

Détection automatique de facteurs de risques liés à l'équilibre pour la prévention de la fragilité

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

déposé par

Laura Hauser

à

l'Université de Fribourg, Suisse

Faculté des sciences

Département de médecine

en collaboration avec la
Haute école fédérale de sport de Macolin

Référent

Prof. Dr. Jean-Pierre Bresciani

Conseiller / Conseillère

Dr. Amandine Dubois

Fribourg, Mai 2017

Table des matières

Résumé.....	3
1. Introduction.....	4
2. L'équilibre	5
2.1. Définition de l'équilibre	5
2.2. L'équilibre chez les personnes âgées	5
2.3. L'évaluation de l'équilibre	6
3. Le système Kinect.....	12
4. Buts et questions de recherche.....	14
5. Méthode	15
5.1. Sujets	15
5.2. Protocole.....	15
5.3. Mesures	17
5.4. Analyses statistiques.....	18
6. Résultats.....	20
6.1. TUG.....	20
6.2. Marche.....	22
6.3. Équilibre statique.....	22
7. Discussion.....	27
7.1. TUG.....	27
7.2. Marche.....	28
7.3. Équilibre statique.....	29
7.4. Général	31
8. Conclusion	33
Bibliographie.....	34
Annexes.....	38
Annexe 1 Questionnaire d'activité physique QAPPA.....	38
Annexe 2 Questionnaire sur les chutes	39
Annexe 3 Résultats du test TUG.....	41
Annexe 4 Résultats du test de marche	41
Annexe 5 Résultats du test d'équilibre statique.....	42
Annexe 6 Critères d'évaluation "Berg Balance Scale"	46
Déclaration personnelle.....	47

Résumé

Le vieillissement de la population est une évidence. Les personnes âgées sont de plus en plus nombreuses tout comme le nombre de personnes devant être placées en maison de retraite, ne pouvant plus vivre indépendamment. Cette situation devient problématique, les infrastructures nécessaires étant insuffisantes. Une des causes principales de ces admissions en maison de retraite, sont les chutes. D'où l'importance d'investir dans la prévention de la fragilité et des chutes chez les personnes âgées, afin de permettre à ces personnes de vivre le plus longtemps possible chez elles. Une détection précoce d'un risque de chute chez les personnes âgées donnerait l'opportunité d'intervenir avant qu'une chute ne se produise et de l'éviter en proposant un programme d'entraînement ou des aides techniques pour améliorer leurs déplacements et diminuer leur risque de chute.

Des tests cliniques sont déjà utilisés pour l'évaluation du risque de chute des personnes âgées. Cependant ces tests sont subjectifs. Le développement de nouvelles technologies - tel que le capteur Kinect de Microsoft - peu coûteuses et faciles d'utilisation proposent de nouvelles solutions permettant de pallier ce manque d'objectivité et d'être plus précis dans l'évaluation des personnes âgées.

Ce travail a pour but de prouver l'efficacité de la Kinect dans la détection de l'inactivité chez les personnes âgées et ce, au travers de la marche et de l'équilibre, l'inactivité étant un critère de fragilité pouvant mener à une chute. Pour ce faire, nous avons analysé et comparé la marche et l'équilibre de 45 sujets jeunes divisés en trois groupes (selon leur niveau d'activité physique) et de 45 sujets âgés également divisés en trois groupes.

Les résultats obtenus nous permettent d'affirmer que la Kinect est un moyen suffisant pour la détection de l'inactivité chez les personnes âgées. Nous avons également découvert que l'équilibre est un meilleur indicateur d'inactivité que la marche.

1. Introduction

Selon les dernières données récoltées par les Nations unies (2015), l'espérance de vie ne cesse d'augmenter partout dans le monde. La population devient de plus en plus âgée, et c'est la raison pour laquelle il est dans notre intérêt d'investir dans la prévention de la fragilité chez les personnes âgées. La capacité des institutions n'étant pas suffisante pour accueillir tout ce monde, il est nécessaire de tout mettre en œuvre afin de permettre à un maximum de personnes de continuer à vivre chez elles le plus longtemps possible. La réduction du risque de chute chez les personnes âgées est un objectif important pour la santé publique. En effet, les chutes et les blessures liées à celles-ci augmentent avec l'âge, entraînant de nombreuses conséquences. Non seulement elles sont associées à une baisse de forme et de mobilité ou même à la mortalité chez les personnes âgées, mais elles sont aussi une des causes principales des admissions à long terme dans les homes. Un système de prédiction des chutes efficace permettrait de réduire considérablement le déclin fonctionnel des personnes âgées, les blessures dues aux chutes, les hospitalisations et les placements en maison de retraite (Society, Society, Of, & On Falls Prevention, 2001).

Les chutes chez les personnes âgées peuvent avoir beaucoup de causes. Certains des facteurs de risques les plus souvent recensés sont l'historique des chutes, la peur de chuter, l'utilisation d'une aide pour se déplacer, les vertiges, les problèmes de marche ou l'ingestion d'antiépileptiques (Deandrea et al., 2010). Un autre élément très important, qui fait régulièrement l'objet de recherches, est la perte d'équilibre. Comme nous le verrons par la suite, l'équilibre est très souvent utilisé afin de prédire le risque de chute chez les personnes âgées puisqu'une faiblesse à ce niveau mène fréquemment à une chute. En effet, depuis des décennies, des tests ont été développés pour évaluer la forme physique des seniors au travers de leur équilibre.

2. L'équilibre

2.1. Définition de l'équilibre

D'un point de vue physiologique, l'équilibre est décrit comme étant l'état de quelqu'un maîtrisant sa position et ses mouvements ; qui ne tombe pas. Le maintien de l'équilibre est une activité complexe qui englobe une multitude de systèmes différents qui doivent sans cesse se coordonner grâce à un système de feedback. Chez l'être humain, le maintien de l'équilibre est géré par trois systèmes sensoriels : les systèmes visuel, proprioceptif et vestibulaire. Ces systèmes renseignent sur la position du corps et sur son environnement. Les informations sensorielles sont ensuite envoyées au système nerveux central qui, se basant sur un schéma interne, décidera d'une réponse appropriée à transmettre au système musculo-squelettique afin que celui-ci puisse maintenir la posture (Larousse, s. d.; Mancini & Horak, 2010).

Il est possible de distinguer deux sortes d'équilibre. La première est l'équilibre statique, qui consiste à rester en position immobile, par exemple se tenir debout. Le corps n'est jamais totalement immobile. En effet une vacillation constante est observable même si le point d'ancrage (ici les pieds) est fixe. Le second type d'équilibre est dynamique. Celui-ci nous permet de rester debout lors d'un mouvement, par exemple pour marcher. Le corps se met en déséquilibre afin d'avancer mais se remet tout de suite en équilibre. C'est un va-et-vient constant entre les deux états (Haag, Mess, & Haag, 2012).

2.2. L'équilibre chez les personnes âgées

Il est depuis longtemps connu que l'équilibre se détériore avec l'âge. Beaucoup de facteurs contribuent à ce déclin, dont principalement des changements biologiques liés au vieillissement dans les domaines tels que la force, la coordination et les systèmes sensoriels. Comme déjà mentionné dans le paragraphe précédent, l'équilibre dépend d'une multitude de systèmes sensoriels. Ceux-ci sont tous affectés d'une manière ou d'une autre par l'âge (Gadkaree et al., 2016). Prenons, par exemple, les changements survenant au niveau du système visuel. La détérioration des fonctions visuelles, dont l'acuité visuelle, le champ de vision ou la sensibilité des contrastes, est omniprésente dans la communauté des personnes âgées. La capacité proprioceptive n'est pas épargnée non plus, le déclin de celle-ci ayant également été observée (Gadkaree et al., 2016). Il existe également des documentations montrant une détérioration du système vestibulaire au niveau de presque tous les types de cellules vestibulaires, y compris les cellules capillaires, les fibres nerveuses ou les neurones du noyau vestibulaire (Zalewski, 2015). De même, on observe des changements liés à l'âge au niveau du système neuromoteur qui permet de contrôler la posture. Autant au niveau structurel (dégénérescence de la matière grise et blanche et des nerfs périphériques) qu'au niveau fonctionnel avec les

modifications du fonctionnement des structures (détérioration ou compensation) ou au niveau du comportement qui en découle, l'altération du système neuromoteur est présente. Le système musculo-squelettique souffre lui aussi du poids des années (Chan, 2016). L'amplitude articulaire diminue, tout comme la force musculaire et les variables anthropométriques, qui sont également altérés. De plus, il ne faut pas négliger l'impact des maladies liées à l'âge qui ajoute un facteur supplémentaire au déclin de tous ces systèmes, comme, par exemple, l'arthrite qui limite le mouvement, le diabète qui réduit les fonctions proprioceptives et la vision, ainsi que la maladie d'Alzheimer ou de Parkinson (Konrad, Girardi, & Helfert, 1999). Tous les systèmes responsables de l'équilibre se détériorant, l'instabilité augmente avec l'âge, prédisposant les seniors à un risque croissant de chuter.

2.3. L'évaluation de l'équilibre

2.3.1. Dispositifs d'analyse de l'équilibre

L'évaluation de l'équilibre ou du vacillement corporel est un moyen très efficace pour détecter des troubles de l'équilibre, et donc la prédiction des chutes. Il existe différents instruments permettant de mesurer l'équilibre quantitativement et d'obtenir des données précises et objectives.

Communément, ces mesures quantitatives sont obtenues en mesurant le centre de pression, celui-ci étant l'origine de la force de réaction au sol qui agit sur le corps afin de maintenir la position (Yeung, Cheng, Fong, Lee, & Tong, 2014). Ces données sont facilement et directement accessibles grâce à des dispositifs tels que les plateformes de force. Une étude (Hewson, Singh, Snoussi, & Duchene, 2010) a démontré qu'il était possible de reconnaître les chuteurs des non-chuteurs rien qu'en observant la vitesse de déplacement du centre de pression. Des mesures comparables à celles des plateformes de force ont été obtenues grâce aux accéléromètres et gyroscopes (Mancini & Horak, 2010). Placés au bas du dos ou sur les cuisses, ces capteurs fournissent des informations sur le vacillement corporel au travers de l'accélération linéaire et angulaire du corps (Mancini & Horak, 2010). Une autre manière d'évaluer l'équilibre est à travers le mouvement du centre de masse. En effet, il a été démontré qu'un grand mouvement du centre de masse corrélait avec un risque de chute croissant (Yeung et al., 2014). Les données sur le centre de masse peuvent être obtenues de plusieurs façons. Elles peuvent notamment être calculées à partir du centre de pression, donc grâce à une plateforme de force. Cependant, il a été observé que le centre de pression ne permettait plus d'estimer un centre de masse assez précis lors de l'évaluation d'exercices plus complexes où le corps vacille beaucoup (Yeung et al., 2014). Il est également possible d'utiliser des systèmes de capture de mouvement 3D afin d'obtenir les données sur l'équilibre. Les systèmes tels que l'Optotrak Certus ou Vicon sont capables d'obtenir le centre de masse grâce aux données cinématiques récoltées (Yang et al., 2014). Les inconvénients de ces appareils résident dans leur coût élevé

et leur manque de maniabilité, étant donné qu'ils nécessitent de porter des capteurs et qu'ils ne sont accessibles qu'en laboratoire. En revanche, un nouveau système prometteur, la Kinect de Microsoft, qui fournit également des données 3D sur les segments corporels, est un outil bon marché qui, de plus, est peu contraignant puisqu'il ne dépend pas de marqueurs et est facile d'utilisation. Plusieurs études ont d'ailleurs comparé la Kinect avec les autres dispositifs mentionnés ci-dessus. Ils en sont arrivés à la conclusion que même si la Kinect n'était pas aussi précise que les autres, les données étaient suffisantes pour l'évaluation de l'équilibre et qu'elle demeurait une excellente alternative aux autres instruments. Clark et al. (2012) ont comparé le système Kinect avec le système d'analyse du mouvement 3D Vicon pour l'évaluation du contrôle postural à partir de la cinématique du corps. Ils sont arrivés à des résultats comparables entre les deux systèmes et suggèrent que la Kinect est capable d'évaluer les stratégies cinétiques pour le contrôle postural. Une deuxième étude de Clark et al. (2015) sur la même lignée a comparé la Kinect à un autre système de capture de mouvement 3D (3DMA) et sur des exercices d'équilibre statique et dynamique. Les résultats étaient excellents, notamment pour les angles du tronc ou les mouvements antéro-postérieurs, mais moins pour les mouvements médio-latéraux, par exemple. D'autres études ont utilisé la Kinect pour évaluer l'équilibre grâce au centre de masse. González, Hayashibe, & Fraisse (2013) ont, par exemple, comparé le centre de masse obtenu au travers de la Kinect et d'une Wii Board, avec celui obtenu par le système Vicon et une plateforme de force. Des résultats similaires ont été obtenus et prouvent donc que ces nouvelles technologies sont de bonnes alternatives aux outils traditionnels. Yang et al. (2014) ont utilisé le système de capture de mouvement Optotrak Certus comme système de référence et sont arrivés à la conclusion que le système Kinect était un outil valide pour examiner l'équilibre lorsque le centre de masse est utilisé. Tout comme Yeung et al. (2014) qui ont mesuré le centre de masse en comparant la Kinect, le système Vicon et une plateforme de force et qui sont arrivés à la même conclusion sur la validité de la Kinect.

