

Enseignant-Chercheur: Aly CHKEIR

Acronyme : É-PaPâ

Titre : Évaluation de la Perte d'autonomie des Personnes âgées

Contexte et Problématique

Selon l'Union Européenne, en 2050, le nombre de personnes âgées aura augmenté de 70% pour les plus de 65 ans et de 170% pour les plus de 80 ans [1]. L'un des défis majeurs du 21^{ème} siècle est de trouver des réponses à une sollicitation croissante de la demande en matière de santé dans le cadre d'une population vieillissante et fortement hétérogène. 25% des personnes âgées sont classées pré-fragiles ou fragiles [2]. Le syndrome de la fragilité chez les personnes âgées est considéré comme un état de vulnérabilité consécutif à un stress secondaire à multiples déficiences du système conduisant à une diminution des ressources physiologiques [3]. Les facteurs les plus souvent identifiés contribuant à la fragilisation des personnes âgées sont le manque d'exercice (induisant la perte de la masse musculaire), la perte d'équilibre, un régime alimentaire mal adapté (menant à la malnutrition), des facteurs génétiques et immunologiques, des changements hormonaux, la prise de médicaments, manque d'activités intellectuelles, ainsi que de nombreux facteurs environnementaux (habitat mal adapté, perte de proches, rupture de lien social, ...) [4]. Ces personnes sont en particulier vulnérables au risque de chute [5]. La fragilité décrit des situations précoces et progressives de la perte d'autonomie dont l'évolution peut être potentiellement réversible par une intervention gériatrique [6]. L'évaluation de la fragilité physique chez les personnes âgées à risque de dépendance est une question qui est de plus en plus importante dans nos sociétés. En effet, il a été montré qu'il était important de maintenir les personnes à leur domicile le plus longtemps possible [CSA 2016]. Ce cadre de vie autonome, nécessite cependant des systèmes de prévention, repérage et de suivi. Plusieurs modèles de la littérature proposent des indicateurs permettant de détecter une évolution vers une situation de fragilité [7-10].

Le projet **É-PaPâ** est la continuité d'un autre projet régional ARPEGE [11] qui a conduit au développement d'un pack d'évaluation de la fragilité développé par l'Université de Technologie de Troyes (UTT) mesurant les cinq critères du référentiel de Fried, largement répandu dans la pratique clinique [12], et l'équilibre postural [9] [13 14]. La dégradation de la qualité de l'équilibre est un facteur de risque important pour les chutes chez les personnes âgées [5]. Il est important de pouvoir évaluer la qualité de l'équilibre car un problème d'équilibre détecté à temps peut être réversible. Il a été démontré que l'équilibre peut être amélioré au moyen d'interventions ciblées [15]. Un programme spécifique d'entraînement a permis de diminuer le nombre de chutes chez les personnes âgées [16]. Il est donc essentiel d'identifier les problèmes d'équilibre le plus tôt possible afin de mettre en place des programmes d'intervention qui ciblent spécifiquement la qualité d'équilibre. Une évaluation de la qualité d'équilibre est possible en utilisant des tests biomécaniques. Le test biomécanique le plus utilisé est celui de la plateforme de force qui permet d'évaluer la qualité d'équilibre statique. Un grand nombre de paramètres peut être extrait à partir du déplacement du centre de pression (CoP). Au lieu d'utiliser une plateforme de force, une solution brevetée peu coûteuse est aujourd'hui disponible à l'UTT, produisant simultanément une valeur de poids et un score d'équilibre : le « BQT - Balance Quality Tester » [17] déjà testé en conditions d'usage [18] et sur le plan de la valeur diagnostique [11]. Nos études antérieures ont révélé que les paramètres retenus de ce BQT, s'ils ont un sens du point de vue biomécanique, présentent l'inconvénient majeur d'une faible reproductibilité, ce qui les rend peu sensibles à une évolution lente de la qualité de l'équilibre et faiblement corrélés aux tests classiques d'évaluation gériatrique standardisée (EGS).

Le projet **É-PaPâ** s'intéresse d'une part à cette question essentielle de la reproductibilité en recherchant parmi tous les paramètres envisagés dans l'ensemble des études antérieures ceux qui sont les moins sensibles à une variabilité d'un essai à l'autre, et qui présentent une bonne corrélation à un test très usité pour évaluer la capacité physique : le Short Physical Performance Battery (SPPB) [19], d'autre part, sur l'analyse et le traitement des signaux fournis par les différents capteurs (équilibre postural + poids, force de préhension palmaire, vitesse de la marche, activité physique et sensation d'épuisement) pour établir des scores de référence basés sur des méthodes de fusion de données multicapteurs fondées sur la théorie des intervalles, les méthodes à noyau et les fonctions de croyance de Dempster-Shafer (FDC) dans le cadre d'une étude longitudinale révélant une dérive physiologique dans le temps.

