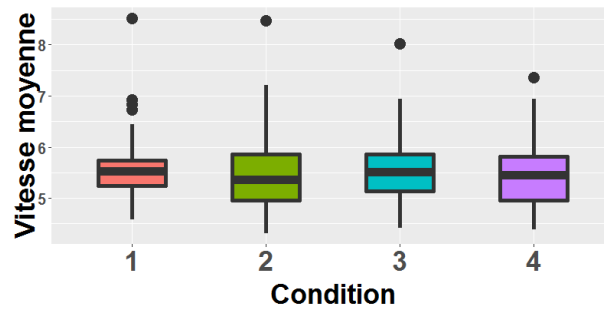


Figure 6. Cette figure représente l'exercice sur les deux pieds, position confortable.
1 = aucun feedback, 2 = feedback visuel, 3 = feedback auditif, 4 = feedback visuel et auditif.

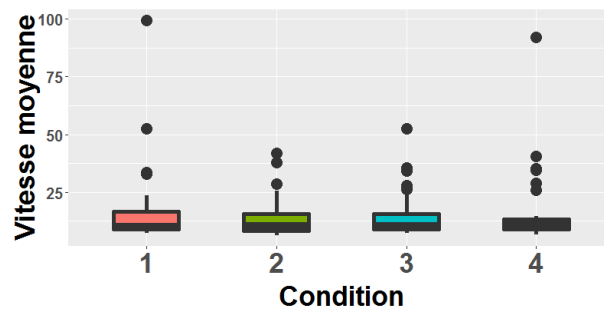


Figure 7. Cette figure représente l'exercice sur un pied.
1 = aucun feedback, 2 = feedback visuel, 3 = feedback auditif, 4 = feedback visuel et auditif.

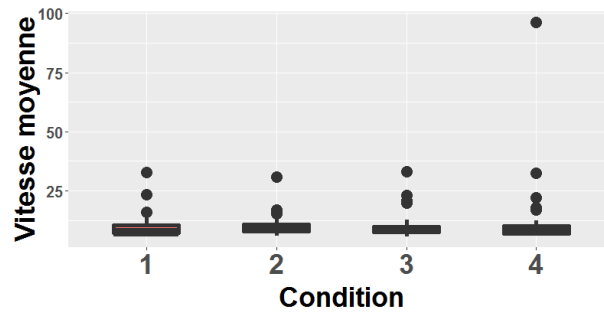


Figure 8. Cette figure représente l'exercice en pieds tandem.
1 = aucun feedback, 2 = feedback visuel, 3 = feedback auditif, 4 = feedback visuel et auditif.

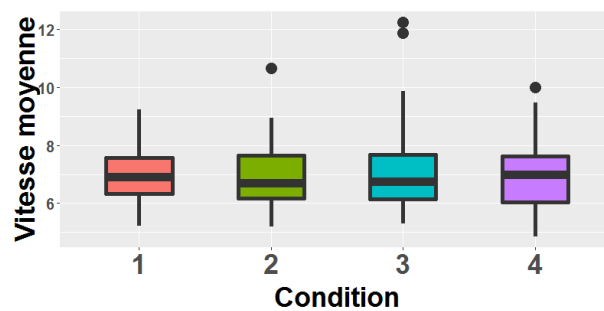


Figure 9. Cette figure représente l'exercice à pieds joints.
1 = aucun feedback, 2 = feedback visuel, 3 = feedback auditif, 4 = feedback visuel et auditif.

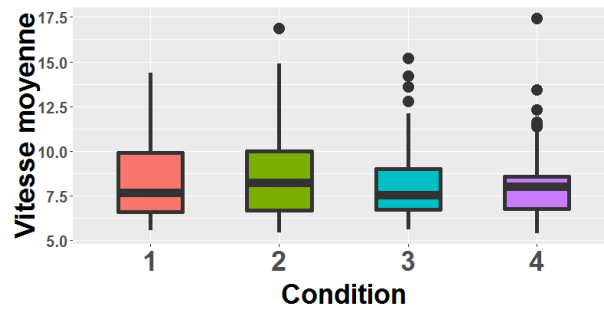


Figure 10. Cette figure représente l'exercice sur les deux pieds normaux et mousse.
1 = aucun feedback, 2 = feedback visuel, 3 = feedback auditif, 4 = feedback visuel et auditif.

Tableau 13 :

Résumé des statistiques pour les vitesses médianes du centre géométrique obtenues pour chaque exercice d'équilibre

Exercices	Test de normalité	Test-Friedman (p-value)
2 pieds (normaux)	Non paramétrique	0.8013
1 pied	Non paramétrique	0.8605
Pieds tandem	Non paramétrique	0.4312
Pieds joints	Non paramétrique	0.9556
2 pieds normaux et mousse	Non paramétrique	0.5756

J'ai également mis, en complément dans le Tableau 13, les résultats des tests statistiques, cette fois-ci pour le paramètre de la vitesse médiane du centre géométrique. On peut y voir qu'au niveau des vitesses médianes, il n'y a pas de différences significatives entre chaque feedback pour aucun des exercices. Le Tableau 14 présente les moyennes par exercices et feedback obtenues pour les vitesses médianes du centre géométrique.

Tableau 14 :

Moyennes par feedback pour chaque exercice pour les vitesses médianes du centre géométrique

Exercices	Aucun feedback	Feedback visuel	Feedback auditif	Feedback visuel et auditif
2 pieds (normaux)	4.954	4.915	4.857	4.877
1 pied	11.434	19.906	10.945	11.562
Pieds tandem	8.451	8.674	8.324	8.393
Pieds joints	6.517	6.412	6.533	6.441
2 pieds normaux et mousse	7.528	7.886	7.629	7.610

Remarques. Les moyennes sont données en [mm/s] =millimètre par seconde.