L'utilisation de la Kinect dans le milieu gériatrique est en pleine essor comme le montre une revue de Webster & Celik (2014). Le plus souvent, elle est encore utilisée à des fins de réhabilitation et de prévention en créant des exercices sous forme de jeux qui peuvent être pratiqués chez soi. Des programmes permettant de détecter une personne ayant chuté ont également été développés. Parmi les différentes méthodes qui existent, l'une se base sur la position de la tête par rapport au sol, une autre s'intéresse à la position de la colonne vertébrale rapport au sol, alors qu'une troisième méthode utilise la hauteur du centre de masse et la vélocité du mouvement corporel. En revanche, il reste encore beaucoup à faire dans l'évaluation de la fragilité ou la prédiction du risque de chute chez les personnes âgées ; bien que des pistes sont creusées. Webster & Celik (2014) reportent essentiellement des études analysant la marche pour la prévention des chutes. Une étude de Ejupi et al. (2016)

a prouvé que la Kinect pouvait faire la différence entre des chuteurs et des non-chuteurs au travers d'un test fonctionnel, étant donné que les chuteurs se montraient significativement plus lents. Dutta, Chugh, Banerjee, & Dutta (2014) ont démontré que les données sur l'équilibre obtenues grâce à la Kinect et la Wii lors de leur expérience corrélaient aux résultats du test clinique « Berg Balance Scale ». Hassani, Kubicki, Brost, Mourey, & Yang (2015) ont utilisé la Kinect pour évaluer la fragilité des personnes âgées à l'aide du test « TUG ». À ce jour, aucun algorithme ne permet de prédire des chutes grâce à l'utilisation de la Kinect. Les études mentionnées offrent toutefois des résultats prometteurs qui laissent espérer que cela sera possible d'ici quelques années.

2.3.2. Tests cliniques

Dans la majorité des institutions pour personnes âgées, il est difficilement possible d'accéder à des appareils aussi précis que ceux mentionnés ci-dessus. Comme déjà évoqué, ces dispositifs sont trop coûteux, difficiles d'utilisation et souvent pas adéquats pour cette catégorie de la population. C'est pour cela qu'ils utilisent majoritairement des tests cliniques développés, afin de faire état de la forme physique de la personne et de son risque de chute. Ces tests sont souvent conduits par des experts ayant reçu une formation, afin de pouvoir juger correctement de l'exécution des exercices.

De nos jours, il existe beaucoup de tests, tous développés dans l'idée de pouvoir évaluer au mieux les différents paramètres liés à l'équilibre de ces personnes âgées. Mais ce sont les classiques qui restent le plus souvent utilisés, car ils ont prouvé leur efficacité, sont faciles et rapides à mettre en œuvre. Ces tests montrent tout de même des points faibles dans leur prédiction. L'un des inconvénients de ces tests est qu'ils sont subjectifs. Étant donné qu'ils sont conduits par des personnes, bien que qualifiées, les résultats ne sont pas objectifs et peuvent varier selon l'individu qui examine. Suivant leur appréciation ou sensibilité, les examinateurs noteront différemment la personne âgée passant le test.

Pour l'évaluation, ces tests cliniques utilisent majoritairement une grille de critères d'évaluation avec une attribution de points plus ou moins élevés selon la qualité d'exécution de l'exercice. À partir d'une échelle, le total final de points obtenu détermine si la personne a un risque plus ou moins élevé de chuter.

Le résumé de Mancini & Horak, (2010) sur les tests cliniques les plus connus permet d'avoir un bon aperçu de la thématique :

Le « Tinetti Balance and Gait Test » est le plus ancien et le plus largement utilisé pour l'évaluation des personnes âgées. Le Tinetti a prouvé sa fiabilité et son efficacité pour identifier les chuteurs en possédant une grande sensibilité. Il existe une grande quantité de variations se différen-

ciant dans leur notation ou leur nombre d'exercices (Köpke & Meyer, 2006). Mais ils examinent tous les capacités d'équilibre statique et dynamique (marche), bien que cette deuxième partie soit souvent mise de côté à cause de son effet plafond chez des sujets plus jeunes.

Le « Berg Balance Scale » est constitué de 14 éléments dont la majorité consiste à maintenir l'équilibre sous certaines conditions pendant un certain temps, mais il propose également quelques exercices d'équilibre dynamique (Downs, 2015). Il est très facile à appliquer et ne prend que 10 à 15 minutes. De plus, la fiabilité inter-évaluateur est excellente. Cependant, comparé au Tinetti, le Berg Balance Scale a une sensibilité plutôt faible et a ses limites pour la prédiction du risque de chute.

Le « Timed Up and Go Test (TUG) » est sans doute l'un des tests les plus rapidement effectués et l'un des plus fiables puisqu'il se base principalement sur le critère temps pour évaluer la forme physique de la personne. Ce test consiste à mesurer le temps nécessaire pour se lever d'une chaise, marcher sur une distance de 3 mètres, faire demi-tour et revenir s'asseoir sur la chaise. Si le temps total d'exécution du test dépasse 15 secondes (parfois les médecins utilisent également 13,5 secondes), la personne a un risque de chute. Ce test ayant démontré son efficacité pour la prédiction du risque de chute, il est très souvent utilisé en clinique.

L'Équilibre sur une jambe est l'un des tests les plus anciens. Il a l'avantage d'utiliser le facteur temps comme moyen d'évaluation ce, qui le rend plutôt fiable. En effet, d'après une étude (Hurvitz, Richardson, Werner, Ruhl, & Dixon, 2000), si la personne âgée est capable de maintenir l'équilibre plus de 20 secondes, le risque de chute est bas, alors qu'en dessous des 20 secondes la personne est à risque. Or c'est un exercice compliqué pour la majorité des personnes âgées et qui limite donc l'évaluation du contrôle de l'équilibre statique.

Le « Functional Reach » Test permet d'évaluer les limites de la stabilité de la position debout en demandant aux sujets de tendre les bras vers l'avant et de se pencher le plus loin possible vers l'avant sans perdre l'équilibre. La distance atteinte est mesurée et évaluée à l'aide d'une échelle. Bien que cet exercice soit censé démontrer jusqu'où le centre de masse est possible d'aller au-dessus de la base de support des pieds, des mesures en laboratoire ont montré que la distance atteinte n'est pas corrélée au mouvement du centre de masse. De plus, il ne permet pas réellement de prédire les risques de chute (Yelnik & Bonan, 2008).

Le « Clinical Test of Sensory Interaction and Balance (CTSIB) » (Shumway-Cook & Horak, 1986) est un test très simple, exécuté en quelques minutes, permettant de quantifier le contrôle postural sous six conditions sensorielles différentes (sur un sol dur ou sur un coussin en mousse, avec

les yeux ouverts, fermés ou avec un dôme de conflit visuel (Figure 1)). Il est demandé aux sujets de garder l'équilibre au moins 30 secondes pour chacune des conditions. Une version modifiée de ce test est également employée, avec pour différence de ne pas utiliser les conditions avec le dôme de conflit visuel.



Figure 1. Dôme de conflit visuel porté par les sujets, afin de perturber les informations visuelles. (Shumway-Cook & Horak, 1986)

Les tests ci-dessus ont pour but premier d'identifier si un déficit d'équilibre est présent chez le patient. Il existe aussi des tests ayant été développés afin de tenter de déterminer la cause du déficit d'équilibre :

Le « Balance Evaluation System Test (BESTtest) » se concentre sur six différents systèmes de contrôle de l'équilibre basés sur des recherches scientifiques : les contraintes biomécaniques, les limites de stabilité, les ajustements posturaux anticipés, les réponses posturales, l'orientation sensorielle et la stabilité lors de la marche. Le but est de pouvoir identifier la cause de déficit d'équilibre et de pouvoir guider spécifiquement la réhabilitation. Ce test est unique dans sa capacité à aider les cliniciens à déterminer le type de déficit d'équilibre et ainsi diriger les patients vers un traitement spécifique. Le point faible de ce test est sa durée (30 minutes) due au grand nombre d'exercices (36) mais une version courte ne durant que 10 minutes a été développée. Beaucoup de ces exercices ont été repris de tests développés par d'autres (Horak, Wrisley, & Frank, 2009). On y retrouve notamment des exercices venant du TUG, CTSIB ou l'équilibre sur une jambe.

Le « Physiological Profile Approach (PPA) » est organisé autour des altérations physiologiques qui conduisent à un risque de chute. Il contient des exercices de vision, de sensation cutanée des pieds, de la force musculaire de la jambe, du temps de réaction et du balancement postural dans la position debout. Il en existe une version courte qui ne dure que 15 minutes et qui a prouvé son efficacité pour détecter les risques de chute chez les personnes âgées. Bien que ce test prédise avec une grande précision si un risque de chute existe, les résultats ne permettent pas de diriger la réhabilita-

tion, les problèmes étant souvent multifactoriels. Se baser uniquement sur la pathologie pour un traitement n'est pas suffisant puisque la capacité fonctionnelle dépend aussi de facteurs tels que la compensation, l'expérience, les ressources restantes, la motivation et encore d'autres facteurs.

3. Le système Kinect

Les tests cliniques étant subjectifs et les instruments de mesures traditionnels étant coûteux et difficiles d'utilisation, le système Kinect propose une solution alternative pas chère, très facile d'utilisation et objective. C'est pourquoi il est intéressant de prouver son efficacité afin qu'elle fasse son entrée dans l'évaluation clinique.

Un article de Zhang (2012) lève le voile sur cette nouvelle technologie et le fonctionnement caché derrière cette petite caméra. Initialement prévue comme manette pour la console de jeu Xbox, la technologie Kinect créée par Microsoft fit sa première apparition en 2010. Quelques années plus tard, Microsoft développa une nouvelle version fonctionnant sur Windows et délivrée avec un kit de développement. Ce kit permet à tout un chacun de développer ses propres applications et d'ouvrir l'utilisation de la Kinect dans de nombreux domaines.

La Kinect de Microsoft est un système de capture de mouvement portable et sans marqueurs qui permet d'interpréter et de traquer les gestes du corps en trois dimensions et en temps réel. Telle que présentée dans la figure 2, elle est composée d'une caméra RGB permettant de restituer des images en couleur et d'un capteur de profondeur qui est lui-même composé d'un émetteur et d'un récepteur infrarouge. Le capteur de profondeur est la partie principale du système qui permet la reconnaissance de formes et de mouvements. L'émetteur infrarouge projette un nuage de points dans la pièce. Le récepteur infra-

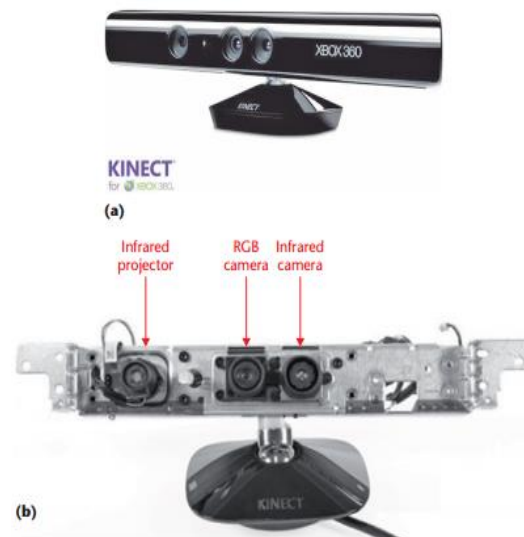


Figure 2. a) Kinect de Microsoft b) Composants de la Kinect : caméra RGB, capteur de profondeur (émetteur infrarouge et récepteur infrarouge). (Zhang, 2012)

rouge quant à lui détecte les altérations dans la réflexion de ce motif de points qui lui permet de déduire la distance des objets de la pièce. Ainsi, il est possible d'obtenir une représentation 3D des objets se trouvant dans le champ de vision de la Kinect.

La deuxième étape, qui est la gestion du flux de données issues du capteur de profondeur, dont le but est la détection des objets et des mouvements, est effectuée au niveau de l'ordinateur. Par exemple, le kit de développement fourni par Microsoft permet de créer un squelette à partir des données de profondeur qui informe sur la position et l'orientation de la personne se trouvant devant la Kinect (Figure 3). Il est cependant aussi possible de créer soi-même des algorithmes et traite-

ments d'images permettant la reconnaissance plus détaillée de formes selon l'utilisation que l'on souhaite en faire.