De quelle façon le sujet s'intègre-t-il dans la stratégie scientifique de l'équipe ?

L'équipe e-santé à l'UTT a une antériorité reconnue dans le domaine des méthodologies et des technologies intelligentes d'évaluation de la fragilité physique en milieu non contrôlé (lieu de vie). Cette équipe a déjà été impliquée dans plusieurs projets régionaux, nationaux ou européens qui lui ont permis de développer ses compétences dans les domaines de l'équilibre (**ANR PARACHUTE**), de la prévention et détection des chutes (**ANR**

PRUDENCE) de la fragilité physique (**Régional ARPEGE**), de la fragilité sociale (**AAL FoSIBLE**), du suivi de patients multi pathologiques à domicile (**FUI PiCADO**, **FUI ClockDom**), de la conception participative (**Living Lab ActiAgeing**), et dans le domaine de la fusion des données et l'intelligence artificielle (**Régional LIPAD**). Le projet **É-PaPâ** s'inscrit dans le cadre général du maintien en autonomie au domicile des personnes âgées. Le repérage précoce des personnes en risque de la perte d'autonomie est essentiel pour pouvoir apporter des actions correctives permettant de maintenir une qualité de vie souhaitée par la personne dans son lieu de vie. Le projet **É-PaPâ** utilise des solutions précises de repérage et de suivi fondées sur un ensemble mobile d'évaluation de la fragilité et de la perte d'équilibre. Cet ensemble mobile est basé sur des technologies récentes qui intégreront des logiciels basés sur l'Intelligence Artificielle de la dernière génération capable d'apprendre les habitudes de vie des personnes âgées pour détecter des changements de comportement qui peuvent potentiellement révéler l'apparition d'une anomalie liée à la santé (perte d'autonomie, déséquilibre posturale, fragilité, risque de chute...)

Objectifs scientifiques

Deux objectifs principaux sont visés dans le cadre de cette thèse :

- **Objectif 1** – Traitement des signaux capteurs. Nous avons montré dans la partie ci-dessus « Contexte et problématiques » les limites actuelles de pertinence des paramètres produits par certains de ces capteurs. Il s'agit alors de mettre en œuvre des approches méthodologiques complémentaires de ce qui a été développé jusque-là afin de dépasser ces limites. Deux pistes sont à explorer :

- Pour le score d'équilibre produit par le BQT : i) étudier la reproductibilité de chacun des paramètres produisant des scores évaluant la perte d'autonomie et la fragilité des personnes âgées, ii) fusionner les paramètres nécessaires au pronostic de la perte d'autonomie des personnes âgées.
- Pour la vitesse de la marche, l'UTT a développé le dispositif VM-RD, à base de radar à effet Doppler et qui envoie une onde électromagnétique à haute fréquence (9.9 Ghz). Lorsque l'onde se réfléchit sur un objet en mouvement, sa fréquence et son amplitude varient respectivement en fonction de la vitesse et de la distance de l'objet [20]. Appliquer des nouvelles méthodes de traitement du signal sur des signaux produits par le VM-RD afin de modéliser la vitesse de la marche et la valider en conditions d'usage.

- **Objectif 2** – Suivi des paramètres et construction des points d'alerte.

Cet objectif se décline selon deux volets :

- Développer une méthodologie de suivi dynamique : Suivre l'évolution des paramètres produits par l'ensemble des dispositifs (le BQT ainsi le pack d'Evaluation Gérontologique Embarqué) pour en déceler une divergence ou un chaos, en effet, la divergence est mesurée par rapport à un état initial, identifié sur une période préliminaire, différent pour chaque personne suivie. En effet, une personne dans un état donné peut voir ses paramètres s'améliorer ou se détériorer suite à l'observance d'une prescription ou à un événement de vie ou de santé. Toute dérive vis-à-vis de l'état initial sera ainsi détectée et générera un point de vigilance auprès des professionnels.
- Identification d'un risque de chute nécessite un processus de fusion de données. Cette partie doit utiliser des méthodes de fusion prenant en compte le caractère hétérogène des données et modulant le caractère abrupt des cut-offs attachés à certains des tests cliniques associés. Comme pour le score d'équilibre l'approche par la théorie des fonctions de croyance sera l'une des pistes privilégiées.