Afin d'illustrer les données et voir à quoi ça ressemble, les Figures 11-15 représentent les box-plots pour les cinq exercices différents avec les vitesses médianes du centre géométrique.

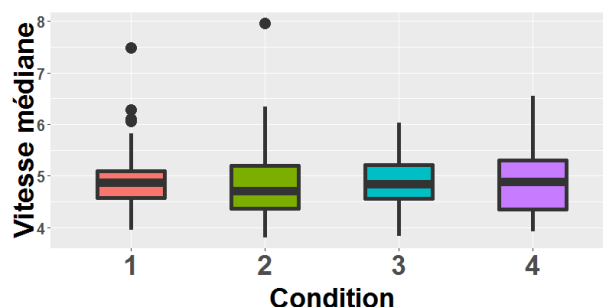


Figure 11. Cette figure représente l'exercice sur les deux pieds, position confortable.

1 = aucun feedback, 2 = feedback visuel, 3 = feedback auditif, 4 = feedback visuel et auditif.

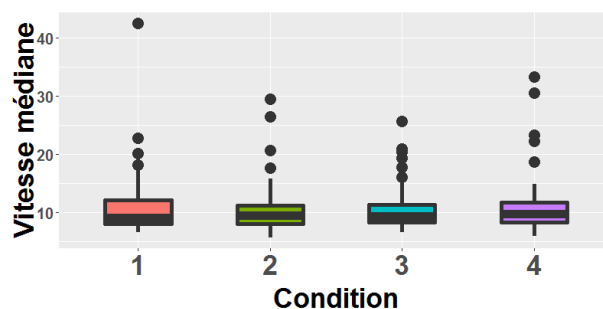


Figure 12. Cette figure représente l'exercice sur un pied.

1 = aucun feedback, 2 = feedback visuel, 3 = feedback auditif, 4 = feedback visuel et auditif.

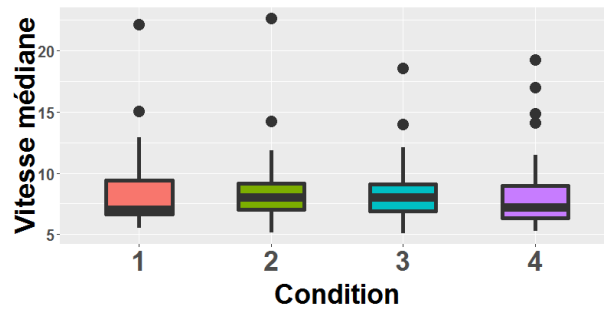


Figure 13. Cette figure représente l'exercice en pieds tandem.

1 = aucun feedback, 2 = feedback visuel, 3 = feedback auditif, 4 = feedback visuel et auditif.

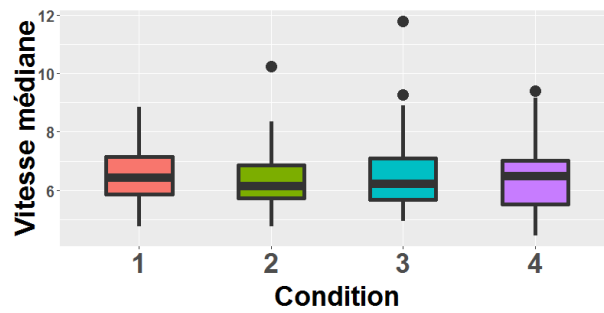


Figure 14. Cette figure représente l'exercice à pieds joints.

1 = aucun feedback, 2 = feedback visuel, 3 = feedback auditif, 4 = feedback visuel et auditif.

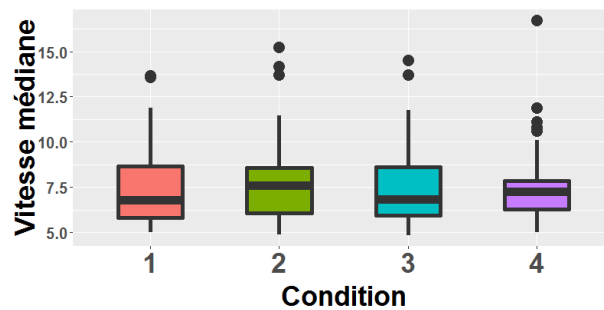


Figure 15. Cette figure représente l'exercice sur les deux pieds normaux et mousse.

1 = aucun feedback, 2 = feedback visuel, 3 = feedback auditif, 4 = feedback visuel et auditif.

4 Discussion

Pour mon étude, je me suis intéressée à voir s'il y avait un feedback sensoriel plus pertinent qui pourrait améliorer et aider la stabilité posturale chez les sujets âgés lors d'un exercice d'équilibre. Et si oui, quel feedback était le plus approprié aux personnes âgées ? Au total, 39 sujets ont participé à l'étude. De ceux-ci, 18 sujets étaient des femmes et 21 des hommes. Au début de la séance, le test cognitif MMS et le test TUG ont été réalisés (Tableau 3). Pour le test cognitif (MMS), la valeur moyenne de tous les sujets était de 28,1 points avec un écart-type de 1,9 point. Un sujet n'a pas obtenu la note requise de 24 points pour ce test cognitif. Néanmoins, sa valeur a été incluse dans l'évaluation des résultats parce que ses résultats de l'expérience n'étaient pas aberrants. Concernant le test TUG, dans la pratique, c'est un test de référence important pour évaluer le risque de chute d'une personne. La validité et la fiabilité de cette évaluation a été scientifiquement prouvée. Tous les sujets de cette expérience ont effectué ce test en début de séance. Une valeur moyenne de 10,0 secondes a été calculée pour le test TUG. L'écart-type était de 3,2 secondes. Un sujet a dépassé la durée maximale de 13,5 secondes, ce qui signifie que cette personne a un risque élevé de faire des chutes. Ses résultats ont également été pris en compte dans l'évaluation finale car il n'y avait à nouveau pas de valeurs aberrantes. Ensuite, les sujets ont été astreints à réaliser 20 exercices d'équilibre statique d'une durée de 20 secondes chacun. Nous avons trouvé des différences entre certains exercices. En effet, quelques exercices ressortaient différents des autres notamment l'exercice qui consistait à se tenir debout, les deux pieds normaux en position confortable versus les quatre autres exercices qui étaient sur un pied, en pieds tandem, à pieds joints et les deux pieds normaux avec la mousse. Aucune différence significative par contre n'a été trouvée pour les différents feedbacks testés.