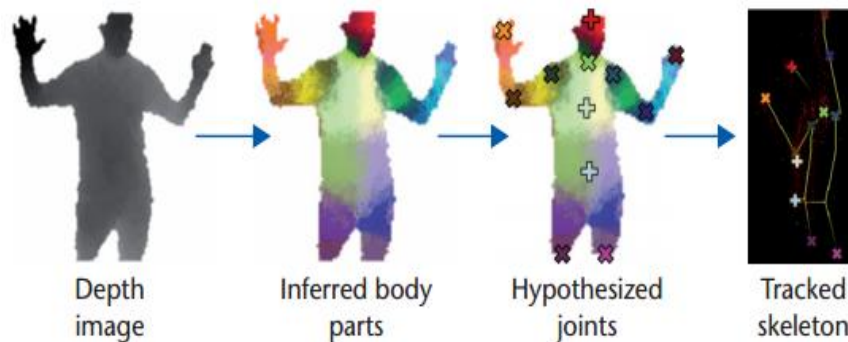


Figure 3. Création du squelette à partir des données de la Kinect. (Zhang, 2012)

Il est possible de déterminer le centre de masse d'un sujet. Pour cela, il suffit d'utiliser un algorithme permettant de calculer la moyenne géométrique de tous les points mobiles détectés comme appartenant au sujet. Ceci permet de récolter des mesures pour notamment identifier la gestuelle d'une personne ou d'analyser son équilibre (Dubois & Charpillet, 2013).

Ce système est celui utilisé dans ce travail afin d'analyser la capacité d'équilibre d'un individu en observant la vacillation du centre de masse principalement dans le plan XZ.

4. Buts et questions de recherche

La fragilité est fréquente chez les personnes âgées et contribue grandement au risque de chutes. Fried (2001) a défini cinq critères de fragilité : la perte de poids involontaire, l'épuisement auto-déclaré, la faiblesse (force de poigne), la vitesse de marche lente et l'inactivité physique. Nous avons décidé de nous concentrer sur ce dernier critère en utilisant l'équilibre et la marche (les deux étant le plus souvent utilisés pour évaluer la forme physique des personnes âgées) pour définir les buts de ce travail :

- Dans un premier temps, il serait intéressant de voir si la Kinect est un système suffisamment efficace pour détecter un des facteurs de fragilité qu'est l'inactivité chez les personnes âgées. Est-ce que les données recueillies nous permettraient de créer un modèle objectif qui décèlerait le manque d'activité au travers de l'équilibre ou de la marche des personnes et ainsi faire état de leur fragilité ?
- Finalement, est-il possible de définir quel est le meilleur indicateur d'inactivité entre la marche et l'équilibre ? Les deux se détériorant avec l'âge, lequel est visible en premier et permettrait de déceler au plus vite les faiblesses qui pourraient mener à une chute ?

5. Méthode

5.1. Sujets

90 participants divisés en deux groupes d'âge - les « jeunes » âgés de 21 à 29 ans ($n=45$, 24.5 ± 2.4 ans, 35 femmes, 10 hommes) et les « personnes âgées » âgés de 65 à 85 ans ($n=45$, 72.9 ± 5.2 ans, 29 femmes, 16 hommes) - ont pris part à notre expérience. Nous avons sélectionné les sujets afin d'obtenir dans chacun des deux groupes trois sous-groupes en utilisant comme critère la quantité d'activité physique pratiquée par la personne. Ainsi dans le groupe des « jeunes » nous retrouvons un sous-groupe « jeunes actifs » ($n=16$, 24.6 ± 3.4 , 12 femmes, 4 hommes), un autre « jeunes moyennement actifs » ($n=16$, 24.3 ± 1.9 , 11 femmes, 5 hommes) et le dernier « jeunes non-actifs » ($n=13$, 24.7 ± 1.6 , 12 femmes, 1 homme). La même chose pour le groupe des « personnes âgées » avec le sous-groupe « personnes âgées actives » ($n=15$, 71.9 ± 4.7 , 9 femmes, 6 hommes), celui des « personnes âgées moyennement actives » ($n=15$, 72.1 ± 5.1 , 10 femmes, 5 hommes) et finalement les « personnes âgées non-actives » ($n=15$, 74.8 ± 5.6 , 10 femmes, 5 hommes).

5.2. Protocole

Chaque participant devait dans un premier temps remplir deux questionnaires. Le premier – un questionnaire d'activité physique pour les personnes âgées (le QAPPA) (de Souto Barreto, Ferrandez, & Saliba-Serre., 2011) (Annexe 1) – utilisé afin de nous permettre de classer les personnes dans trois groupes différents suivant la quantité d'activité physique pratiquée régulièrement (bas, modéré, élevé), ceci nous permettant d'observer, selon les résultats obtenus, si le niveau d'activité physique a une influence sur l'équilibre et la marche. Bien que ce questionnaire soit destiné aux personnes âgées, nous l'avons également utilisé pour classer les sujets « jeunes ».

Le second questionnaire était à remplir uniquement par les personnes âgées. Il s'agissait d'un questionnaire sur les chutes (Annexe 2) nous permettant de distinguer si un sujet avait déjà chuté ou non et de récolter plus d'informations sur l'origine de la/des chute/s. Ces données nous ont permis d'observer si la marche ou l'équilibre varie entre une personne qui a déjà chuté et une autre qui n'a encore jamais chuté.

Une fois ces questionnaires remplis, les sujets ont dû effectuer à trois reprises le test « Timed Up and Go » (TUG) dans le champ de vision de la Kinect positionnée latéralement. Dans notre expérience, les participants commençaient hors du champ de vision de la Kinect. Une fois que la Kinect avait extrait le fond, le test consistait à aller s'asseoir sur une chaise (possédant des accoudoirs pour s'aider si besoin était), à se lever de celle-ci, marcher sur une distance de trois mètres, faire demi-tour et revenir s'asseoir sur la chaise. Les personnes âgées étaient autorisées à utiliser leur aide

technique telle qu'une canne ou un déambulateur pour l'exécution de cet exercice (une personne l'a utilisée).

La tâche suivante consistait à effectuer sept allers-retours sur une distance de 3,70 mètres en marchant le plus normalement possible. Cela à nouveau devant une Kinect se trouvant sur le côté. La longueur des allers était telle que les demi-tours étaient hors du champ de la caméra afin qu'ils ne soient pas pris en compte dans l'analyse. À nouveau les personnes âgées étaient autorisées à utiliser leur aide technique (une personne l'a utilisée).

Après les exercices sur la marche, les sujets devaient passer un test d'équilibre statique composé de neuf exercices différents (Tableau 1). Ce test a été créé à partir d'exercices faisant déjà partie d'autres tests reconnus et utilisés en clinique : le test de BERG (Berg, Wood-Dauphine, Williams, & Gayton, 1989), le test de Tinetti (Tinetti, 1986) et le CTSIB (Shumway-Cook & Horak, 1986). Le but étant de maintenir la position demandée sur un temps donné en bougeant le moins possible sur une plateforme de force et face à une Kinect (Figure 4). L'ordre des situations était choisi aléatoirement et était à répéter deux fois.

Tableau 1. Liste des exercices du test d'équilibre statique

No Exercice	Test d'origine	Situation	Yeux ouverts/fermés	Temps à tenir pour réussir
1	BERG	Pieds légèrement écartés	Ouverts	2 min
2		Pieds légèrement écartés	Fermés	1 min
3	BERG et Tinetti	Pieds joints	Ouverts	1 min
4	Tinetti	Pieds joints	Fermés	1 min
5	BERG	Sur une jambe	Ouverts	1 min
6		Pieds position tandem	Ouverts	1 min
7		Se retourner du côté gauche puis du côté droit sans bouger les jambes	Ouverts	1 fois
8	CTSIB	Sur Airex (coussin en mousse) - deux pieds	Ouverts	1 min
9		Sur Airex - deux pieds	Fermés	min

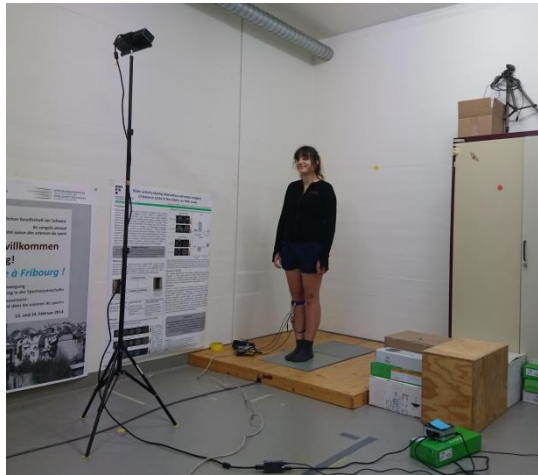


Figure 4. Installation pour le test d'équilibre statique :
Sujet sur la plateforme de force face à la Kinect.

Pour que le recueil des données par la Kinect soit optimal, il était demandé aux participants de porter des habits courts ou des habits réfléchissant les infrarouges. De plus, toute la série de test était à réaliser en chaussettes pour que les conditions soient les mêmes pour tout le monde et que les chaussures ne soient pas un facteur supplémentaire à prendre en compte.

5.3. Mesures

5.3.1. TUG

Les mesures récoltées par le test TUG nous servent de référence pour la prédiction sur les risques de chutes de nos sujets. En effet, un précédent travail de master (Barbezat, 2016) a pu démontrer que ce test pouvait être automatisé en utilisant le système Kinect et les variables qu'il apportait. Les données obtenues ont permis de voir que les résultats de la Kinect correspondaient aux résultats des experts et que les variables spécifiques sont capables de prédire un risque de chute.

Nous avons utilisé treize variables obtenues par la Kinect pour l'évaluation de ce test : le temps total (TpsTotTUG), le temps pour se lever de la chaise (TpsLeverTUG), la vitesse pour se lever (VitLeverTUG), le temps pour s'asseoir (TpsAssisTUG), la vitesse pour s'asseoir (VitAssisTUG), la longueur moyenne des pas (MoyLongTUG), l'écart type de la longueur des pas (SDLongTUG), la durée moyenne des pas (MoyDurTUG), l'écart type de la durée moyenne des pas (SDDurTUG), la cadence moyenne (MoyCadTUG), l'écart type de la cadence (SDCadTUG), la vitesse de marche moyenne (VitMoyTUG) et le temps pour le demi-tour (TpsDemiTUG).

5.3.2. Marche

La marche est une autre façon d'évaluer l'équilibre d'une personne et donc le risque de chute. Nous avons ainsi décidé de l'utiliser afin de comparer les résultats obtenus par la marche à ceux obtenus par l'équilibre pour trouver le meilleur indicateur de faiblesse chez les personnes âgées.

Les variables utilisées pour l'analyse de la marche sont semblables à celles pour le test TUG, à l'exception des données pour se lever et s'asseoir de la chaise. Les sept variables dont nous sommes servies sont les suivantes: la longueur moyenne des pas (MoyLongMarche), l'écart type de la longueur moyenne des pas (SdMoyLongMarche), la durée moyenne des pas (MoyDurMarche), l'écart type de la durée moyenne des pas (SDMoyDurMarche), la cadence moyenne (MoyCadMarche), l'écart type de la cadence moyenne (SdMoyCadMarche) et la vitesse moyenne de marche (MoyVitMarche).

5.3.3. Équilibre statique

Seules les données de la Kinect ont été analysées pour les mesures du test d'équilibre statique. La Kinect ayant déjà fait l'objet de nombreuses études, elle a été validée comme outil de mesure fiable pour l'évaluation de l'équilibre (Clark et al., 2012; Yeung et al., 2014). De plus, davantage de temps aurait été nécessaire pour comparer les données de la plateforme de force à celle de la Kinect. C'est pourquoi nous avons décidé d'ignorer les mesures de la plateforme de force.

Les données de la Kinect nous ont permis de récolter onze variables différentes pour l'analyse de l'équilibre : la vitesse moyenne de déplacement du centre de masse sur les axes XZ (MoyVitXZ), la vitesse médiane du déplacement du centre de masse sur les axes XZ (MedVitXZ), la vitesse maximale du déplacement du centre de masse sur les axes XZ (MaxVitXZ), la position du centre de masse sur les axes XZ (PosXZ), la position de la tête (PosTete), la moyenne de la dispersion du corps en X (MoyLambdaBig), la médiane de la dispersion du corps en X (MedLambdaBig), la dispersion du corps maximale en X (MaxLambdaBig), la moyenne du rapport de la dispersion du corps entre X et Z (MoyLambdaBigSmall), la médiane du rapport de la dispersion du corps entre X et Z (MedLambdaBigSmall), le rapport de la dispersion du corps maximale entre X et Z (MaxLambdaBigSmall).

5.4. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du programme RStudio. Le niveau de significativité a été défini à $p \leq 0,05$.

5.4.1. TUG

Pour l'analyse statistique du test TUG, nous avons commencé par un test de normalité appliqué à chacun des groupes pour toutes les variables. Nous avons utilisé le test Kruskal-Wallis pour les données non-paramétriques et le test post-hoc de comparaison multiple pour trouver les différences significatives entre les groupes. Pour les données paramétriques, nous avons déterminé la variance

grâce au test de Levene. Certaines données étant paramétriques et ayant une variance hétérogène, nous avons utilisé one-way ANOVA et le test de comparaison pairwise comme test post-hoc. Les résultats significatifs entre les groupes ont été marqués d'un « X » ou d'un « T » s'il y avait une tendance.

