



HAL
open science

Effets de l'avancée en âge sur les coordinations visuo-motrices lors d'une tâche d'évitement entre deux marcheurs

Lisa Moyon

► **To cite this version:**

Lisa Moyon. Effets de l'avancée en âge sur les coordinations visuo-motrices lors d'une tâche d'évitement entre deux marcheurs. Sciences du Vivant [q-bio]. 2021. dumas-03344232

HAL Id: dumas-03344232

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03344232v1>

Submitted on 14 Sep 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License



EFFETS DE L'AVANCEE EN ÂGE SUR LES
COORDINATIONS VISUO-MOTRICES LORS D'UNE TÂCHE
D'EVITEMENT ENTRE DEUX MARCHEURS

Master 2 APA-S parcours APPCM

Approche Pluridisciplinaire des Pathologies Chroniques et Motrices

Présenté par : Lisa MOYON

Sous la direction de : Anne-Hélène OLIVIER, Enseignante-chercheuse UFRSTAPS,
Université Rennes 2, Laboratoire M2S

Ainsi que : Michael CINELLI, Enseignant-chercheur, l'Université Wilfrid Laurier, Canada

Année universitaire : 2020 - 2021

REMERCIEMENTS

Pour commencer, je souhaite remercier chaleureusement Madame Anne-Hélène Olivier, ma tutrice de stage mais aussi universitaire pour la confiance qu'elle m'a accordée, sa bienveillance et son implication. Je me suis sentie soutenue, accompagnée et encouragée, autant concernant le stage en lui-même et la rédaction de ce mémoire que dans la mise en œuvre des actions qui ont eu pour finalité mon voyage au Canada. Grâce à ses conseils et remarques très riches, elle a su me faire réfléchir, et, ainsi, me permettre d'évoluer, et pour ça, je l'en remercie profondément.

Then, I want to thanks Sir Michael Cinelli who welcomes me in Canada to do my second internship. It has been a year that we are connected and he has been helpful every time I needed and more. Thanks for his involvement and his kindness, because without him, this travel would not have been possible. In addition, he gave me the opportunity to attend his remote lectures from France and that permitted me to develop my knowledge and my english comprehension.

Ensuite, je tiens à remercier Madame Geneviève Cabagno, qui, avec Madame Anne-Hélène Olivier, a pris le temps de lire et d'évaluer mon mémoire et mon support de présentation, de les corriger et de me donner des conseils. De cette manière, elles ont contribué à leur conception ainsi qu'à leur évolution.

Enfin, je souhaite remercier Sterna Kalfon, une franco-américaine rencontrée lors de mon voyage vers le Canada. Grâce à sa maîtrise accrue des langues, elle m'a aidé à traduire mon résumé en me donnant des conseils d'écriture.

Pour finir, je remercie ma famille et mes amis pour leur soutien sans faille et leurs conseils avisés.

À tous ces intervenants, je présente donc mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

Table des matières

Introduction	1
1. Revue de littérature	4
1.1. Le processus de senescence	4
1.1.1. Système cardiorespiratoire	4
1.1.2. Systèmes digestif, rénal, endocrinien et métabolique	5
1.1.3. Systèmes sensorimoteurs.....	6
1.1.4. Fonctions cognitives et mnésiques	7
1.2. Effet de l'âge sur la capacité fonctionnelle de marche	8
1.2.1. Enjeu.....	8
1.2.2. Effet de l'âge sur la locomotion	8
1.3. Coordinations visuo-motrices lors de la marche et effets de l'âge.....	11
1.3.1. L'approche écologique et ses concepts	11
1.3.2. Perception visuelle de l'environnement durant la locomotion.....	12
1.3.3. Stratégies d'évitement de collision lors d'interactions en lien avec l'environnement	14
1.3.3.1. Notion de risque de collision	14
1.3.3.2. Passage par une ouverture.....	16
1.3.3.3. Contournement d'un obstacle statique.....	17
1.3.3.4. Contournement d'un obstacle dynamique.....	18
1.4. La prise en charge APA de la personne âgée	23
1.4.1. Définitions et recommandations.....	23
1.4.2. Rôle de l'APA sur les différents systèmes impactés par l'âge.....	24
1.4.3. Rôle et méthodes d'intervention APA sur la capacité fonctionnelle de marche de la personne âgée	26
1.4.4. Enjeu de l'approche écologique dans la prise en charge.....	28
1.6. Synthèse et objectif.....	32

2. Méthodologie	33
2.1. Hypothèses.....	33
2.2. Méthode	34
2.2.1. Participants	34
2.2.2. Tâche et dispositif expérimental	35
2.2.3. Déroulement	37
2.2.4. Risques	38
2.3. Analyse	39
2.3.1. Variables dépendantes.....	39
2.3.1.1. Taux d'inversion de l'ordre de passage	40
2.3.1.2. Caractéristiques de l'interaction à l'instant de l'initiation de la déviation de trajectoire	40
2.3.2. Statistiques	41
2.4. Résultats.....	41
3. Perspectives.....	42
Bibliographie.....	44
Index des figures	58
Index des tableaux.....	58
Annexes.....	59
Annexe I. Présentation du pré-test et des limites identifiées pour proposer des perspectives	59
Annexe II. Global Physical Activity Questionnaire (GPAQ).....	63
Annexe III. Note d'information et formulaire de consentement	65
Annexe IV. Déroulement des 112 essais randomisés.....	73
Résumé.....	
Abstract	