J'ai tout d'abord regardé s'il y avait une différence entre les exercices effectués. Les exercices qui m'ont surtout intéressés étaient les exercices 1-2-3-4-5, qui consistaient pour l'exercice 1 de tenir en position confortable, debout, les deux pieds normaux, pour l'exercice 2 sur un pied, pour le 3 les pieds tandem, pour l'exercice 4 les pieds joints et pour finir l'exercice 5 en position confortable, les deux pieds normaux sur la mousse. Les exercices 6 à 20 étaient finalement tous des doublons, y étaient ajoutés un des feedbacks sensoriels (soit feedback visuel, feedback auditif ou feedback visuel et auditif). Afin de différencier plus précisément les cinq premiers exercices, j'ai pu voir que l'exercice 1, qui consistait à tenir en équilibre en position normale sur les deux pieds, était significativement plus petit au niveau de la moyenne que les quatre autres exercices. Ce qui amène à dire que les participants étaient très stables au niveau

du centre géométrique lors de cet exercice-là. Cela veut aussi dire que cet exercice posait peu de problèmes aux participants. Il était certainement trop facile par rapport aux autres exercices. Il serait donc judicieux pour une étude future, de ne pas reprendre cet exercice qui n'apporte finalement pas ou peu de résultats intéressants. Il ne faut pas oublier de tenir compte que pour mon expérience, les sujets n'étaient pas à risque de chute de base donc il serait autant judicieux qu'intéressant de voir si pour des personnes à risque de chute, les résultats seraient les mêmes sur les deux jambes, en position confortable ou différents. Au contraire, l'exercice 2 qui consistait lui à tenir en équilibre sur un seul pied avait une moyenne beaucoup plus haute que les quatre autres exercices. Les sujets ont eu du mal à tenir leur centre géométrique le plus stable possible lors de l'exercice sur un pied. C'était le plus difficile pour les participants suivi de l'exercice en pieds tandem. Dans la littérature citée en introduction dans ce travail, l'exercice des pieds bipèdes, donc en position confortable sur les deux jambes, ainsi que les pieds Romberg (pieds joints) sont tous deux des exercices type des différents tests qui évaluent le risque de chute chez les personnes, comme pour le test Tinetti (Tinetti, 1986) et le test PPA (Lord et al., 2003). Concernant les autres types d'exercices, ils ne sont pas cités dans ma littérature d'introduction. Dans la littérature que j'ai cherchée pour créer mon étude, les exercices sont utilisés avec un feedback visuel ou auditif, les résultats de ces articles donnent toujours si oui ou non le feedback a un effet ou non, mais ne précisent pas l'importance de tel ou tel exercice. Etant donné que pour ma part, j'ai trouvé une différence qu'au niveau des exercices, j'ai tenu à chercher quelques nouveaux articles qui observeraient cette différence. Dans mon étude, les personnes ont eu le plus de peine avec l'exercice sur un pied. J'ai trouvé un premier article intéressant sur ce sujet qui disait que les participants, tous âgés, avec un âge moyen de 71 ans, n'arrivaient pas tenir la position sur un pied plus de cinq secondes (Cornillon et al., 2002). Il faut tenir compte que ces personnes-là étaient à risque de chute. Ils ont surtout observé s'il y avait un progrès après dix séances d'activités physiques. Les progrès étaient remarqués surtout pour l'exercice sur un pied. Les chutes étaient donc retardées pour ces personnes-ci. Cela signifie aussi qu'il est efficace de prévenir les chutes chez les sujets encore actifs, grâce à des ateliers collectifs et réguliers. Un second article présente le test d'équilibre sur une jambe (Hurvitz, Richardson, Werner, Ruhl, & Dixon, 2000). L'étude informe si une personne âgée est à risque de chute ou non. Si la personne n'est pas capable de maintenir l'équilibre plus de 20 secondes, cette personne est à risque de chuter. Cet exercice reste compliqué pour la majorité des personnes âgées ce qui limite l'évaluation du contrôle de l'équilibre statique. Ces deux articles me permettent de confirmer l'observation faite sur mon étude, que l'exercice à une jambe est un exercice difficile pour une population

âgée. En opposition à cet exercice sur un pied, les sujets ont eu un très grande facilité pour l'exercice en position normale, sur deux jambes. Comme cité auparavant, l'exercice sur les deux pieds, en position confortable est un exercice type des différents tests d'équilibre. Toute personne tient debout sur ses jambes dès le plus jeune âge. L'équilibre se détériore avec l'âge mais pour mon étude, les participants étaient tous en pleine forme et sans risque de chuter. Aucun participant n'avait besoin d'une aide (déambulateur, canne) pour marcher. De ce fait, l'exercice de tenir debout tout simplement était un exercice quotidien qui ne demandait que peu ou pas d'effort.