5.4.2. Marche

Tout comme pour l'analyse TUG, nous avons commencé par un test de normalité pour chacun des groupes et ce, pour toutes les variables. Le test de Krustal-Wallis a été utilisé pour trouver les différences significatives pour les données non-paramétriques, suivi d'un test post-hoc de comparaison multiple pour trouver entre quels groupes les différences se trouvaient. Pour les données paramétriques, nous avons appliqué le test de Levene pour analyser la variance. Ce test indiquant des données paramétriques avec une variance homogène, nous avons conclu par un test ANOVA suivi d'un test post-hoc de comparaison pairwise. Nous avons marqué les résultats significatifs entre les groupes par un « X » ou par un « T » s'il y avait une tendance.

5.4.3. Équilibre statique

Tout comme pour les autres tests, nous avons dans un premier temps testé la normalité des données pour chaque groupe lors de chaque exercice (à l'exception de l'exercice 7, car nous n'arrivions pas à trouver des indicateurs d'analyse pour celui-ci) pour chacune des variables obtenues grâce à la Kinect. Toutes les données étant non-paramétriques, nous avons appliqué le test Krustal-Wallis afin de voir s'il y avait des différences significatives entre les groupes. Ensuite, nous avons effectué un test post-hoc de comparaison multiple pour toutes les conditions ayant un $p \leq 0.05$, afin de découvrir entre quels groupes les différences significatives se trouvaient. Ce test permettant uniquement de voir s'il y a une différence significative ou pas, nous avons relevé les résultats en marquant d'une croix (« X ») la présence de significativité entre deux groupes.

6. Résultats

Le but de l'analyse des résultats du test TUG, de la marche et des exercices d'équilibre statique est de découvrir quels paramètres permettent au mieux d'identifier les personnes âgées fragiles parmi tous les sujets. Quels exercices ou variables sont les plus représentatifs des personnes âgées non-actives ?

Les abréviations suivantes ont été utilisées pour désigner les différents groupes de sujets pour l'analyse des résultats :

Tableau 2. Liste des groupes et des abréviations

Groupes	Nom dans boxplots	Abréviations	No dans tableaux
Jeunes non-actifs	Jeune A	JA	1
Jeunes modérément actifs	Jeune B	JB	2
Jeunes actifs	Jeune C	JC	3
Personnes âgées non-actives	Agée A	AA	4
Personnes âgées modérément actives	Agée B	AB	5
Personnes âgées actives	Agée C	AC	6

6.1. TUG

La variable la plus intéressante qui ressort de l'analyse du test TUG est la vitesse de marche (VitMoyTUG). En effet, elle permet clairement de faire une distinction entre les groupes de personnes âgées et les jeunes, de même qu'entre les trois groupes de personnes âgées. Le seul point négatif est qu'elle ne permet pas de distinguer les AA des AB (Figure 5).

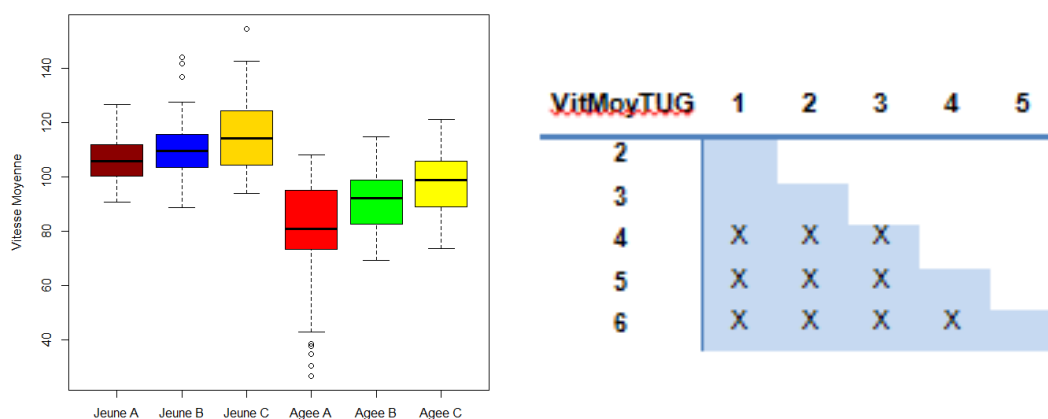


Figure 5. Boxplot et tableau de la variable « VitMoyTUG » lors du TUG. Différences significatives entre les groupes de jeunes et les groupes de personnes âgées et entre les groupes de personnes âgées, sauf entre les AA et AB.

D'autres variables montrent des résultats intéressants. Tel que le temps nécessaire au demi-tour (TpsDemiTUG) qui permet de faire la différence entre les personnes âgées et les jeunes, sauf JA qui ne se distinguent pas des AB et AC. Il n'y a pas de significativité non plus entre les différents groupes de personnes âgées (Figure 6).

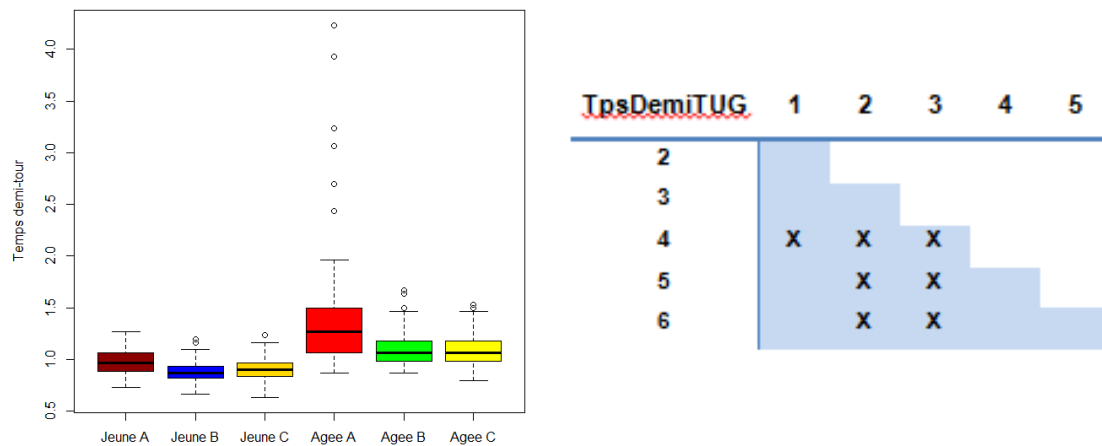


Figure 6. Boxplot et tableau de la variable « TpsDemiTUG » lors du TUG.

La longueur moyenne des pas (MoyLongTUG) ainsi que le temps d'exécution (TpsTotTUG) permettent de détecter une différence entre les trois groupes de personnes âgées et entre les personnes âgées et les jeunes. En revanche, les AC ne montrent pas de différence avec les JA. La différence entre les AA et les AB n'est pas visible non plus en utilisant ces deux variables (Figure 7).

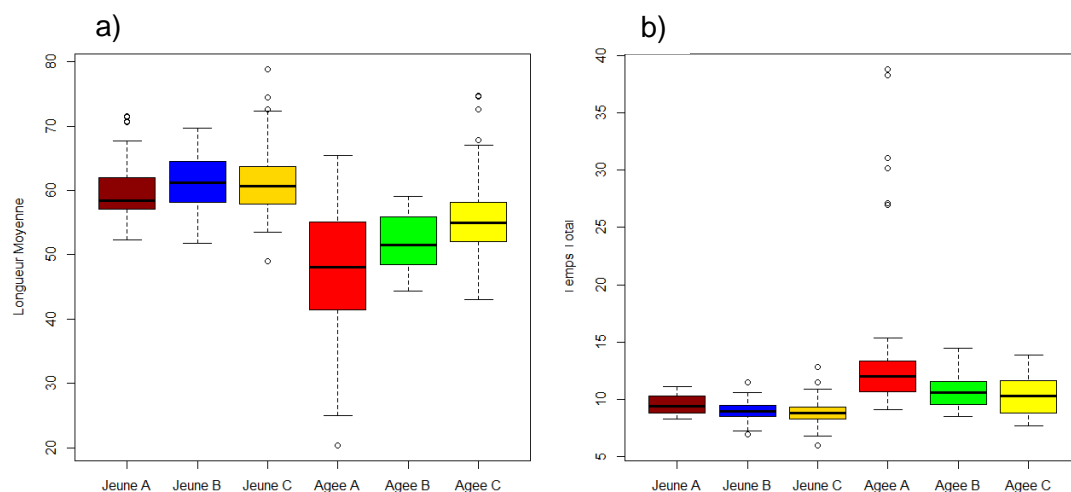


Figure 7. a) boxplot de la variable « MoyLongTUG » et b) boxplot de la variable « TpsTotTUG ». Différence entre les groupes de jeunes et les groupes de personnes âgées.

En revanche, les variables sur le temps nécessaire pour se lever de la chaise et s'y asseoir, ainsi que les données sur la cadence, n'ont pas donné de résultats significatifs intéressants pour notre recherche. Les résultats complets se trouvent en annexe 3.

Aucune différence significative n'était visible entre les différents groupes de jeunes pour aucun des paramètres analysés.

6.2. Marche

La majorité des variables utilisées pour l'analyse de la marche n'ont pas donné de résultats significatifs. En effet, une seule des variables montre un intérêt. La vitesse moyenne de marche (MoyVitMarche) permet de différencier les AA des trois groupes de jeunes, mais les écarts avec les deux autres groupes de personnes âgées ne sont pas suffisamment grands pour avoir de la significativité (Figure 8).

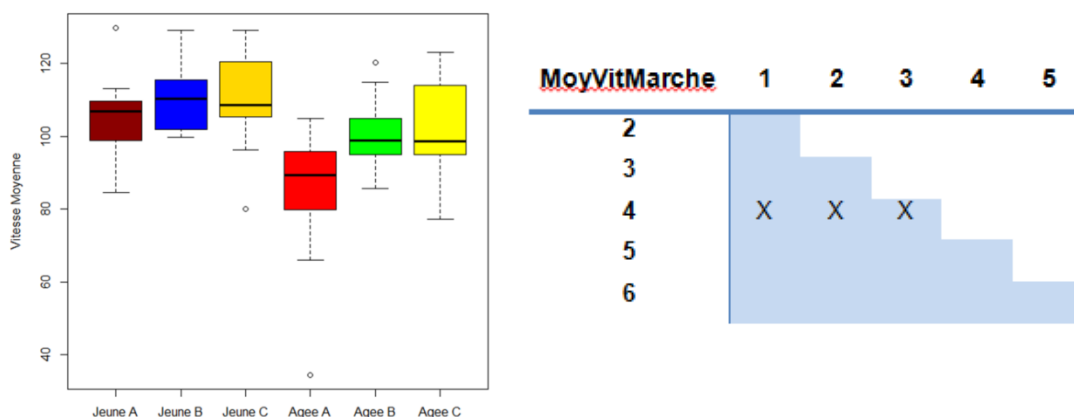


Figure 8. Boxplot et tableau de la variable « MoyVitMarche » lors de la marche. Seule une différence entre le groupe AA et les jeunes est visible.

Les autres variables, par contre, ne donnent pour la majorité pas de résultat significatif du tout, ou alors, il existe des différences significatives mais sans intérêt pour nous, puisque cela ne nous permet pas de reconnaître le groupe AA parmi tous les sujets. Les résultats complets peuvent être trouvés en annexe 4.

6.3. Équilibre statique

Les analyses des données sur l'équilibre statique ont livré beaucoup de résultats significatifs mais pas tous sont utiles pour notre recherche. Seuls les plus intéressants seront décrits. Les résultats au complet sont à retrouver en annexe 5.

Isolement des AA : Les variables les plus importantes sont celles sur la moyenne et la médiane de la vitesse du déplacement du centre de masse (MoyVitXZ et MedVitXZ) lors de l'exercice 4 (voir la liste des exercices au Tableau 1, p. 13), ainsi que la position de la tête (PosTete) lors de l'exercice 9. Ces trois variables nous permettent de distinguer exactement le groupe AA de tous les autres groupes (Figure 9 et Tableau 3). La position du centre de masse (PosXZ) lors de l'exercice 9 permet d'aboutir pratiquement aux mêmes résultats, mais montre en plus des différences significatives entre le groupe JB et les personnes âgées (Figure 9 et 10).