Préambule

La rédaction de ce mémoire s'inscrit dans la dynamique de l'élaboration et de la mise en place d'un projet de recherche, en synergie avec les efforts fournis par deux enseignants-chercheurs et leur implication qui en découle. Effectivement, ce projet prend vie grâce à la collaboration déjà existante entre la Dr. Anne-Hélène Olivier, dont les travaux de recherche portent sur l'analyse biomécanique et la modélisation des trajectoires locomotrices humaines, les interactions entre les personnes et l'utilisation de la réalité virtuelle pour l'analyse expérimentale aux laboratoires M2S et INRIA à Rennes, et le Dr. Michael Cinelli, spécialisé en kinésiologie et plus spécifiquement en biomécanique et en sciences neurales comportementales et cognitives au LPMBL, à Waterloo, dans l'Ontario, localisé au Canada.

Forte de ces quelques années de partenariat, l'idée d'un échange au Canada pour réaliser mon stage de Master 2 s'est développée, à la fois pour avoir l'occasion de travailler auprès de scientifiques étrangers, maintenir et développer cette coopération internationale, mais aussi découvrir et s'immerger dans la culture canadienne.

Dans ce but, Mme Olivier, M. Cinelli et moi-même nous sommes intéressés aux possibilités d'obtention de bourses d'échange permettant ainsi à ce projet de devenir réalisable. Dans ce contexte, nous avons soumis un dossier de candidature pour la bourse de recherche Globalink Mitacs qui a été retenu.

Cependant, considérant les circonstances sanitaires particulières actuelles en lien avec la COVID-19, le voyage n'a pas pu avoir lieu comme prévu au mois de janvier 2021, mon départ pour le Canada étant bloqué par décision des administrations compétentes.

De ce fait, le stage qui devait s'effectuer à Waterloo sous la direction de M. Cinelli a finalement pris place au laboratoire M2S à Rennes, aux côtés de Mme Olivier. En revanche, j'ai tout de même pu assister à certains cours enseignés par M. Cinelli grâce au format de réunion en distanciel, et nous avons communiqué tous les trois, avant, mais aussi tout au long du stage sous la forme de réunions en visio-conférence et par des échanges réguliers grâce à des outils collaboratifs.

Malgré l'impossibilité de partir au Canada en janvier, j'ai tout de même pu développer, étayer et construire des connaissances et des mécanismes de réflexion, grâce aux apports de M. Cinelli, Mme Olivier, mais aussi de leurs collaborateurs. De la même manière, le protocole expérimental initialement prévu basé sur l'investigation des coordinations visuo-motrices de

jeunes adultes mais aussi de personnes âgées n'a pas pu être mis en œuvre en raison des difficultés rencontrées à recruter et réaliser des expérimentations en lien avec le contexte sanitaire actuel.

Néanmoins, le projet de mobilité vers le Canada et plus précisément au sein de l'Université Wilfrid Laurier situé à Waterloo, dans le but d'implémenter un protocole d'expérimentation, est toujours resté un objectif, puisque grâce à toutes les actions entreprises et à l'autorisation de voyager à nouveau, je suis actuellement en route pour le Canada pour y effectuer un stage, du 3 mai au 2 août 2021.

Introduction

Le vieillissement est un processus biophysique universel affectant l'ensemble de l'organisme au niveau cellulaire et moléculaire et conduisant à un déclin des fonctions physiologiques (Paillard, 2001). Les mécanismes et les moyens de prise en charge de celui-ci sont à l'origine de nombreux débats. Ce processus, comme le montrent diverses études (Cherin 2009 ; Skelton 2007 ; Nordin 1997) affecte les structures et fonctions du système neuro-musculo-squelettique à des degrés variés. Ces changements impliquent des dommages physiques mais aussi mentaux. Cependant, ces évolutions ne sont pas linéaires et ne répondent pas à une logique simple puisque l'état de santé et les capacités fonctionnelles peuvent être totalement différentes si on considère deux individus d'âge identique. De ce fait, il peut être difficile de définir de manière précise ce qu'est une "personne âgée", surtout quand on se rend compte que ces définitions évoluent en fonction des auteurs et de l'époque. L'American College of Sport Medicine (ACSM) estime qu'une personne est considérée comme âgée si elle a plus de 65 ans mais peut aussi l'être à partir de 50 ans si elle présente une ou des pathologies chroniques et/ou des limitations fonctionnelles (ACSM, 1998).