J'ai également observé si le feedback jouait un rôle spécifique ou non dans le maintien de l'équilibre. Pour cela, j'ai observé chaque exercice d'équilibre (sur deux pieds, sur un pied, les pieds tandem, les pieds joints et sur les deux pieds avec mousse) dans les quatre conditions de feedbacks, soit sans feedback, soit avec un feedback visuel, soit avec un feedback auditif, soit avec un feedback des deux ensembles, visuel et auditif. Aucune différence significative n'a été trouvée pour les feedbacks. Les personnes ont réalisé les exercices de la même façon, qu'il y ait un feedback ou non, que le feedback soit visuel ou auditif ou les deux, cela n'a pas ou n'a peu apporté d'aide pour les participants. Dans la littérature pourtant citée dans l'introduction de ce travail, j'avais relevé que plusieurs articles démontraient que le contrôle de l'équilibre s'était amélioré de manière significative grâce à un feedback visuel (Palm et al., 2009). Pour cet article, le groupe de personnes testé étaient des jeunes, sains, sans problème particulier avec une moyenne d'âge de 24,5 ans. En effet, dans cet article, il a été démontré que les signaux visuels basés sur un mécanisme de rétroaction améliorent la stabilité posturale car le système visuel fournit au système nerveux central des informations continues sur la position du corps par rapport à l'environnement. Dans ce même article, il est dit qu'en revanche les données auditives n'ont quant à elles pas d'influence sur la stabilité. Ces résultats suggèrent une augmentation de la stabilité posturale avec un degré accru du contrôle visuel, ce qui a été expliqué dans d'autres études comme le résultat des mécanismes de biofeedback (Dozza et al., 2005). Là encore une fois, les sujets testés étaient jeunes, sains et avaient une moyenne d'âge de 23,5 ans, sans problèmes particuliers. En contrepartie, de nombreuses études, menées dans des contextes différents, prouvent le contraire de ce qui est dit dans certains articles et tendent à montrer que le son peut également influencer la posture, et plus précisément que l'information auditive peut être intégrée par les sujets pour diminuer leur balancement postural (Ross & Balasubramaniam, 2015 ; Rumalla et al., 2015 ; Zhong & Yost, 2013 ; Gago et al., 2015). Pour ces articles-là, différents types de sujets ont été testés. Pour deux de ces articles, il s'agissait de groupes de jeunes, sains, entre 18 et 25 ans qui ont parti-

cipé aux études mais par contre pour l'article de Rumalla et al. (2015), les sujets étaient cette-fois ci plus âgés avec une moyenne d'âge de 77 ans mais sans risque de chute. Concernant l'article de Gago et al. (2015), les sujets étaient des patients atteints de la maladie d'Alzheimer et des sujets d'âge compatible en bonne santé. La performance posturale des sujets dans ces différents articles était significativement meilleure avec l'aide, ce qui prouve les avantages d'avoir une entrée auditive entièrement disponible. Nous avons également vu dans un article de Dozza et al. (2007), qu'ils concluent que la plus grande amélioration de la capacité des sujets à maintenir l'équilibre a été obtenue dans la condition où l'apport auditif a été fourni. Les résultats appuyaient l'hypothèse que le système nerveux central intègre et traite l'information des systèmes vestibulaire, somatosensoriel et visuel afin de réguler la stabilité posturale. Le rôle des facteurs d'influence dépend non seulement de l'environnement, mais aussi de la capacité de chacun à traiter l'information. L'influence des signaux auditifs sur l'équilibre a également été décrite par Tanaka et al. (2001), qui eux ont étudié l'influence des stimuli auditifs mobiles sur l'équilibre sur des jeunes, avec un âge moyen de 21,9 ans. Easton et al. (1998), qui ont testé des personnes voyantes et aveugles de moins de 50 ans, ont montré que la vision atténuait le balancement du corps de 60%, les apports auditifs ne réduisaient le balancement que de 10% et ne jouaient qu'un rôle mineur dans la stabilité posturale. Toutes ces études se contredisent et amènent chacune le pour ou le contre d'un feedback auditif. Les êtres humains intègrent le son dans leur processus de contrôle postural, ouvrant la voie à des études sur les interactions entre le son et la posture. Cependant, l'influence du son sur la posture a été à ce jour peu étudiée. Les résultats étant plutôt contradictoires montrent qu'il est nécessaire d'approfondir les recherches dans ce domaine encore. Nous avons pu voir que dans toutes ces études citées auparavant, la catégorie de personne qui a été intégrée à faire ces études étaient des personnes jeunes et sans risque ni problèmes particuliers. Malgré qu'un de mes articles ait des personnes plus âgées, mais sans risque de chute, les résultats restaient inchangés.

On peut donc constater les limites de mon étude. Première faiblesse de mon étude est que seul des sujets qui n'étaient pas à risque de tomber ont été examinés. Les sujets étaient en trop bonne forme pour constater des différences intéressantes dans mes résultats. Dans une étude postérieure, il serait recommandé d'examiner des personnes présentant un risque de chute. De plus, durant les passations, nous n'avons pas exclu le silence absolu durant les exercices enregistrés.