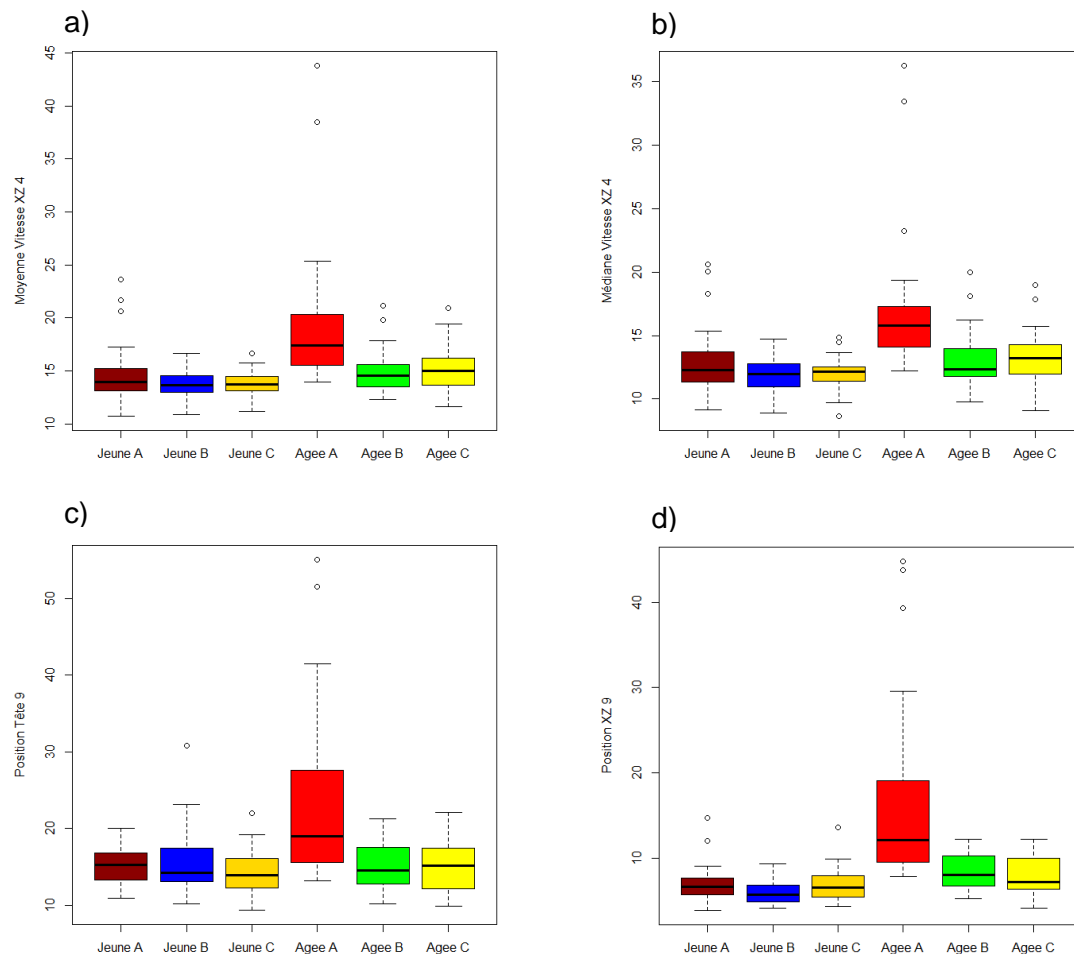


Figure 9. Boxplots montrant la distinction entre le groupe AA et tous les autres groupes : a) « MoyVitXZ » lors de l'exercice 4, b) « MedVitXZ » lors de l'exercice 4, c) « PosTete » lors de l'exercice 9 et d) « PosXZ » lors de l'exercice 9.

Ex4						Ex9					
MoyVitXZ	1	2	3	4	5	PosXZ	1	2	3	4	5
2						2					
3						3					
4	X	X	X			4	X	X	X		
5				X		5		X		X	
6				X		6		X		X	

Figure 10. Exemple des résultats significatifs permettant d'isoler le groupe AA des autres groupes avec la variable « MoyVitXZ » lors de l'exercice 4 et la « PosXZ » lors de l'exercice 9.

Certaines variables ne permettent pas une identification aussi précise que les variables précédentes mais sont tout de même intéressantes. Notamment la « MoyVitXZ » lors de l'exercice 1, la « MaxVitXZ » lors de l'exercice 5, la « PosXZ » lors de l'exercice 4 et le « MaxLambdaBig » lors des exercices 4 et 9. Il manque à tous les quatre la significativité entre le groupe AA et AC pour nous permettre d'isoler complètement le groupe AA de tous les autres.

Différences Jeunes - Personnes âgées: L'exercice 6 semble être un excellent exercice pour différencier les sujets âgés des sujets jeunes et cela à l'aide de presque toutes les variables (à l'exception de la position de la tête et des « LambdaBigSmall »). Cependant, il ne permet pas de distinguer les différents groupes de personnes âgées (Figure 11). L'exercice 8 propose les mêmes résultats mais uniquement avec les variables « MoyVitXZ » et « MedVitXZ ».

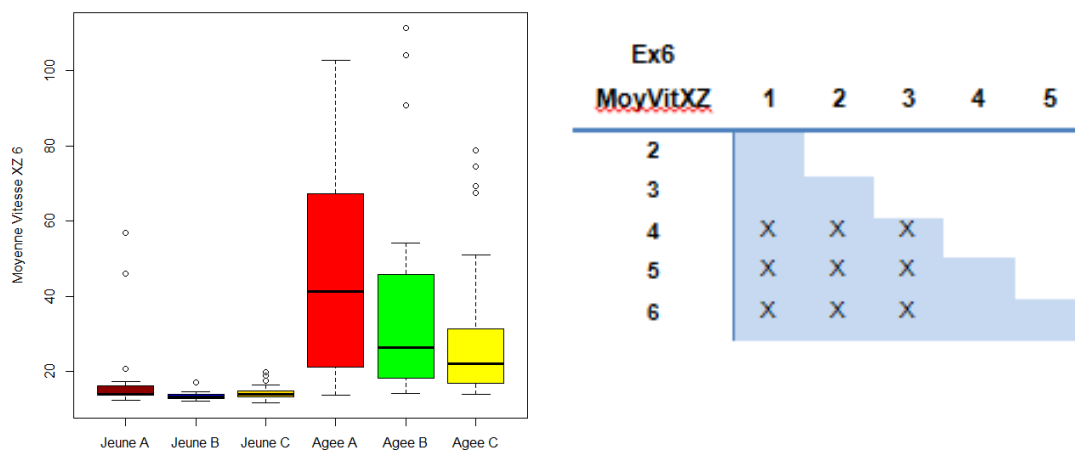


Figure 11. Différences entre les groupes de jeunes et les groupes de personnes âgées représentées par l'exemple du boxplot et du tableau de la variable « MoyVitXZ » lors de l'exercice 6.

Certaines variables et exercices proposent des résultats quasi identiques à ceux mentionnés, mais il leur manque une différence significative. Par exemple, la position du centre de masse (PosXZ) lors de l'exercice 8 permet de différencier les jeunes des vieux, à l'exception des AC et JA. La même

chose se retrouve avec la « MedVitXZ » lors de l'exercice 5 où les jeunes se distinguent des personnes âgées à l'exception des AB et JA.

Observations générales : Certaines variables ne sont pas utiles pour nos recherches mais elles montrent tout de même quelques résultats intéressants. Les variables « MoyVitXZ » et « MedVitXZ » lors de l'exercice 9 montrent un modèle qui permet de détecter une différence entre les personnes âgées et les jeunes ainsi qu'entre les trois groupes de personnes âgées. En revanche, les AC ne montrent pas de différence avec les JA et la différence entre les AA et les AB n'est pas visible non plus en utilisant ces deux variables (Figure 12).

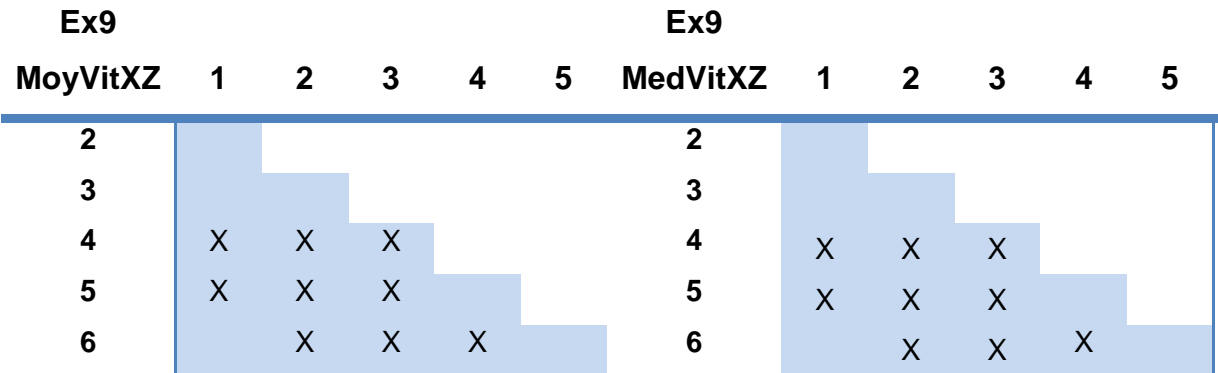


Figure 12. Distinction entre les jeunes et les vieux et entre les groupes de vieux, sauf entre AC et JA et entre AA et AB, grâce aux variables « MoyVitXZ » et « MedVitXZ » lors de l'exercice 9.

En règle générale, une plus grande variance était visible dans les données du groupe AA. De plus, nous avons pu observer des différences significatives entre ce groupe et les groupes de sujets jeunes dans diverses variables lors de plusieurs exercices (Figure 13).

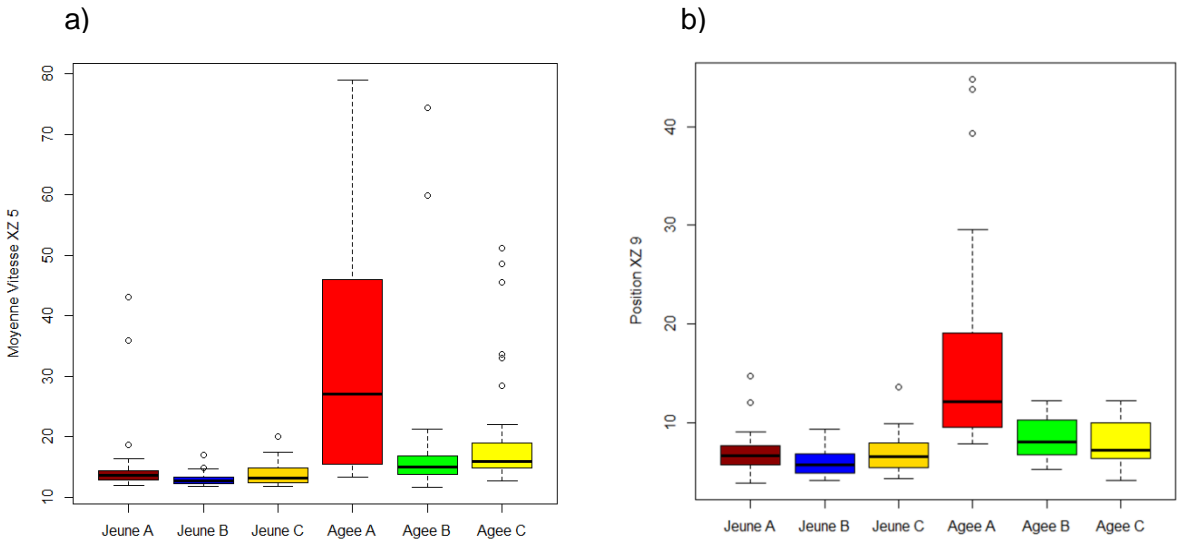


Figure 13. Exemple de la variance des données du groupe AA par les boxplots a) de la variable « MoxVitXZ » lors de l'exercice 5 et b) de la variable « PosXZ » lors de l'exercice 9.

Grâce à nos données, nous avons pu voir que certaines variables n'étaient pas utiles pour notre recherche, notamment les variables utilisant le « LambdaBigSmall ». En effet, celles-ci ne fournissent que peu de résultats significatifs et ne suivent pas de modèle très précis, contrairement aux autres variables.

De même, certains exercices ne se montrent pas suffisamment efficaces pour faire une distinction entre les groupes. Nous retrouvons les exercices 1, 2, 3 qui montrent quelques différences significatives, mais qui ne sont pas intéressantes pour ce que nous voulons analyser. Ces exercices sont apparemment trop simples pour qu'une différence d'équilibre soit visible entre les six groupes de sujets. L'exercice 5 offre beaucoup de différences significatives, mais ces résultats ne sont jamais assez complets pour pouvoir les utiliser comme modèle (Figure 14).