Méthodologie mise en œuvre

Le projet **É-PaPâ** est la continuité d'ARPEGE décrit ci-dessus, mesurant les cinq critères du référentiel de Fried (la perte de poids + l'équilibre postural, la force de préhension palmaire, la vitesse de la marche, l'activité physique et la sensation d'épuisement), largement répandu dans la pratique clinique. L'équilibre postural fournis par le BQT et la vitesse de la marche fournis par le RD-VM nécessitent une avancée méthodologique permettant de produire des **scores de référence** en termes de sensibilité et de spécificité dans le cadre d'une étude longitudinale révélant une dérive physiologique dans le temps.

a. *Score d'équilibre*

L'objectif de cette tâche consiste à revisiter la combinaison des paramètres extraits des signaux du pèse-personne afin d'une part de les pondérer en fonction de leur qualité de reproductibilité, d'autre part de les ajuster aux résultats cliniques, fournis notamment par le test très usité pour évaluer la capacité physique : le Short Physical Performance Battery (SPPB [19]). La reproductibilité et la répétabilité seront étudiée à partir des méthodes d'estimation (corrélation intraclasse, Cohen's Kappa, rang de Spearman...) et d'un protocole de test-retest permettant de comparer les paramètres entre eux. Le nombre de sujets à inclure n'est pas encore défini mais nous chercherons à diversifier la population étudiée, en âge et en niveau de fragilité.

La pondération des paramètres sera réalisée à partir des résultats de l'étude de reproductibilité et de la comparaison au test clinique de SPPB. Pourtant le score global produit par le test affecte le même poids à chacun des items du

test SPPB. L'approche proposée dans **É-PaPâ** consiste alors simultanément à sélectionner les items de SPPB les plus pertinents, et à optimiser la combinaison des paramètres extraits des signaux du pèse-personne de l'autre, dans le sens d'une adéquation maximale. Le problème peut être vu dans un premier temps comme un problème de régression linéaire, la variable d'entrée étant le vecteur des paramètres pèse-personne, la variable de sortie étant le score de SPPB recomposé. La méthode des moindres carrés fournit évidemment un premier cadre pertinent pour résoudre un tel problème [21]. D'autres méthodes de régression non linéaires seront à explorer dans un second temps. Un résultat original attendu sera de proposer un score d'équilibre optimisé en retenant la meilleure pondération des paramètres constitutifs de ce score.

b. *Vitesse de marche*

L'objectif de cette tâche est de modéliser les signaux fournis par le dispositif VM-RD décrit ci-dessus dont le but est d'extraire les vitesses qui correspondent respectivement au mouvement du (tronc et bassin) et des (membres supérieurs et inférieurs), Cette modélisation permet à déterminer la vitesse exacte de la marche des personnes âgées, sans l'influence de l'oscillation des membres supérieurs/inferieurs considérée comme artefacts. D'autres méthodes de modélisation seront à explorer dans un second temps afin d'étudier l'effet de l'oscillation des bras sur la qualité d'équilibre en se basant sur l'étude de monsieur Sjoerd M. Bruijn et ses collaborateurs. En parallèle, des tests dans l'appartement expérimental du Living Lab de l'UTT seront menés afin de définir une procédure d'élimination de signaux non pertinents (non relatifs à une réelle activité de marche).

c. *Analyse des données et fusion pour le suivi*

Pour cette tâche, deux approches seront abordées :

- La première consiste à faire l'étude de stabilité sur chacun des paramètres dans le sens de Liapounov, en calculant notamment les exposants de Liapounov des séries temporelles obtenues pour ces paramètres [22]. Une valeur positive d'un exposant indiquera la présence d'une instabilité et donc d'une divergence de l'état initial pour le paramètre correspondant. Une durée minimale d'une dizaine de jours sera requise pour acquérir les données initiales.
- La deuxième approche consiste à établir un modèle probabiliste pour chacun des paramètres. En effet, les données mesurées ont un caractère aléatoire dû à des fatigues ponctuelles ou tout simplement des aléas de mesure. L'objectif sera de déterminer la distribution que suit chacun des paramètres dans un état stable de la personne pour en définir une probabilité d'appartenance.