5 Conclusion

Il existe à ce jour, de nombreuses recherches sur le maintien de l'équilibre ainsi que sur les effets que peuvent apporter le son et la vision. Grâce aux nouvelles technologies, le capteur Kinect Sensor V2 de Microsoft a permis de conduire cette étude de façon valide pour quantifier les performances d'équilibre. L'objectif de ce travail était de voir si un feedback visuel et/ou auditif améliorait et aidait la stabilité posturale d'une personne âgée lors d'un exercice d'équilibre. Si oui, quel feedback était le plus approprié aux personnes âgées? A l'aide des procédures et d'analyses statistiques, les résultats principaux ont montré qu'il n'y avait aucune différence au niveau du feedback sensoriel mais qu'il y avait des différences entre certains exercices. En effet, quelques exercices ressortaient différents des autres notamment l'exercice qui consistait à se tenir debout, les deux pieds normaux en position confortable versus les quatre autres exercices qui étaient sur un pied, en pieds tandem, à pieds joints et les deux pieds normaux avec la mousse. L'exercice le plus difficile pour les participants était celui de tenir en équilibre sur un pied suivi des pieds tandem. En ce qui concerne la question de ce travail, on peut dire qu'un feedback sensoriel n'améliore pas de façon flagrante l'équilibre chez les personnes âgées. Les recherches sont encore bien controversées et il faut d'autant plus encore de recherches dans ce domaine-là pour pouvoir arriver à quelque chose de concluant. Des recherches ultérieures sont nécessaires pour compléter les résultats de cette étude. Il serait bien d'examiner des sujets à risque de chute et non pas comme dans mon cas, uniquement des sujets sans risque de chuter. Le seul biais est que ces personnes-là risquent de se tenir à une chaise et la chaise apportera de l'aide. Les résultats seraient donc biaisés. Il est donc difficile d'avoir une bonne population pour faire un résultat scientifiquement valide.

Bibliographie

- Chorin, F., Cornu, C., Beaune, B., Frere, J., & Rahmani, A. (2016). Sit to stand in elderly fallers vs non-fallers: new insights from force platform and electromyography data. *Aging Clinical and Experimental Research*, 28(5), 871–879. <https://doi.org/10.1007/s40520-015-0486-1>.
- Clark, R. A., Pua, Y. H., Oliveira, C. C., Bower, K. J., Thilarajah, S., McGaw, R.,...Mentiplay, B. F. (2015). Reliability and concurrent validity of the Microsoft Xbox One Kinect for assessment of standing balance and postural control. *Gait & Posture*, 42(2), 210-213. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2015.03.005>.
- Cornillon, E., Blanchon, M. A., Ramboatsisetraina, P., Braize, C., Beauchet, O., Dubost, V.,...Gonthier, R. (2002). Impact d'un programme de prévention multidisciplinaire de la chute chez le sujet âgé autonome vivant à domicile, avec analyse avant-après des performances physiques. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique* 45(9), 493-504. [https://doi.org/10.1016/S0168-6054\(02\)00302-1](https://doi.org/10.1016/S0168-6054(02)00302-1).
- Dias, N., Kempen, G. I. J. M., Todd, C. J., Beyer, N., Freiburger, E., Piot-Ziegler, C.,...Hauer, K. (2006). [The German version of the Falls Efficacy Scale-International Version (FES-I)]. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 39(4), 297–300. <https://doi.org/10.1007/s00391-006-0400-8>.
- Dolatabadi, E., Taati, B., & Mihailidis, A. (2016). Concurrent validity of the Microsoft Kinect for Windows v2 for measuring spatiotemporal gait parameters. *Medical Engineering & Physics*, 38(9), 952–958. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2016.06.015>.
- Dozza, M., Chiari, L., Chan, B., Rocchi, L., Horak, F. B., & Cappello, A., (2005). Influence of a portable audio-biofeedback device on structural properties of postural sway. *Journal of neuroengineering and rehabilitation* 13(2). <https://doi.org/10.1186/1743-0003-2-13>.
- Dozza, M., Horak, F.B., & Chiari, L. (2007). Auditory biofeedback substitutes for loss of sensory information in maintaining stance. *Experimental Brain Research*, 178(1), 37-48. <https://doi.org/10.1007/s00221-006-0709-y>.
- Dubois, C. (2017). Measuring frailty and detecting falls for elderly home care using depth camera. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 9(4), 469–481. <https://doi.org/10.3233/AIS-170444>.
- Easton, R., Greene, A. J., DiZio, P., & Lackner, J. R. (1998). Auditory cues for orientation and postural control in sighted and congenitally blind people. *Experimental Brain Research*, 118(4), 541-550. <https://doi.org/10.1007/s002210050310>.

- Ejupi, A., Brodie, M., Gschwind, Y. J., Lord, S. R., Zagler, W. L., & Delbaere, K. (2015). Kinect-Based Five-Times-Sit-to-Stand Test for Clinical and In-Home Assessment of Fall Risk in Older People. *Gerontology*, 62(1), 118–124. <https://doi.org/10.1159/000381804>.
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). “Mini-mental state”. A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*, 12(3), 189–198. [https://doi.org/10.1016/0022-3956\(75\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0022-3956(75)90026-6).
- Gago, M. F., Fernandes, V., Ferreira, J., Yelshyna, D., Silva, H. D., Rodriguez, M. L.,...Sousa, N. (2015). Role of the visual auditory systems in postural stability in alzheimers disease. *Journal of Alzheimer’s Disease*, 46(2), 441-449. <https://doi.org/10.3233/JAD-150131>.
- Gandemer, L., Parseihian, G., Kronland-Martinet, R., & Bourdin, C. (2014). The influence of horizontally rotating sound on standing balance. *Experimental Brain Research*, 232(12), 3813-3820. <https://doi.org/10.1007/s00221-014-4066-y>.
- Howcroft, J., Lemaire, E. D., Kofman, J., & McIlroy, W. E. (2017). Elderly fall risk prediction using static posturography. *PloS One*, 12(2), e0172398. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172398>.
- Howcroft, J., Lemaire, E. D., Kofman, J., & McIlroy, W. E. (2018). Dual-Task Elderly Gait of Prospective Fallers and Non-Fallers: A Wearable-Sensor Based Analysis. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 18(4). <https://doi.org/10.3390/s18041275>.
- Hu, M., & Woollacott, M. H. (1994). Multisensory Training of Standing Balance in Older Adults : I. Postural Stability and One-Leg Stance Balance, *Journal of Gerontology*, 49(2), 52-61. <https://doi.org/10.1093/geronj/49.2.M52>.
- Hurvitz, E. A., Richardson, J. K., Werner, R. A., Ruhl, A. M., & Dixon, M. R. (2000). Unipedal stance testing as an indicator of fall risk among older outpatients. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 81(5), 587-591. [https://doi.org/10.1016/S0003-9993\(00\)90039-X](https://doi.org/10.1016/S0003-9993(00)90039-X).
- Kanegaonkar, R.G., Amin, K., & Clarke, M. (2012). The contribution of hearing to normal balance. *The journal of Laryngology and Otology*, 126(10), 984-988. <https://doi.org/10.1017/S002221511200179X>.
- Lim, D., Kim, C., Jung, H., Jung, D., & Chun, K. J. (2015). Use of the Microsoft Kinect system to characterize balance ability during balance training. *Clinical Interventions in Aging*, 10, 1077–1083. <https://doi.org/10.2147/CIA.S85299>.
- Lin, F. R., & Ferrucci, L. (2012). Hearing loss and falls among older adults in the United States. *Archives of internal medicine*, 172(4), 369-371.