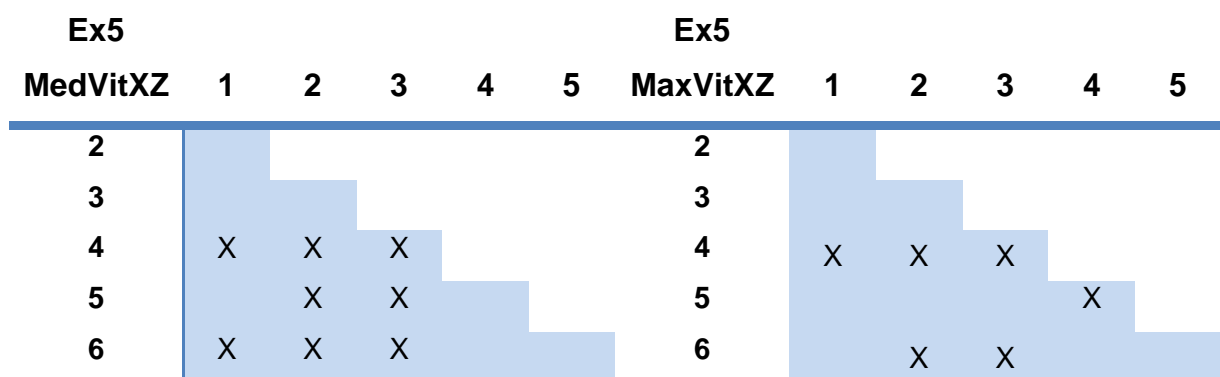


Figure 14. Résultats significatifs des variables « MedVitXZ » et « MaxVitXZ » lors de l'exercice 5 qui ne montre pas de modèles complets.

Aucune différence significative n'a pu être observée entre les différents groupes de jeunes.

Le tableau 3 résume les variables et les exercices les plus intéressants observés grâce à la Kinect lors du test d'équilibre statique.

Tableau 3. Résumé des variables et exercices intéressants ressortis lors du test d'équilibre statique.

Variables intéressantes	Exercices	Distinctions
MoyVitXZ et MedVitXZ	4	AA – Tous les groupes
PosTete et PosXZ	9	
MoyVitXZ	1	
MaxVitXZ	5	AA – Tous les groupes (sauf AA – AC)
PosXZ	4	
MaxLambdaBig	4 et 5	
MoyVitXZ, MedVitXZ, MaxVitXZ, PosXZ	6	J – A
MoyVitXZ et MedVitXZ	8	
PosXZ	8	
MedVitXZ	5	J – A (sauf AC – JA et AA – AB)
MoyVitXZ et MedVitXZ	9	

7. Discussion

7.1. TUG

Nous avons appliqué le test TUG afin de l'utiliser comme test de référence. En clinique, les évaluateurs se basent principalement sur la durée nécessaire pour l'exécution de l'exercice. Si le temps total d'exécution du test dépasse 15 secondes (ou 13,5 secondes) alors la personne a un risque de chuter. Ce test a été développé principalement pour détecter si une personne a un risque de chuter ou pas. Nous avons pu voir au travers des données obtenues par la Kinect que le temps total est significativement différent entre les groupes (sauf entre les jeunes, entre AC et les jeunes et entre AA et AB). Le TUG n'est donc apparemment pas sensible aux niveaux d'activité des personnes. Cette variable ne nous permet malheureusement pas de discriminer totalement tous les groupes.

En revanche, la Kinect apporte plus d'informations que le simple facteur temps. Elle permet également d'obtenir des informations sur d'autres paramètres, tels que sur la marche. En effet, sur les 13 variables analysées pour ce test TUG, c'est tout particulièrement celle relative à la vitesse moyenne de marche qui donne les résultats les plus pertinents dans la détection des personnes âgées ne pratiquant pas ou peu d'activités physiques. Ce constat est intéressant, car c'est justement cette variable qui est ressortie comme étant la plus significative dans un précédent travail de Master (Barbezat, 2016) qui visait à automatiser le test TUG au travers de la Kinect. Dans notre cas, le seul point négatif réside dans le fait que cette variable ne permet pas de faire la différence entre les personnes âgées moyennement ou pas actives. Malgré cela, la Kinect nous a permis de découvrir que la vitesse de marche est plus efficace que le temps pour l'évaluation de la forme physique des personnes âgées. À l'avenir, il serait peut-être plus judicieux d'utiliser cette variable, bien que cela risque d'être difficile puisqu'il n'est pas évident pour les médecins de mesurer la vitesse de marche. D'où l'intérêt d'introduire des nouvelles technologies telles que la Kinect dans le domaine clinique.

Les différences significatives entre les groupes sur le temps total et la longueur moyenne des pas ne montrent pas de différence entre les groupes de jeunes et le groupe de personnes âgées actives. Ceci laisse à penser que le fait de conserver un mode de vie actif et de pratiquer des activités physiques régulières et assez nombreuses à partir d'un certain âge, permettrait de maintenir son niveau de marche. En revanche, les résultats n'ont globalement pas montré de différences entre les personnes âgées moyennement actives et celles ne l'étant pas. Cela voudrait dire que la pratique d'une activité physique moyenne n'est pas suffisante pour conserver un niveau de marche comparable à celle des jeunes.

Nous avons également pu observer que les données sur le temps nécessaire pour se lever et pour s'asseoir n'étaient pas utiles pour distinguer les différents groupes de sujets. Ceci nous permet de

voir que ce sont principalement les données liées à la marche qui sont intéressantes pour l'évaluation du test TUG (à l'exception de la cadence et de la durée des pas). La marche semble, de ce fait, être un moyen prometteur pour identifier la faiblesse d'une personne âgée.

En revanche, aucune des variables ne permettait d'isoler complètement le groupe des personnes âgées non-actives des autres groupes. Nous avons surtout pu observer des différences entre les jeunes et les personnes âgées.

7.2. Marche

Comme nous avons pu le voir dans les résultats, le test de marche ne fournit que peu d'informations. Cela semble surprenant puisque beaucoup de variables dans l'analyse de la marche sont les mêmes que celles utilisées lors du test TUG. Celui-ci avait permis d'obtenir beaucoup de résultats significatifs et de distinguer plus ou moins les groupes de sujets, ce qui n'est pas le cas de la marche. Tout au mieux, la variable sur la vitesse moyenne de marche a permis de différencier les personnes âgées non-actives des trois groupes de jeunes mais pas des deux autres groupes de personnes âgées.

Ces résultats décevants pourraient hypothétiquement être expliqués par le fait que les sujets se doutaient de la nature de l'analyse lors de la marche. Les sujets n'avaient qu'une tâche à effectuer, celle de marcher le plus normalement possible devant la Kinect. Par conséquent, toute leur attention se portait sur leur façon de marcher. Or, ce n'était pas le cas lors du TUG, puisque ce test est composé de plusieurs tâches différentes. Les sujets devaient se lever, marcher, faire demi-tour et s'asseoir. Ils étaient donc incapables de savoir ce que nous analysions pour ce test. De plus, les sujets devaient se concentrer sur ce qu'il fallait faire plutôt que sur la qualité d'exécution. Cette situation est semblable aux exercices de double tâche où l'attention est souvent mise sur une tâche cognitive, ce qui empêche d'effectuer la tâche motrice consciemment. Les sujets âgés se sont donc appliqués à bien marcher pour les quelques minutes que le test de marche durait, ce qui ne reflète pas leur réelle capacité de marche. Même les sujets jeunes, qui n'ont a priori pas de soucis pour la marche, ont admis qu'il leur était difficile d'effectuer cette tâche normalement, car ils prenaient tout d'un coup conscience de leur marche, ce qui la modifiait.

Un autre paramètre qui peut modifier la marche d'une personne est le fait de marcher à pieds nus. En effet, beaucoup de personnes, surtout parmi les personnes âgées, n'ont pas l'habitude de marcher sans chaussures. De ce fait, cette contrainte a peut-être aussi contribué à une marche non naturelle.

Ce que nous pouvons retenir de ce test, c'est qu'un simple test de marche n'est pas optimal pour évaluer la forme physique des personnes âgées. Il serait bon de cacher l'analyse de la marche au

travers d'autres exercices, afin que la personne ne se rende pas compte qu'elle est évaluée sur cet item-là. Ainsi, les données récoltées sur la marche ne seraient pas faussées et permettraient certainement de différencier les personnes âgées actives des non-actives, comme nous l'avons vu pour le test TUG.

7.3. Équilibre statique

Le test d'équilibre statique, avec son grand nombre d'exercices et de variables, a apporté beaucoup d'informations dont quelques modèles de distinction assez complets.

Pour la détection de l'inactivité chez les personnes âgées, les meilleurs exercices sont l'exercice 4 qui consistait à maintenir l'équilibre les pieds joints et les yeux fermés en observant la vitesse moyenne et médiane du déplacement du centre de masse. De même que l'exercice 9 lors duquel les sujets devaient maintenir leur équilibre sur l'Airex les yeux fermés en utilisant les variables de la position du centre de masse et de la tête. Il est intéressant de noter que ces deux exercices sont les seuls parmi la totalité des exercices à être doublement handicapants pour les sujets. En effet, les personnes sont privées de leur système visuel tout comme d'un appui stable, et doivent en conséquence davantage solliciter leurs systèmes proprioceptif et vestibulaire. Le manque d'informations visuelles et la base d'appui au sol modifiée semble réunir les conditions parfaites pour identifier l'inactivité des personnes âgées. Cela est certainement dû au fait que ces personnes ne sont pas capables de gérer autant de contraintes, contrairement à des personnes qui maintiennent une activité physique régulière. Lors des exercices où un seul handicap était présent (par exemple les pieds à largeur des hanches avec les yeux fermés (ex. 2) ou les pieds serrés avec les yeux ouverts (ex.3)) les personnes inactives ne se différenciaient pas des autres groupes de personnes âgées. Cela démontre que les personnes inactives, tout comme les personnes actives, disposent d'un système de compensation mais que celui-ci ne s'avère plus autant efficace en diminuant le niveau d'activité physique. Sans doute qu'en vieillissant et à force de rester inactif, le corps et ces systèmes perdent leur capacité d'adaptation. En revanche, en gardant une activité physique régulière, même modérée, cette capacité d'adaptation se détériorerait moins.

Si d'autres résultats intéressants ne permettaient pas d'identifier le niveau d'activité, ils s'avéraient pertinents pour la différenciation des jeunes et des personnes âgées. En particulier l'équilibre en position tandem (ex. 6) puisque les différences significatives étaient visibles entre les deux générations à travers pratiquement toutes les variables. Il est possible d'arriver aux mêmes résultats en employant l'exercice 8 sur l'Airex avec les yeux ouverts mais uniquement par les variables sur la vitesse moyenne et la médiane du déplacement du centre de masse. Une observation surprenante que nous avons pu faire est que le test d'équilibre sur une jambe (ex. 5), serait moins performant

que l'équilibre en position tandem pour discriminer les jeunes des personnes âgées. Ce résultat est intéressant dans la mesure où l'équilibre sur une jambe est un test clinique régulièrement utilisé. Nous avons vu que le tandem est surtout utile pour différencier les personnes âgées des jeunes, et non pour identifier les personnes âgées non-actives, alors que l'équilibre sur une jambe ne permet même pas de faire cette distinction. Notre hypothèse pour expliquer ce résultat, serait que l'équilibre sur une jambe est un exercice plus connu et plus souvent entraîné, notamment lors de cours de gymnastique pour seniors. Par contre, la position tandem est une position inconnue qui n'est jamais réalisée, encore moins entraînée. Ceci expliquerait pourquoi tous les groupes de personnes âgées avaient plus de peine à maintenir l'équilibre en tandem, puisque ils ont une capacité d'équilibre qui se détériore, mais en plus ils ne pouvaient pas compenser cette faiblesse par un entraînement régulier ultérieur. Peut-être faudrait-il utiliser le tandem comme test plutôt que l'équilibre sur une jambe, car cela permettrait d'évaluer la capacité physique réelle de la personne, n'étant ainsi pas influencée par un facteur lié à l'entraînement. Les mauvais résultats dans ces deux exercices sont peut-être dus au fait que les exercices d'équilibre statique ont été effectués à côté d'un mur. Ce qui fait que beaucoup de sujets « trichaient » et s'aidaient du mur pour maintenir l'équilibre, en particulier pour l'équilibre sur une jambe mais aussi pour l'exercice en tandem. Bien que nous leur demandions de ne pas se tenir au mur et de poser le pied lorsqu'ils perdaient l'équilibre, beaucoup avaient le réflexe de se rattraper au mur et non pas de poser le pied. Il est donc possible que ces données aient été faussées.

Nous avons également pu remarquer qu'en général, ce sont principalement les variables quantifiant le déplacement du centre de masse qui se montrent les plus intéressantes pour l'évaluation de l'équilibre. Cette information est d'autant plus importante que Hewson et al. (2010) avaient réussi à prouver qu'il était possible de distinguer les chuteurs des non-chuteurs en comparant la vitesse de déplacement du centre de pression (comparable au centre de masse) lors d'un exercice d'équilibre statique ressemblant à notre exercice 1. De plus, ils ont également pu observer une différence significative entre le groupe contrôle (sujets jeunes) et chacun des deux groupes de personnes âgées. Nous avons également pu observer ces différences grâce à la Kinect, mais principalement entre les jeunes et le groupe de personnes âgées non-actives. Notons quand-même l'importance de la position de la tête et du centre de masse pour l'exercice 9 (sur l'Airex avec les yeux fermés) pour la distinction du manque d'activité chez les personnes âgées. En revanche, les données sur la dispersion du corps (« LambdaBig/Small ») n'apportent pas d'élément pertinent pour notre recherche.