Références

- [1] http://ec.europa.eu/health/archive/ph_overview/health_forum/docs/ev_20080530_rd02_en.pdf
- [2] C. H. Winograd, M. B. Gerety, M. Chung et al., "Screening for frailty: Criteria and predictors of outcomes," *Journal of the American Geriatrics Society*, vol. 39, no. 8, pp. 778-784, 1991.
- [3] Clegg A., et al., Frailty in elderly people. *The Lancet*, 2013. 381: p. 752-762.
- [4] Fried LP., et al., - From bedside to bench: research agenda for frailty. *Sci Aging Know Envi*, 2005. 3(31).
- [5] Fried, L.P., et al., Untangling the concepts of disability, frailty, and comorbidity: implications for improved targeting and care. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2004. 59(3): p. 255-63.
- [6] Morley, J.E., et al., Frailty consensus: A call to action. *Journal of the American Medical Directors Association*, 2013. 14: p. 392-397.
- [7] De Vries N. M., et al., Outcome instruments to measure frailty: A systematic review. *Ageing Research Reviews*, 2011. 10(1): p. 104-114
- [8] Inouye SK., et al., - Geriatric syndromes: clinical, research, and policy implications of a core. *J Am Ger Soc*, 2007. 55(5): p. 780-91.
- [9] Davis, D.H., Rockwood, M.R., Mitnitski, A.B., and Rockwood, K.: 'Impairments in mobility and balance in relation to frailty', *Archives of gerontology and geriatrics*, 2011, 53, (1), pp. 79-83
- [10] Chkeir, A., et al. Balance quality assessment as an early indicator of physical frailty in older people. in 2016 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). 2016.
- [11] CHKEIR, A., J.-L. Novella, M. Dramé, D. Bera, M. Collart and J. Duchêne. "In-home physical frailty monitoring: relevance with respect to clinical tests." *BMC Geriatrics* 2019. 19(1): pages. 25-34.
- [12] Fried L.P. , et al., Frailty in older adults: evidence for a phenotype. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2001. 56: p. M146-M156.
- [13] Thiede R., et al., - Gait and balance assessments as early indicators of frailty in patients with. *Clin Biomech*, 2016. 32: p. 1-7.
- [14] T. Ledin, A. C. Kronhed, L. M. Odkvist, and B. Olsson, "Effects of balance training in elderly evaluated by clinical tests and dynamic posturography," *J Vestib Res*, vol. 1, pp. 129-38, 1990.
- [15] S. L. Wolf, H. X. Barnhart, N. G. Kutner, E. McNeely, C. Coogler, and T. Xu, "Reducing frailty and falls in older persons: an investigation of Tai Chi and computerized balance training. Atlanta FICSIT Group. Frailty and Injuries: Cooperative Studies of Intervention Techniques," *J Am Geriatr Soc*, vol. 44, pp. 489-97, May 1996.
- [16] J. Nitz and N. Choy, "The efficacy of a specific balance-strategy training programme for preventing falls among older people: a pilot randomised controlled trial," *Age and ageing*, vol. 33, pp. 52-58, 2004.
- [17] J. Duchêne and D. J. Hewson, "Using a modified bathroom scale for long-term balance quality assessment: relevance, usability and acceptability," *Journal of Tel and Telecare*, vol. 17, pp. 421-26, 2011.
- [18] J. Duchêne and D. Hewson, "Longitudinal evaluation of balance quality using a modified bathroom scale: usability and acceptability," *J Telemedicine Telecare*, vol. 17, pp. 421-26, 2011.
- [19] J. Guralnik, L. Ferrucci, C. Pieper, F. Leveille, K. Markides, G. Ostir, et al., "Lower Extremity Function and Subsequent Disability: Consistency Across Studies, Predictive Models, and Value of Gait Speed Alone Compared With the Short Physical Performance Battery," *Journal of Gerontology*, vol. 55A, pp. 221-231, 2000
- [20] Jaber, R., Chkeir.: 'A New Device to Assess Gait Velocity at Home', in Editor (Ed.): 'Book A New Device to Assess Gait Velocity at Home' (Springer Inter Publishing, 2014, edn.), pp. 1503-1506
- [21] C. L. Lawson and R. J. Hanson, *Solving least squares problems: SIAM*, 1974.
- [22] L. Barreira and C. Valls, "Stability theory and Lyapunov regularity," *Journal of Differential Equations*, vol. 232, pp. 675-701, 2007.