- <https://doi.org/10.1001/archinternmed.2011.728>.
- Lord, Stephen R, Menz, H. B., & Tiedemann, A. (2003). A physiological profile approach to falls risk assessment and prevention. *Physical Therapy*, 83(3), 237–252.
- Maki, B. E., Holliday, P. J., & Topper A. K. (1994). A Prospective Study of Postural Balance and Risk of Falling in An Ambulatory and Independent Elderly Population, *Journal of Gerontology*, 49(2), 72-84. <https://doi.org/10.1093/geronj/49.2.M72>.
- Marks, D. (2016). Aufstehen – Gehen – Umdrehen – Gehen – Hinsetzen – Timed-up-and-go-Test. *Physiopraxis*, 14(07/08), 56–57. <https://doi.org/10.1055/s-0042-108951>.
- Mathias, S., Nayak, U. S., & Isaacs, B. (1986). Balance in elderly patients: the “get-up and go” test. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 67(6), 387–389.
- Melzer, I., Benjuya, N., & Kaplanski, J. (2004). Postural stability in the elderly: a comparison between fallers and non-fallers. *Age and Ageing*, 33(6), 602–607. <https://doi.org/10.1093/ageing/afh218>.
- Palm, H.-G., Strobel, J., Achatz, G., von Luebken, F., & Friemert, B., (2009). The role and interaction of visual and auditory afferents in postural stability. *Gait & Posture*, 30(3), 328-333.
- Podsiadlo, D., & Richardson, S. (1991). The timed “Up & Go”: a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *Journal of the American Geriatrics Society*, 39(2), 142–148.
- Ross, J. M., & Balasubramaniam, R. (2015). Auditory white noise reduces postural fluctuations even in the absence of vision. *Experimental Brain Research*, 233, 2357-2363. <https://doi.org/10.1007/s00221-015-4304-y>.
- Rumalla, K., Karim, A. M., & Hullar, T. E. (2015). The effect of hearing aids on postural stability. *The Laryngoscope*, 125, 720-723. <https://doi.org/10.1002/lary.24974>.
- Santos, M. J., Kanekar, N., & Aruin, A. S., (2010). The role of anticipatory postural adjustments in compensatory control of posture. 1. *Electromyographic analysis. J Electromyogr Kinesiol*, 20(3), 388-397. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2009.06.006>.
- Schwenk, M., Grewal, G. S., Honarvar, B., Schwenk, S., Mohler, J., Khalsa, D. S., & Najafi, B. (2014). Interactive balance training integrating sensor-based visual feedback of movement performance: a pilot study in older adults. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 11(164). <https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-164>.
- Shumway-Cook, A., Brauer, S., & Woollacott, M. (2000). Predicting the probability for falls in community-dwelling older adults using the Timed Up & Go Test. *Physical Therapy*, 80(9), 896–903.

- Siedlecka, B., Sobera, M., Sikora, A., Drzewowska, I. (2015). The influence of sounds on posture control. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 17(3). <https://doi.org/10.5277/ABB-00150-2014-03>.
- Tanaka, T., Kojima, S., Takeda, H., Ino, S., & Ifukube, T. (2001). The influence of moving auditory stimuli on standing balance in healthy young adults and the elderly. *Ergonomics*, 44(15), 1403–1412. <https://doi.org/10.1080/00140130110110601>.
- Tinetti, M. E. (1986). Performance-oriented assessment of mobility problems in elderly patients. *Journal of the American Geriatrics Society*, 34(2), 119–126.
- Trivedi, D. (2017). Cochrane Review Summary: Mini-Mental State Examination (MMSE) for the detection of dementia in clinically unevaluated people aged 65 and over in community and primary care populations. *Primary Health Care Research & Development*, 18(6), 527–528. <https://doi.org/10.1017/S1463423617000202>.
- Van Diest, M., Stegenga, J., Wörtche, H. J., Postema, K., Verkerke, G. J., & Lamothe, C. J. (2014). Suitability of Kinect for measuring whole body movement patterns during exergaming. *The Journal of Biomechanics*, 47(12), 2925-2932. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2014.07.017>.
- Viljanen, A., Kaprio, J., Pyykkö, I., Sorri, M., Pajala, S., Kauppinen, M.,...Rantanen, T. (2009). Hearing as a predictor of falls and postural balance in older female twins. *The Journals of Gerontology Series A : Biological Sciences and Medical Sciences*, 64(2), 312-317. <https://doi.org/10.1093/gerona/gln015>.
- Witherington, D. C., Hofsten, C., Rosander, K., Robinette, A., Woollacott, M. H., & Bertenthal, B. I. (2002). The Development of Anticipatory Postural Adjustments in Infancy. *Infancy*, 3(4), 495–517. https://doi.org/10.1207/S15327078IN0304_05.
- Wrisley, D. M., & Whitney, S. L. (2004). The effect of foot position on the modified clinical test of sensory interaction and balance. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 85(2), 335–338.
- Zhong, X., & Yost, W. A. (2013). Relationship between postural stability and spatial hearing. *Journal of the American Academy of Audiology*, 24(9), 782-788. <https://doi.org/10.3766/jaaa.24.9.3>.