Certains exercices n'ont pas montré de résultats significatifs intéressants pour notre étude, tel que les exercices 1, 2 et 3. L'explication la plus logique est que ces exercices sont trop simples pour distinguer l'équilibre entre les six groupes.

En conclusion, nous pouvons retenir que la Kinect apporte des données objectives permettant de détecter l'inactivité chez les personnes âgées au travers de test d'équilibre statique en choisissant les exercices et les variables adéquats.

7.4. Général

Tous les tests étant principalement conçus pour évaluer des personnes âgées, l'absence de différences significatives entre les différents groupes de jeunes peut être expliquée par la facilité des exercices proposés. Par contre, nous avons remarqué qu'en aucun cas le groupe de personnes âgées moyennement actives se différenciait du groupe de personnes âgées actives. Ceci nous laisse penser que le questionnaire d'activité physique pour les personnes âgées (le QAPPA) a ses limites pour différencier les personnes âgées. En outre, nous avons observé que ce questionnaire pouvait s'avérer assez subjectif. En effet, les questions et données du questionnaire sont claires et précises ; cependant, nous avons vu que les personnes avaient toutes une vision et une interprétation différente, et surtout, que chacun avait une perception subjective de son niveau d'activité physique. Ainsi, certaines personnes, souvent les moins actives, comptabilisaient leurs déplacements quotidiens à pied tandis que pour d'autres, plus actives, les déplacements du quotidien n'étaient pas pris en compte mais uniquement les activités de type sportif comme une heure de gym ou de randonnée en montagne. Un autre cas qui est apparu de temps à autre, est que l'effort est perçu différemment selon la forme physique de la personne. Une personne âgée non active percevait 30 minutes de marche comme un effort physique intense alors que pour une personne active 30 minutes de marche était plutôt rangé dans les activités physiques modérées. D'autres personnes âgées notaient qu'elles faisaient deux heures de ménage intensif plusieurs fois par semaine ou comptaient quand elles gardaient leurs petits-enfants comme activité élevée ce qui les mettaient dans le même groupe que les personnes qui faisaient du tennis, du vélo ou plusieurs heures de randonnée en montagne toutes les semaines. Ce ne sont que des exemples, mais beaucoup de cas semblables ont été vus lors de l'analyse de ces questionnaires. C'est pourquoi, bien que nous ayons essayé de guider au mieux les personnes afin que le remplissage du questionnaire se fasse de la même façon pour tous, les groupes peuvent contenir des erreurs et les personnes être mal placées dans les groupes. Ceci pourrait expliquer pourquoi il n'était pas possible de différencier le groupe des personnes âgées moyennement actives des actives.

Le questionnaire sur les chutes n'était pas parfait non plus. Nous avons pu remarquer que les personnes âgées avaient souvent du mal à admettre qu'elles avaient chuté ou qu'elles ne comptaient pas leur accident comme chute car elle était due à un trottoir ou par exemple à un sol glissant. Il était aussi difficile de différencier les vrais chuteurs, qui ont chuté à cause d'une faiblesse, des per-

sonnes qui ont chuté par maladresse, comme une faiblesse peut se cacher derrière une impression de maladresse. Au final, le nombre de chuteurs dans notre échantillon n'était pas assez élevé. Il nous était donc impossible d'avoir des données suffisantes pour créer un groupe de chuteurs et tenter de voir une différence avec les non-chuteurs à travers la marche ou l'équilibre. Il serait donc intéressant dans le futur de trouver suffisamment de sujets chuteurs, afin de créer un groupe pouvant être comparé aux sujets non-chuteurs. Ainsi, nous pourrions essayer de trouver un moyen de différencier les chuteurs des non-chuteurs à travers leur équilibre ou leur marche, comme nous l'avons fait pour identifier l'inactivité.

Une prochaine étape importante serait d'analyser les données que nous avons obtenues par la plateforme de force et de les comparer aux résultats obtenus grâce au système Kinect. Nous pourrions ainsi voir l'exactitude de la Kinect face à l'un des outils traditionnels que constitue la plateforme de force. De plus, arriverions-nous aux mêmes conclusions à travers les paramètres récoltés par la plateforme de force ?

Pour aller encore plus loin, ce serait judicieux d'essayer de créer un parallèle entre les tests cliniques et les tests effectués avec la Kinect. En clinique, les évaluateurs utilisent une feuille de critères pour évaluer à la main, par exemple le « Berg Balance Scale » (Annexe 6). Ceux-ci demandent, par exemple, de tenir plus de 15 secondes sur une jambe pour réussir l'exercice. Or, nous avons demandé dans notre étude de tenir le plus longtemps possible en l'espace d'une minute (sachant qu'au final seules 40 secondes étaient analysées, les dix premières et les dix dernières secondes n'étant souvent pas intéressantes, les sujets prenant un peu de temps pour lever la jambe après le « go »). Il serait donc intéressant de comparer les résultats qu'un évaluateur obtiendrait avec ces analyses écrites et les résultats obtenus simplement par la Kinect, pour voir si les deux poseraient le même diagnostic. De plus, pourquoi pas, dans une prochaine étude adapter les temps à ceux des tests cliniques et observer si nous arriverions aux mêmes résultats que lors de cette étude ou pas.

Finalement, il serait aussi d'un grand intérêt dans un prochain travail de vérifier si les exercices plus complexes possédant un double handicap sont réellement plus efficaces pour identifier l'inactivité chez les personnes âgées. Il faudrait ainsi refaire des expériences semblables, mais en imaginant plus d'exercices comparables aux exercices 4 et 9. Ceci nous permettrait peut-être de soutenir notre théorie et dans le futur de créer un nouveau test pour évaluer les personnes âgées.

8. Conclusion

Le système Kinect s'est montré très performant dans l'analyse du test TUG et du test d'équilibre, offrant une multitude de variables à analyser. Le test TUG est reconnu pour détecter les personnes à risque de chute. Cependant, ce n'était pas le test le plus adapté pour distinguer les groupes selon leur niveau d'activité physique. En revanche, certains exercices d'équilibre statique étaient tout à fait capables de souligner la différence entre les personnes âgées non-actives et les autres sujets en utilisant la variable adéquate. Ceci correspond à l'exercice avec les pieds joints, les yeux fermés, en analysant la vitesse de déplacement du centre de masse. Le même modèle d'identification était visible grâce à l'exercice sur l'Airex avec les yeux fermés, en analysant la position du centre de masse et de la tête. Le point commun entre les deux était leur double handicap (yeux fermés et base au sol instable). Les personnes âgées non-actives ne seraient pas capables de trouver une solution de compensation motrice pour garder leur équilibre avec autant de contraintes. Ainsi, il serait intéressant d'imaginer un test d'équilibre avec des exercices plus complexes qui handicapent doublement les sujets pour voir si cette théorie se justifie. Cela permettrait de repenser les tests d'équilibre pour déceler l'inactivité chez les personnes âgées, laquelle pourrait contribuer à un risque de chute. En revanche, utiliser uniquement un test de marche pour évaluer le niveau d'activité physique d'une personne âgée ne semble pas être un moyen très fiable. Aucun résultat significatif ne nous a permis de différencier correctement les groupes, les personnes ayant souvent une marche modifiée par le fait qu'elles le font consciemment. Nous avons tout de même vu que la marche possédait des paramètres permettant une distinction entre les groupes mais cela au travers du test TUG. En effet, en observant la vitesse de marche lors du test TUG, un modèle permettant de différencier presque tous les groupes était visible. Nous en concluons qu'il est important d'intégrer la marche parmi d'autres tâches, afin que l'attention du sujet soit portée ailleurs que sur la marche. Celle-ci resterait naturelle et permettrait ainsi d'obtenir des données correspondant aux capacités physiques réelles des sujets.

En conclusion, cette étude nous permet d'affirmer que la Kinect est un système suffisant pour détecter l'inactivité chez les personnes âgées qui est un des facteurs de fragilité pouvant mener à un risque de chute. De plus, nous avons découvert que l'équilibre serait le meilleur indicateur d'inactivité puisqu'il n'est pas possible de fausser les résultats, ce qui était le cas avec la marche seule, les personnes faisant un effort pour bien marcher.

Bibliographie

- Barbezat, N. (2016). *Automatisation du test clinique « Timed Up and Go » mesurant la mobilité des personnes âgées*. (Travail de Master, Université de Fribourg, Suisse). Accès à l'adresse http://doc.rero.ch/record/277556/files/Masterarbeit_Barbezat_Naomi.pdf
- Berg, K., Wood-Dauphine, S., Williams, J. i., & Gayton, D. (1989). Measuring balance in the elderly: preliminary development of an instrument. *Physiotherapy Canada*, 41(6), 304-311. <https://doi.org/10.3138/ptc.41.6.304>
- Chan, K. M. (2016). Balance in senior athletes. In *Encyclopedia of international sports studies* (Vol. 1, p. 138-139). London and New York: Routledge.
- Clark, R. A., Pua, Y.-H., Fortin, K., Ritchie, C., Webster, K. E., Denehy, L., & Bryant, A. L. (2012). Validity of the Microsoft Kinect for assessment of postural control. *Gait & Posture*, 36(3), 372-377. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.03.033>
- 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>
- Deandrea, S., Lucenteforte, E., Bravi, F., Foschi, R., La Vecchia, C., & Negri, E. (2010). Review Article: Risk Factors for Falls in Community-dwelling Older People: « A Systematic Review and Meta-analysis ». *Epidemiology*, 21(5), 658-668.
- Downs, S. (2015). The Berg Balance Scale. *Journal of Physiotherapy*, 61(1), 46. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2014.10.002>
- Dubois, A., & Charpillet, F. (2013). Detecting and preventing falls with depth camera, tracking the body center. AAATE - 12th European Association for the Advancement of Assistive Technology in Europe - 2013. Consulté à l'adresse <https://hal.inria.fr/hal-00914299/document>
- Dutta, A., Chugh, S., Banerjee, A., & Dutta, A. (2014). Point-of-care-testing of standing posture with Wii balance board and microsoft kinect during transcranial direct current stimulation:

A feasibility study. *NeuroRehabilitation*, 34(4), 789-798. <https://doi.org/10.3233/NRE-141077>

Ejupi, A., Brodie, M., Gschwind, Y. J., Lord, S. R., Zagler, W. L., & Delbaere, K. (2016). 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>

Fried, L. P., Tangen, C. M., Walston, J., Newman, A. B., Hirsch, C., Gottdiener, J., ... McBurnie, M. A. (2001). Frailty in Older Adults Evidence for a Phenotype. *The Journals of Gerontology: Series A*, 56(3), M146-M157. <https://doi.org/10.1093/gerona/56.3.M146>

Gadkaree, S. K., Sun, D. Q., Li, C., Lin, F. R., Ferrucci, L., Simonsick, E. M., & Agrawal, Y. (2016). Does Sensory Function Decline Independently or Concomitantly with Age? Data from the Baltimore Longitudinal Study of Aging. *Journal of Aging Research*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/1865038>

González, A., Hayashibe, M., & Fraisse, P. (2013). Subject-Specific Center of Mass Estimation for In-Home Rehabilitation – Kinect-Wii Board vs. Vicon-Force Plate. In J. L. Pons, D. Torricelli, & M. Pajaro (Éd.), *Converging Clinical and Engineering Research on Neurorehabilitation* (Vol. 1, p. 705-709). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Consulté à l'adresse http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-34546-3_114

Haag, H., Mess, F., & Haag, G. (2012). *Dictionary, Sport-Physical Education-Sport Science* (Vol. 9). Berlin: Logos Verlag Berlin.

Hassani, A., Kubicki, A., Brost, V., Mourey, F., & Yang, F. (2015). Kinematic analysis of motor strategies in frail aged adults during the Timed Up and Go: how to spot the motor frailty? *Clinical Interventions in Aging*, 10, 505-513. <https://doi.org/10.2147/CIA.S74755>

Hewson, D. J., Singh, N. K., Snoussi, H., & Duchene, J. (2010). Classification of elderly as fallers and non-fallers using Centre of Pressure velocity. *Conference Proceedings:.. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engi-*

neering in Medicine and Biology Society. Annual Conference, 2010, 3678-3681.

<https://doi.org/10.1109/IEMBS.2010.5627649>

Horak, F. B., Wrisley, D. M., & Frank, J. (2009). The Balance Evaluation Systems Test (BESTest) to differentiate balance deficits. *Physical Therapy*, 89(5), 484-498.

<https://doi.org/10.2522/ptj.20080071>

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)

Konrad, H. R., Girardi, M., & Helfert, R. (1999). Balance and Aging. *The Laryngoscope*, 109(9), 1454-1460. <https://doi.org/10.1097/00005537-199909000-00019>

Köpke, S., & Meyer, G. (2006). The Tinetti test. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 39(4), 288-291. <https://doi.org/10.1007/s00391-006-0398-y>

Larousse, É. (s. d.). Encyclopédie Larousse en ligne - équilibre.

