

Rapport sur le mémoire de thèse présenté par :

Romain TISSERAND

Intitulé :

«Mécanismes biomécaniques et cognitifs du rattrapage de l'équilibre : application à une population âgée autonome»

en vue d'obtenir le grade de :

Docteur de L'Université Claude Bernard Lyon 1, Ecole Doctorale Mega

Le travail de thèse présenté par Romain TISSERAND a été réalisé sous la direction de Laurence CHEZE et Thomas ROBERT. Ce travail s'intéresse à l'identification et caractérisation multifactorielle des facteurs et mécanismes associés à la chute de la personne âgées. Ce travail répond à la fois à un besoin scientifique (mieux comprendre les mécanismes de rattrapage de l'équilibre) et clinique (détecter les personnes à risque de chute).

Le mémoire est rédigé de manière claire et concise. Le mémoire est divisé en six parties. La première partie est une introduction qui présente les concepts liés à la chute et à l'équilibre. La deuxième partie présente la partie méthodologique commune à l'ensemble du travail de thèse (population, protocole expérimental). La troisième partie est une proposition et validation d'une méthode pour analyser le déplacement du centre de masse. La quatrième partie présente les principaux résultats de ce travail. Elle est divisée en deux sous parties. La première sous partie est une analyse des résultats des tests « classiques » pour détecter les personnes à risque de chute. La deuxième sous-partie est une analyse des résultats de tests d'un pas volontaire et d'un pas protectif. La cinquième partie est une analyse orientée vers la clinique pour estimer le risque de chute d'une personne âgée. La sixième partie est une conclusion générale et présentation des perspectives.

Partie 1 - Introduction générale : la chute et l'équilibre

L'introduction présente les concepts liés à la chute et l'équilibre. Elle est très bien rédigée, complète et claire.

Elle fait ressortir notamment que la problématique de la chute des personnes âgées :

- 1) Est un problème de société majeure dont les conséquences en termes de coûts sont colossales,
- 2) Est un problème multifactoriel
- 3) Est fortement lié à l'âge
- 4) Nécessite une prise en charge
- 5) Nécessite d'identifier les personnes à risque de chute

La deuxième section de l'introduction définit les concepts de chute, équilibre, rattrapage comprenant la notion de centre de masse, centre de pression, Ajustements Posturaux Compensatoires, Ajustements Posturaux Anticipés. Ces concepts sont très bien décrits et documentés. Cette section se termine par une revue de la littérature sur les tests pouvant être utilisés pour détecter et prédire le risque de chute à l'aide des tests cliniques classiques. Cette

section est largement basée sur le travail de Horak (2006) qui propose d'évaluer les sous-systèmes de l'équilibre. Bien qu'il soit difficile d'être exhaustif dans le domaine d'investigation de la chute, je suis surpris qu'à aucun moment que la notion de double tâche ne soit pas abordée alors que la littérature est abondante sur le sujet et semble montrer un fort pouvoir discriminant entre « chuteurs » et « non chuteurs ».

La dernière section de la cette partie présente l'organisation du travail de thèse en identifiant les verrous scientifiques et en définissant clairement les objectifs de ce travail.

Partie 2 - Un protocole de mesure, deux populations, trois groupes de sujets

Après une brève introduction, une première section présente le protocole d'évaluation multifactoriel comprenant des évaluations psycho-cognitives, des tests cliniques et biomécaniques. Les différentes tâches du protocole sont très bien décrites et justifiées. Il faut souligner l'originalité du protocole et le montage expérimental conséquent. Cependant, et bien que je comprends qu'il soit difficile d'être exhaustif, je trouve dommage (comme pour la revue de la littérature) qu'aucune tâche (comme la marche) en condition de double tâche n'ait été prévue dans le protocole.

La seconde section présente la population analysée : 59 personnes, dont 47 personnes âgées comprenant 21 « chuteurs ». Même si le collectif peut paraître relativement faible pour la problématique du risque de chute, il faut souligner le travail très important de collecte et d'analyse des données en lien avec un protocole expérimental conséquent et original.

La principale limite concernant la population analysée est la détermination des « chuteurs » qui est faite rétrospectivement. Cette détermination fait appel aux capacités de mémoire des participants qui peuvent altérées et demande une compréhension précise de la définition de chute donnée par l'évaluateur. Néanmoins, cette limite se retrouve dans de nombreuses études s'intéressant à la chute.