Annexe

Questionnaire pour les participants



Partie réservée à la personne responsable de l' étude

Date :

Heure :

Numéro du Sujet :

1) Nom : _____

2) Prénom : _____

3) Date de naissance : _____

4) Taille : _____

5) Poids : _____

6) Problème auditif, opération (type et date), appareil auditif ?

7) Problème visuel, opération (type et date), correction, lunette durant l'expérience ?

8) Utilisez vous une aide technique habituellement lors de vos déplacements ? oui ☐ non ☐

Si oui : canne ☐ béquille ☐ déambulateur ☐

9) Avez vous eu une opération ces deux dernières années ? oui ☐ non ☐

Si oui, le type et la date :

10) Avez vous une prothèse de hanche ? Non ☐ jambe gauche ☐ jambe droite ☐

11) Avez vous chuté à votre domicile ces trois dernières années ? oui ☐ non ☐

Si vous avez répondu oui à la question 11) continuez le questionnaire sinon vous pouvez vous arrêter :

12) Combien de fois vous êtes vous retrouvé(e) au sol ? _____

13) Date et moment de(s) la chute(s) : _____

14) Lieu de(s) la chute(s) : _____

15) Avez vous été emmené(e) à l'hôpital ? oui ☐ non ☐

16) Avez vous perdu connaissance ? oui ☐ non ☐

17) La chute a-t-elle causé des traumatismes physiques ? oui ☐ non ☐

Si oui, les décrire : _____

Notes :



Formulaire de consentement aux participants pour participer à l'étude observationnelle :

Evaluation des performances d'équilibre à partir d'un capteur ambiant

Madame, Monsieur,

Je soussigné certifie :

- Avoir lu, compris et accepté l'information contenue dans la « Information aux participants de l'étude ».
- Que j'ai pu poser toutes les questions souhaitées et que j'ai reçu des réponses satisfaisantes.
- Etre informé que je peux me retirer à tout moment de l'étude et sans préjudice.
- Etre informé que toutes les données personnelles, résultats obtenus à mon sujet et ma participation à l'étude sont confidentiels et ne seront disponibles qu'aux chercheurs directement impliqués dans cette étude.
- Etre informé que les résultats obtenus lors de l'étude seront publiés de manière anonyme, et sous une forme qui ne peut pas m'identifier, dans une ou plusieurs publications scientifiques. J'y ai donné mon accord.
- Consentir à participer volontairement à l'étude susmentionnée comme sujet.

Sujet de l'étude

Nom et prénom :

Date et signature :

Personne ayant conduit l'entretien de consentement

Je confirme avoir personnellement expliqué au sujet désigné ci-dessus la nature, le but, la durée, les effets et risques prévisibles de l'étude

Nom et prénom :

Date et signature :

Questionnaire sur le niveau d'activité des sept derniers jours

QUESTIONNAIRE D'ACTIVITÉ PHYSIQUE QAPPA

Nous nous intéressons aux différents types d'activités physiques que vous faites dans votre vie quotidienne, même si vous ne vous considérez pas comme une personne active. Les questions concernent les sports, ainsi que les activités physiques que vous faites dans votre maison ou votre jardin, pour vos déplacements, pendant votre temps libre, et au travail.

I.1. ACTIVITES VIGOUREUSES

D'abord, pensez seulement aux activités physiques que vous avez pratiquées au cours des **7 DERNIERS JOURS** de manière **VIGOUREUSE**, c'est-à-dire, une activité physiquement difficile à réaliser et qui entraîne une importante augmentation du rythme cardiaque et respiratoire, comme par exemple, **FAIRE UN JOGGING**.

Cochez les activités que vous avez pratiquées, durant au moins 10 minutes sans arrêt, de manière VIGOUREUSE :

Jogging , Vélo sportif , Tennis intense , Natation intense , Randonnée intense avec dénivelé , Jardinage intense , Gymnastique intense , Activités ménagères intenses (faire les vitres, déplacer des meubles lourds)

Autres (précisez) : _____

Pas d'activité physique vigoureuse sur les 7 derniers jours

Si vous n'avez fait aucune activité de manière vigoureuse, passez à la question I.2

Sur les **7 derniers jours**, si vous avez pratiqué **UNE** ou **PLUSIEURS** de ces activités de manière **VIGOUREUSE**, durant au moins **10 minutes** sans arrêt, indiquez pour chaque jour pendant combien de temps (en minutes) ?

Lundi |____| Mardi |____| Mercredi |____| Jeudi |____| Vendredi |____| Samedi |____| Dimanche
|____|

I.2 ACTIVITES MODÉRÉES

Maintenant, pensez aux activités physiques que vous avez pratiquées au cours des **7 DERNIERS JOURS** de manière **MODEREE**, c'est-à-dire, une activité qui entraîne une légère augmentation du rythme cardiaque et respiratoire, comme par exemple **MARCHER VITE**.