<http://www.larousse.fr/encyclopedia/divers/équilibre/187242>

Mancini, M., & Horak, F. B. (2010). The relevance of clinical balance assessment tools to differentiate balance deficits. *European journal of physical and rehabilitation medicine*, 46(2), 239-248.

Shumway-Cook, A., & Horak, F. B. (1986). Assessing the influence of sensory interaction on balance. Suggestion from the field. *Physical Therapy*, 66(10), 1548-1550.

Society, A. G., Society, G., Of, A. A., & On Falls Prevention, O. S. P. (2001). Guideline for the Prevention of Falls in Older Persons. *Journal of the American Geriatrics Society*, 49(5), 664-672. <https://doi.org/10.1046/j.1532-5415.2001.49115.x>

Tinetti, M. E. (1986). Performance-Oriented Assessment of Mobility Problems in Elderly Patients. *Journal of the American Geriatrics Society*, 34(2), 119-126. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1986.tb05480.x>

- Webster, D., & Celik, O. (2014). Systematic review of Kinect applications in elderly care and stroke rehabilitation. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 11, 108.
<https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-108>
- Yang, Y., Pu, F., Li, Y., Li, S., Fan, Y., & Li, D. (2014). Reliability and Validity of Kinect RGB-D Sensor for Assessing Standing Balance. *IEEE Sensors Journal*, 14(5), 1633-1638.
<https://doi.org/10.1109/JSEN.2013.2296509>
- Yelnik, A., & Bonan, I. (2008). Clinical tools for assessing balance disorders. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 38(6), 439-445.
<https://doi.org/10.1016/j.neucli.2008.09.008>
- Yeung, L. F., Cheng, K. C., Fong, C. H., Lee, W. C. C., & Tong, K.-Y. (2014). Evaluation of the Microsoft Kinect as a clinical assessment tool of body sway. *Gait & Posture*, 40(4), 532-538. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2014.06.012>
- Zalewski, C. K. (2015). Aging of the Human Vestibular System. *Seminars in Hearing*, 36(3), 175-196. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1555120>
- Zhang, Z. (2012). Microsoft Kinect Sensor and Its Effect. *IEEE MultiMedia*, 19(2), 4-10.
<https://doi.org/10.1109/MMUL.2012.24>

Annexes

Annexe 1 Questionnaire d'activité physique QAPPA

Nous nous intéressons aux différents types d'activité physique 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 |___|

- 1) Nom : _____
- 2) Prénom : _____
- 3) Vivez-vous seul(e) ? oui ☐ non ☐
- 4) Utilisez-vous une aide technique habituellement lors de vos déplacements ? oui ☐ non ☐
- Si oui : canne ☐ béquille ☐ déambulateur ☐
- 5) Vous êtes-vous retrouvé(e) au sol, avec conséquences physiques ? oui ☐ non ☐
- 6) Vous êtes-vous retrouvé(e) au sol, sans conséquences physiques ? oui ☐ non ☐
- 7) Avez-vous fait un malaise à votre domicile ? oui ☐ non ☐
- 8) Avez-vous déjà chuté à votre domicile depuis que vous avez 65 ans ? oui ☐ non ☐

Si vous avez répondu oui à une des 4 dernières questions, continuez le questionnaire sinon vous pouvez vous arrêter :

- 9) Combien de fois vous êtes-vous retrouvé(e) au sol ? _____
- 10) Date et moment de(s) la chute(s) : _____
- 11) Lieu de(s) la chute(s) : _____
- 12) Avez-vous été emmené(e) à l'hôpital ? oui ☐ non ☐
- 13) Avez-vous perdu connaissance ? oui ☐ non ☐
- 14) La chute a-t-elle causé des traumatismes physiques ? oui ☐ non ☐
- Si oui, les décrire : _____
- 15) Avez-vous pu vous relever seul(e) ? oui ☐ non ☐
- 16) Combien de temps êtes-vous resté(e) au sol sans pouvoir vous relever ? _____
- 17) Avez-vous pu vous tenir debout sans aide après la chute ? oui ☐ non ☐
- 18) Si oui au 4) : l'aide technique était-elle utilisée au moment de la chute ? oui ☐ non ☐
- 19) Quelle était l'action en cours ?

En se levant du lit ou en se couchant ☐

En se levant d'une chaise ou d'un fauteuil ou en s'asseyant ☐

En se déplaçant pour des activités diverses ☐

Pendant la toilette ☐

En se rendant au WC ou en revenant des toilettes ☐

Au cours de l'habillage ou du déshabillage ☐

A l'ouverture ou à la fermeture d'une porte ☐

Autre : _____

20) Un obstacle peut-il avoir été responsable de la chute ? oui ☐ non ☐

Si oui lequel : _____

21) Le sol était-il normal ☐ glissant ☐ collant ☐

22) L'éclairage était-il suffisant ? oui ☐ non ☐

23) Avez-vous peur de faire une nouvelle chute ? oui ☐ non ☐

Si oui :

Est-ce que cette peur vous contraint dans vos activités ? oui ☐ non ☐

Pensez-vous à cette peur lorsque vous êtes à votre domicile ? jamais ☐ parfois ☐ souvent ☐

Annexe 3

Résultats du test TUG

TUG	TpsTotTUG					TpsLeverTUG					VitLeverTUG					TpsAssisTUG					VitAssisTUG					MoyLongTUG					SdLongTUG					MoyDurTUG				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5					
2																X																								
3																																								
4	X	X	X									X					X					X	X			X	X	X						X	X	X				
5	X	X	X									X	X									X	X			X	X	X								X				
6		X	X	X								X										X	X				X	X	X							X				

TUG	SDDurTUG					MoyCadTUG					SDCadTUG					VitMoyTUG					TpsDemiTUG				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
2																									
3							T																		
4	X	X	X					X			X	X				X	X	X			X	X	X		
5								X								X	X	X				X	X		
6								X								X	X	X	X			X	X		

Annexe 4

Résultats du test de marche

Marche	MoyLong Marche					MoyDurMarche					SdMoyLong-Marche					SdMoyDurMarche					MoyCadMarche					SdMoyCadMarche					MoyVitMarche				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
2																																			
3																																			
4		X	X																											X	X	X			
5		X	X						T																										
6																																			

Annexe 5 Résultats du test d'équilibre statique

MoyVitXZ	Ex1					Ex2					Ex3					Ex4					Ex5					Ex6					Ex8					Ex9						
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5							
2																																										
3																																										
4	X	X	X				X	X			X	X	X			X	X	X			X	X	X			X	X	X			X	X	X			X	X	X				
5				X															X			X				X	X	X			X	X	X			X	X	X				
6	X																		X			X	X	X			X	X	X			X	X	X				X	X	X		

MedVitXZ	Ex1					Ex2					Ex3					Ex4					Ex5					Ex6					Ex8					Ex9				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5					
2																																								
3																																								
4	X	X	X			X	X	X			X	X	X			X	X	X			X	X	X			X	X	X			X	X	X			X	X	X		
5												X							X			X	X			X	X	X			X	X	X			X	X	X		
6	X	X	X									X							X			X	X	X			X	X	X			X	X	X				X	X	X

MaxVitXZ	Ex1					Ex2					Ex3					Ex4					Ex5					Ex6					Ex8					Ex9				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5					
2																																								
3																																								
4											X	X					X	X				X	X	X			X	X	X			X	X	X						
5																								X		X	X	X				X	X			X	X	X		
6														X								X	X			X	X	X				X				X				

PosXZ	Ex1					Ex2					Ex3					Ex4					Ex5					Ex6					Ex8					Ex9				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
2																																								
3																																								
4	X	X	X				X									X	X	X			X	X	X			X	X	X			X	X	X			X	X	X		
5																			X						X	X	X			X	X	X				X		X		
6		X																			X				X	X	X				X	X				X		X		

PosTete	Ex1					Ex2					Ex3					Ex4					Ex5					Ex6					Ex8					Ex9				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5					
2																																								
3																																								
4																			X			X	X	X							X	X	X							
5						X	X									X							X											X						
6		X														X							X											X						

MoyLamb- daBig	Ex1					Ex2					Ex3					Ex4					Ex5					Ex6					Ex8					Ex9				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5					
2																																								
3																																								
4		X						X			X	X	X			X	X	X			X	X	X			X	X	X					X	X	X					
5																									X	X	X													
6	X	X						X				X	X					X						X	X	X				X	X				X	X				

MedLamb- daBig	Ex1					Ex2					Ex3					Ex4					Ex5					Ex6					Ex8					Ex9				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5					
2																																								
3																																								
4			X					X					X	X				X	X			X	X	X			X	X	X					X	X	X				
5																										X	X	X												
6		X	X					X					X	X						X						X	X	X				X	X							

MaxLamb- daBig	Ex1					Ex2					Ex3					Ex4					Ex5					Ex6					Ex8					Ex9				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5					
2																																								
3																																								
4	X	X	X				X	X			X	X	X			X	X	X			X	X	X				X				X	X	X							
5																		X	X							X	X	X						X	X					
6			X								X	X	X								X	X				X	X	X			X	X								

MoyLamb- daBigSmall	Ex1					Ex2					Ex3					Ex4					Ex5					Ex6					Ex8					Ex9				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5					
2																																								
3																X					X																			
4						X																	X																	
5	X															X																								
6																																								

MedLamb- daBigSmall	Ex1					Ex2					Ex3					Ex4					Ex5					Ex6					Ex8					Ex9				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
2																																								
3																						X																		
4						X																	X																	
5																X																								
6																																								

MaxLamb- daBigSmall	Ex1					Ex2					Ex3					Ex4					Ex5					Ex6					Ex8					Ex9				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
2																																								
3																																								
4						X																X	X			X	X	X												
5																X									X	X	X													
6																																								

Annexe 6

Critères d'évaluation "Berg Balance Scale"

Equilibre statique - COP									
Condition		Berg Balance Scale							
Ordre de passation									
1) 2 pieds - Yeux ouverts 2x2min		(4) Capable de se tenir debout de manière sécuritaire pendant 2 minute (3) Capable de se tenir debout avec de l'aide pendant 2 minute (2) Capable de se tenir debout pendant 30s sans support (1) Capable de se tenir debout pendant 30s sans support après plusieurs essais (0) Incapable de se tenir debout pendant 30s sans support							
2) 2 pieds - Yeux fermés 2x60s		(4) Capable de se tenir debout de manière sécuritaire pendant 10s (3) Capable de se tenir debout de manière sécuritaire pendant 10s avec de l'aide (2) Capable de se tenir debout de manière 3s (1) Incapable de garder les yeux fermé pendant 3s, mais reste sauf (0) Besoin d'aide pour ne pas tomber							
3) 2 pieds joints - Yeux ouverts 2x60s		(4) Capable de se tenir debout les pieds joints de manière indépendant-sauf pendant 1min (3) Capable de se tenir debout les pieds joints de manière indépendant-sauf pendant 1min avec de l'aide (2) Capable de se tenir debout les pieds joints de manière indépendant, mais incapable de tenir pendant 30s (1) Besoin d'aide pour tenir la position, mais capable de tenir pendant 15s (0) Besoin d'aide pour tenir la position, et incapable de tenir pendant 15s							
4) 2 pieds joints - Yeux fermé 2x60s									
5) Tandem - Yeux ouverts 2x60s Tjrs pieds droit derrière		(4) Capable de se tenir en tandem de manière indépendant pendant 30s (3) Capable de mettre un pied devant l'autre de manière indépendant et de tenir 30s (2) Capable de faire un petit pas en avant de manière indépendant et tenir 30s (1) Besoin d'aide pour tenir la position, mais capable de tenir pendant 15s (0) Incapable d'essayer et besoin d'aide pour ne pas tomber							
6) 1 pied - Yeux ouverts 2x60s Pied droit		(4) Capable de lever 1 jambe de manière indépendant et de tenir > 10s (3) Capable de lever 1 jambe de manière indépendant et de tenir 5-10s (2) Capable de lever 1 jambe de manière indépendant et de tenir ≥ 3s (1) Essaie de monter la jambes, mais incapable de tenir 3, mais reste capable de rester debout de manière indépendant (0) Incapable d'essayer et besoin d'aide pour ne pas tomber							
7) Tourner la tête gauche-droite 2x									
8) 2 pieds Airex - Yeux ouverts 2x60s									
9) 2 pieds Airex - Yeux fermés 2x60s									

Déclaration personnelle

Déclaration sur l'honneur :

"Par ma signature, j'atteste avoir rédigé personnellement ce travail écrit et n'avoir utilisé que les sources et moyens autorisés, et mentionné comme telles les citations et les paraphrases."

Fribourg, le 15 mai 2017

Laura Hauser

Déclaration du droit d'auteur :

"J'ai pris connaissance du fait que le présent travail est partie intégrante de mes études, que l'ensemble des droits d'auteur (comprenant notamment le droit de publication, les droits d'usage gratuit ou commercial) est cédé à l'Université de Fribourg, que l'Université ne peut disposer du droit de cession à des tiers sans accord préalable, et que, dans le cadre de ce régime, je ne peux faire valoir aucun droit pécuniaire."

Fribourg, le 15 mai 2017

Laura Hauser