Partie 3 - Apport méthodologique : proposition d'un « marker set » réduit pour l'analyse de l'équilibre

Cette partie, présentée sous forme d'un article scientifique, est une proposition d'une méthode et sa validation pour calculer le centre de masse dans le cadre de l'évaluation de l'équilibre via un nombre de capteurs réduit. La méthode proposée consiste à mettre uniquement des marqueurs au niveau des centres articulaires pour des membres inférieurs et supérieurs, plus 3 marqueurs au niveau du bassin. La tête et le tronc sont considérés comme un seul segment. La méthode est comparée à une méthode de référence (Dumas et al., 2007) et à une méthode à un seul capteur (Yang and Pai, 2014). La méthode proposée montre une bonne validité. Les résultats et leurs analyses sont très bien présentés et discutés. Peut-être que plusieurs maker-sets allant du plus minimaliste au plus complet auraient pu être évalués en même temps. Néanmoins, cette partie mérite d'être publiée et pourra être utile pour limiter le nombre de marqueurs pour les chercheurs et cliniciens voulant mesurer le déplacement du centre de gravité.

Par rapport à l'ensemble de travail de thèse, cette partie ressort comme un ajout partiellement intégré. On comprend le lien entre l'équilibre et le déplacement du centre de masse ; mais l'utilisation de ce travail méthodologique est limitée dans les parties suivantes. Elle n'est pas mentionnée dans la discussion ou la conclusion générale.

Partie 4a - Résultats : Analyse des tests psycho-cognitifs et d'équilibre classiques

La partie 4 est divisée deux sous parties. La première sous-partie présente les résultats des tests psycho-cognitifs et des tests d'équilibre classiques. La structure de la présentation des résultats est déconcertante au départ car elle est découpée par variable ou par type de variable analysé. On trouve ainsi pour chaque variable : une introduction, une méthode, des résultats et une

discussion. Cette structure rend la présentation des résultats très claire mais occasionne quelques répétitions dans les introductions et conclusions multiples. Pour chaque variable, les « chuteurs » sont comparés au non « chuteurs ».

La première variable analysée est l'activité physique qui a été estimée par questionnaire. Cette variable ne montre pas de différence significative entre « chuteurs » et « non chuteurs ». Il aurait peut-être été intéressant de quantifier l'activité physique des participants avec des capteurs inertiels (par exemple : accéléromètre porté pendant une semaine à la ceinture ou au poignet). Cette mesure relativement facile à mettre en place aurait levé la plupart des limitations reportées dans la discussion p111.

La deuxième variable présentée est la peur de tomber qui montre comme attendu une différence significative entre « chuteurs » et « non chuteurs ». Il aurait été intéressant d'aller un peu plus loin dans la caractérisation des participants qui ont peur de tomber et de s'intéresser au pourquoi. Par exemple, le temps entre l'événement de la chute et la passation du questionnaire, les conséquences de la chute, les circonstances de la chute sont autant d'éléments qui auraient pu être abordés pour mieux expliquer la peur de tomber des participants « chuteurs ».

La troisième analyse comprend deux tests : la BREF (évaluation des capacités cognitives) et le TMT (évaluation des fonctions exécutives). La BREF ne montre pas de différence significative. Concernant le TMT, uniquement la partie B a été prise en compte (il aurait certainement été intéressant de prendre en compte le ratio entre TMT A et TMT B). Le TMT B montre une différence significative entre « chuteurs » et « non chuteurs » uniquement pour les participants de plus de 75 ans (« chuteurs » plus lents que « non chuteurs »). Ce qui est surprenant ici, c'est l'introduction de la dichotomie entre deux groupes d'âges chez les participants âgés qui n'a pas été faite pour les autres variables (peur de tomber, BREF) et qui est utilisée par la suite. Une justification de cette dichotomie serait nécessaire.

La quatrième analyse s'intéresse au test proposé par Horak (2006) appelé BESTest. Il est composé de l'évaluation de 6 tâches pour faire ressortir les systèmes impliqués et potentiellement déficitaires dans l'équilibre. Le score global du BESTest est significatif entre « chuteurs » et « non chuteurs ». Parmi les tâches qui composent le BESTest, seule la tâche mettant en jeu des Ajustements Posturaux Anticipés est significative entre « chuteurs » et « non chuteurs ».

La cinquième analyse concerne l'évaluation statique de la posture sur plateforme de force en condition yeux fermées qui ne montre pas de différences significatives. Cette tâche est jugée dans ce travail comme trop facile et trop éloignée de la situation « d'équilibre réactif ».

La sixième analyse concerne la marche. Les variables retenues sont l'exposant maximal de Lyapunov (variabilité) et la vitesse de marche déterminées sur tapis roulant. Bien que je conçoive l'avantage expérimental d'utiliser un tapis roulant (harnais pour assurer la sécurité, imposition de la vitesse de marche, grand nombre de cycles), je pense qu'il serait préférable de faire l'évaluation dans des conditions plus écologiques sur sol plat pour éviter les biais d'adaptation au tapis roulant qui sont majeurs pour une population âgée. Concernant le choix des variables, il aurait certainement été judicieux d'analyser la variabilité de la marche également par des indices simples comme le coefficient de variabilité largement utilisé dans la littérature. L'exposant de Lyapunov montre une différence significative entre « chuteurs » et « non chuteurs » alors que la vitesse de marche non. Je pense que l'influence de l'utilisation du tapis roulant a pu fortement influencer le choix de la vitesse de marche spontanée. Ceci pourrait également expliquer certaines données qui semblent contradictoires : bonne forme physique mais vitesse de marche lente des participants.