Cochez les activités que vous avez pratiquées, durant au moins 10 minutes sans arrêt, à une intensité MODÉRÉE :

Marche rapide en terrain plat , Vélo modéré , Tennis modéré , Natation modérée , Marche modérée avec dénivelé , Jardinage , Gymnastique douce , Danse , Yoga , Aquagym , Activités ménagères modérées (passer l'aspirateur, la serpillière) ,

Autres (précisez) : _____

Pas d'activité physique modérée sur les 7 derniers jours

Sur les **7 derniers jours**, si vous avez pratiqué **UNE** ou **PLUSIEURS** de ces activités de manière **MODÉRÉE**, durant au moins **10 minutes** sans arrêt, indiquez pour chaque jour pendant combien de temps (en minutes) ?

Lundi |____| Mardi |____| Mercredi |____| Jeudi |____| Vendredi |____| Samedi |____| Dimanche
|____|

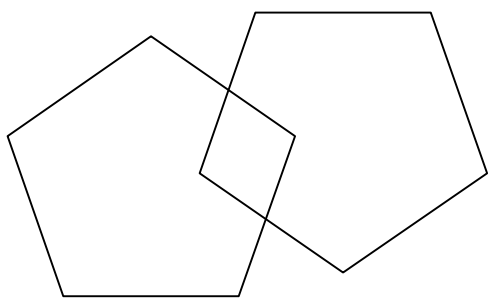
Mini Mental State Test

MINI MENTAL STATE (MMS)

SCORE :

	Obtenu	Maximum
Orientation (1 point par réponse juste) · temps : année saison mois jour date		5
· espace : pays canton ville lieu étage		5
Apprentissage (1 point par mot répété correctement; puis renommer jusqu'à mémorisation) · citron clé ballon · (cigare fleur porte)		3
Attention et calcul (1 point par soustraction exacte) · compter à partir de 100 en retirant 7 à chaque fois (93 ; 86 ; 79 ; 72 ; 65) · (épeler le mot « mardi » à l'envers)		5
Rappel des 3 mots appris (1 point par mot remémoré)		3
Langage et praxies · dénomination : crayon montre (1 point par objet)		2
· répéter : « pas de mais, de si, ni de et » (1 point si la répétition est correcte)		1
· ordre verbal : « prenez le papier dans la main droite, pliez-le en deux et jetez-le par terre » (1 point par partie de consigne exécutée)		3
· ordre écrit : « FERMEZ LES YEUX » (1 point si consigne exécutée)		1
· dessin (1 point si tous les angles présents + intersection de deux côtés différents)		1
· écrire une phrase entière (1 point si au moins un sujet et un verbe)		1
Score total		30

Folstein MF. J Psychiatr Res 1975 ;12 :189-198



FERMEZ LES YEUX !

Contrôle du matériel et introduction au test

Evaluation du matériel

0) Enlevez vos chaussures.

1) Pouvez vous vous mettre devant le capteur pour que nous contrôlions que vos habits soient bien identifiés par le capteur.

2) Nous allons maintenant tester votre vision et votre audition.

Dites top lorsque vous entendez un son.

Dites top lorsque vous voyez un point apparaître.

Remarques :

Evaluation mobilité avec capteur

Vous allez effectuer un test qui consiste à vous asseoir, vous lever, marcher et faire demi tour avant le tapis posé au sol puis revenir vous asseoir. Vous pouvez marcher normalement. Pour vous lever et vous asseoir, si possible ne vous aidez pas des mains. Je vous montre comment faire. Vous allez faire un essai pour voir si vous avez compris puis nous enregistrerons votre essai suivant.

Nom du fichier : S00tug

*1 : Pour le lever : Utilisation des mains ?

*4 : Pour s'asseoir : Utilisation des mains ?

Remarques :

Evaluation équilibre statique avec capteur

Vous allez effectuer différents exercices d'équilibre statique. Les exercices se feront près d'un mur ou une chaise. Vous ne devez pas le toucher mais si vraiment vous ne tenez plus alors vous pourrez vous appuyer et retenter à nouveau l'exercice. Une fois que l'exercice commence **IL NE FAUDRA PLUS PARLER** sinon vous risqueriez de bouger.

Familiarisation sans capteur : Lors de cette phase, il n'y aura pas d'enregistrement de vos performances. Nous allons vous demander de réaliser les exercices suivants durant 5 secondes pour vous familiariser avec ces exercices (se référer au fichier ConsigneExo.pdf pour connaître la consigne à donner) :

- Tandem avec retour auditif
- Sur un pied (*14 mesurer le temps :10 s, 5 et 10s, $\geq 3s$ ou $< 3s$)
- Pieds joints avec retour visuel
- Sur deux jambes avec mousse
- Sur deux jambes les yeux fermés (*6 mesurer le temps :10 s, $\geq 3s$ ou $< 3s$) -
Sur deux jambes avec retour visuel et auditif

Expérimentation avec capteur : Entre chaque exercice, vous pourrez faire une pause si vous le souhaitez. Se référer au fichier OrganisationSeance.pdf pour connaître l'ordre des exercices à demander aux participants.

Nom du fichier : S00statique01- S00statique02 – S00statique03... - S00statique22

Numéros des exercices avec appui sur la chaise :

Appui après 30 secondes :

Remarques :

Questionnaire :

Quelle condition avez vous préférée? Sans rien - Retour visuel - Retour auditif - Retour Visuel+auditif Dans quelle condition pensez vous avoir été meilleur pour garder votre équilibre?

Sans rien - Retour visuel - Retour auditif - Retour Visuel+auditif

Remerciements

Un très grand merci aux référents le prof Jean-Pierre Bresciani et son assistante Dr. Amandine Dubois pour l'aide et le soutien apporter tout au long du travail.