Partie 4b - Résultats : Analyse des tâches de pas volontaire (CSRT) et de pas protectif

Cette partie constitue le cœur de ce travail de thèse. Elle présente les résultats des tâches du pas volontaire (faire un pas volontairement dans une direction donnée comme dans l'initiation de la marche) et du pas protectif (survenant après une perturbation imprévisible de l'équilibre). La première section présente les caractéristiques globales sur la tâche (nombre de pas pour pas protectif ; validité, hésitation et erreur pour le pas volontaire), puis des paramètres quantifiés communs (longueur du pas et distance parcourue par le centre de masse), ensuite les résultats sur le pas volontaire, et pour finir les résultats sur le pas protectif. Comme précédemment, chaque section est présentée avec la structure d'un article scientifique (introduction, méthode, résultats, discussion). Je tiens encore une fois à souligner la qualité du mémoire. Chaque concept est très bien introduit ; les résultats sont très bien présentés et discutés.

Cette section est suivie par une conclusion du chapitre (qui ne devrait pas avoir pour attribut générale) reprenant les résultats principaux. Après cette conclusion, un nouvel élément de discussion intitulé pour « Pour aller plus loin... » interroge sur « Pouvons-nous comparer les tâches de pas VOL et de pas PRO ? ». Même si son contenu est intéressant, cette section perturbe la structure du mémoire et aurait certainement plus sa place dans une partie de la discussion ou en annexe.

Partie 5 - Comment estimer le risque de chute d'une personne âgée autonome ?

Cette partie apporte une réponse clinique à l'estimation des paramètres à prendre en compte pour savoir si une personne est à risque de chute. Après une introduction et une définition des objectifs, les variables d'intérêt sont décrites. Puis leur valeur discriminante analysée à partir d'un modèle de régression logistique univariée entre « chuteurs » et « non chuteurs », puis cinq modèles de régression multivariés sont comparés. Basé sur les résultats de ces 5 modèles, un exemple de prédiction sur les participants ayant servi à la création du modèle est présenté. Cette section a un intérêt didactique pour évaluer l'influence du modèle mais il aurait été préférable d'utiliser uniquement des participants n'ayant pas participé à la création du modèle. Ensuite, une tentative de prédiction a été réalisée de manière prospective sur les participants ayant chuté pendant la durée de suivi de l'étude (8 sur 38). Il est reporté une incapacité à prédire la chute due à un trop faible nombre de participants « chuteurs ». Cependant il n'est pas reporté comment ont été dichotomisés les « chuteurs » pour cette analyse. De plus, on voit ici qu'un des meilleurs prédicteurs pourraient être d'avoir fait une chute dans le passé comme les 8 « chuteurs prospectifs » appartiennent au groupe de « chuteurs rétrospectifs ».

Cette section est suivie par une discussion/conclusion qui passe en revue et discute des variables identifiées comme potentiellement intéressantes ; puis les limites de ces sections sont présentées. Parmi les limites, il manque une discussion autour de la prédiction de personnes à risque de chute parmi les personnes qui n'ont jamais chuté. Il est certes intéressant d'évaluer les variables discriminantes entre « chuteurs » et « non chuteurs » mais il me semble encore plus intéressant d'évaluer les variables discriminantes entre FUTURS « chuteurs » et « non chuteurs ». La chute induit un biais qui rend les données non transférables pour prédire une chute à venir pour la population de « non chuteurs ». En effet, la chute modifie certainement « l'état du chuteur » en augmentant sa peur de tomber qui peut modifier ses stratégies motrices, etc. Je trouve dommage que cette notion, qui me semble centrale, n'ait pas été abordée comme limitation de l'étude et discutée.

La section suivante s'intéresse à établir des profils individualisés de participants basés sur les variables identifiées comme intéressantes pour discriminer « chuteurs » et « non chuteurs ». La représentation choisie est celle d'une vue « en étoile » où chaque variable correspond à une branche de l'étoile. Cette représentation permet de bien synthétiser l'information et est pertinente pour une utilisation en clinique.

Conclusion générale et perspectives

Cette partie commence par une discussion générale (voir commentaires sur la structure du manuscrit) qui reprend les éléments importants sur le fonctionnement des mécanismes impliqués dans les pas de rattrapage et dans les différences entre participants « chuteurs » et « non chuteurs ». Cette section finit sur les tests cliniques à utiliser pour détecter le risque de chute et pour identifier les mécanismes responsables de l'augmentation de ce risque. La deuxième partie présente une conclusion générale au travail de thèse.

La troisième et dernière partie présente les perspectives de ce travail incluant des recommandations pour de futures études qui sont : évaluation multifactorielle pour estimer le risque de chute, établir des modèles sur des informations prospectives et sur une plus grande population, évaluer la repondération sensorielle.

Eléments mineurs

Le titre du manuscrit mériterait d'être affiné. En effet, le titre ne fait pas mention de la notion de « chute » alors que la plupart du manuscrit compare des participants « chuteurs » et « non chuteurs » et qu'un des objectifs majeur de ce travail est de trouver des critères objectifs qui permettent de distinguer des participants « chuteurs » et « non chuteurs ». De plus, je ne suis pas sûr que le terme « mécanismes biomécaniques » soit le plus juste. Comme à la page 140, ce terme est à mon avis trop réducteur ou devrait être défini dès le début du manuscrit. En effet, peut-on parler de « mécanismes biomécaniques déficients chez les âgés » ? Il me semble que le terme de « mécanisme » sans la notion de biomécanique serait plus adéquat.

Pour améliorer la lisibilité de la structure, il serait pertinent de garder une structure similaire par partie. Par exemple, les conclusions en fin de chapitre devraient avoir pour titre « conclusion du chapitre » et non parfois « conclusions du chapitre » ou « conclusion générale » ou « conclusion générale du chapitre ». Il conviendrait de garder le terme « général » pour caractériser ce qui s'applique à l'ensemble du travail thèse. De même, dans la partie « Conclusion générale et perspectives », on trouve une section Discussion générale, il serait certainement préférable de changer le titre ou de faire une partie Discussion générale.

Page 19 - « Erreur ! Référence non valide pour un signet. »

Page 46 - Le titre « Détection et prédiction du risque à l'aide des tests cliniques classiques » devrait être « Détection et prédiction du risque **de chute** à l'aide des tests cliniques classiques »

Page 157 - une capacité qui est dégradées → dégradée

Page 160 - L'argument « Faute de temps » est difficilement recevable car l'analyse semble aisée : « analyser les essais selon leur numéro d'apparition dans la série ». Il serait judicieux de changer la formulation « Faute de temps ».

Attention des références identiques sont répétées :

Duncan, P.W., Weiner, D.K., Chandler, J.M., Studenski, S.A., 1990a. Functional reach: a new clinical measure of balance. J. Gerontol. 45, M192–M197.

Duncan, P.W., Weiner, D.K., Chandler, J.M., Studenski, S.A., 1990b. Functional Reach: a new clinical measure of balance. J. Gerontol. 45, 192–197.

King, M.B., Judge, J.O., Wolfson, L., 1994a. Fonctionnal base of support decreases with age. J. Gerontol. 49, M258–M263.

King, M.B., Judge, J.O., Wolfson, L., 1994b. Fonctionnal base of support decreases with age.

Lord, S.R., Fitzpatrick, R.C., 2001a. Choice stepping reaction time: a composite measure of falls risk in older people. J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci. 56, M627–32.

Lord, S.R., Fitzpatrick, R.C., 2001b. Choice stepping reaction time a composite measure of falls

Melzer, I., Benjuya, N., Kaplanski, J., 2004a. Postural stability in the elderly: a comparison between fallers and non-fallers. *Age Ageing* 33, 602–7.

Melzer, I., Benjuya, N., Kaplanski, J., 2004b. Postural stability in the elderly: a comparison between fallers and non-fallers. *Age Ageing* 33, 602–7.

Au final, ce travail à la frontière entre biomécanique, neuroscience, et application clinique est original, rigoureux, cohérent et très bien rédigé. J’ai apprécié l’aspect « découpé » de ce travail qui permet d’analyser en profondeur chaque élément même si cette structure implique que certains points se répètent légèrement. Le protocole mis en place permet une évaluation multifactorielle riche et appropriée. Il est toujours possible de faire plus/mieux (nombre de participants, nombre de tâches, nombre de paramètres, évaluation prospective) mais j’apprécie dans ce travail un excellent compromis entre la complexité du protocole, le nombre de participants et l’analyse réalisée. Je suis persuadé que ce travail servira de référence pour l’évaluation des risques de chute des personnes âgées en clinique et que l’ensemble de ces résultats donneront lieu à plusieurs publications scientifiques. Ce travail ouvre également des perspectives intéressantes pour de futures études scientifiques.

En conséquence, je donne un avis très favorable à la présentation de cette thèse devant le jury.

A Genève, le 27 Octobre 2015

Stéphane ARMAND
Privat Docent
Collaborateur Scientifique
Chef de laboratoire