La population mondiale est en perpétuelle croissance depuis des siècles et continue de « vieillir » rapidement. En effet, alors que la population mondiale âgée de 65 ans et plus représentait 420 millions de personnes en 2000 (Kinsella & Velkoff, 2001), selon les estimations, la même catégorie de population était estimée à 703 millions en 2019 (United Nations, 2019), augmentant ainsi de 40% en seulement 19 ans. En outre, selon les estimations, le nombre de personnes âgées devrait plus que doubler, atteignant les 1.5 milliards en 2050 (United Nations, 2019) et représentant une part plus importante de la population. Ce fait oblige la politique mondiale à repenser la méthode de traitement financier et la manière d'agir en ce qui concerne le vieillissement. En effet, les pays doivent relever des défis majeurs afin de préparer leurs systèmes sociaux et de santé (OMS, 2016) puisque l'avancée en âge induit de réels enjeux médicaux, économiques et sociaux (Harman, 2001).

Ainsi, la population mondiale vieillit progressivement et, par conséquent, les désordres associés au vieillissement se multiplient. Ils sont à l'origine d'une altération des structures et des systèmes des personnes âgées, pouvant impliquer la posture et la locomotion. Par conséquent, il est essentiel de comprendre comment ces évolutions liées à l'avancée en âge affectent la posture et le contrôle moteur pendant la marche pour pouvoir concevoir des thérapies

d'intervention innovantes, permettant aux personnes âgées avec ou sans trouble du mouvement d'évoluer au sein et hors de leur environnement domestique, de manière indépendante et sûre.

La capacité à se mouvoir est un aspect essentiel de la vie quotidienne pour chacun d'entre nous. Le mouvement, émerge de l'interaction entre l'individu, la tâche et l'environnement selon le modèle de Shumway-Cook (2007). Effectivement, le mouvement est généré par l'individu pour répondre à la demande de la tâche réalisée dans un environnement spécifique et c'est cette capacité à répondre à la tâche et aux demandes environnementales qui détermine la capacité fonctionnelle de cet individu. Concernant la locomotion, nous nous déplaçons chaque jour dans un environnement complexe, évitant des obstacles ou encore en choisissant des chemins particuliers à travers un environnement encombré grâce à nos coordinations visuo-motrices, afin de se diriger vers des buts. Les contraintes qui affectent le mouvement sont multiples et il faut les considérer ensemble, comme un système complexe, afin d'avoir une vue globale des mécanismes mis en jeu.

L'exploration fonctionnelle des individus ne doit donc pas reposer uniquement sur des mouvements et stratégies décorrélés de leur contexte écologique mais doit tenir compte de la tâche à réaliser et de l'environnement qui entoure l'individu. Or, aujourd'hui, la part de l'environnement est largement sous-estimée, notamment dans la mise en place de programmes d'intervention destinés à réhabiliter la personne âgée. Dans cette mesure et considérant les coordinations visuo-motrices, il est primordial d'identifier les mécanismes à l'œuvre lors de l'interaction entre un adulte âgé et son environnement, notamment lors d'une tâche d'évitement de collision qui représente une action régulièrement rencontrée dans la vie quotidienne d'un individu. Effectivement, les individus évoluent constamment dans des environnements dynamiques qui nécessitent des comportements anticipatoires permettant d'éviter les obstacles. Cela dessine de nombreux enjeux sociétaux puisque par exemple, les personnes âgées constituent une population très vulnérable lors des traversées de route, représentant 49% de la mortalité piétonne (ONISR, 2015).

Aujourd'hui, la littérature a montré que l'avancée en âge jouait un rôle dans l'initiation de ces stratégies, les rendant moins efficaces. Alors que la notion de distance semble être un critère privilégié par les personnes âgées afin d'adapter leur déplacement (Dommès et al., 2013), l'utilisation de la composante temporelle, dont l'importance a déjà été démontrée chez le marcheur jeune (Pfaff & Cinelli, 2018 ; Cinelli & Patla, 2007) reste quant à elle à investiguer. De ce fait, l'objectif de ce mémoire est de mieux comprendre l'influence de l'âge sur les

coordinations visuo-locomotrices lors de tâches d'évitement de collision, en s'intéressant notamment à l'utilisation du temps restant avant la collision.

1. Revue de littérature

1.1. Le processus de senescence

Le vieillissement est caractérisé par une accumulation de diverses évolutions délétères des cellules et des tissus, générant progressivement des détériorations d'une ou plusieurs fonction(s) du corps humain pouvant aller jusqu'à la mort. Les changements liés à l'âge peuvent être causés par des défauts génétiques et développementaux, des pathologies, la résultante de l'interaction avec l'environnement ou bien le processus inhérent à l'avancée en âge appelé la senescence (Harman, 2001). Ceux-ci peuvent se situer à divers niveaux : physiologique et morphologique, visibles à l'échelle cellulaire et moléculaire, mais aussi social et psychologique. La senescence induit un processus physiologique qui provoque une dégradation progressive des fonctions de la cellule, à l'origine du vieillissement des organismes. Déterminé génétiquement, ce phénomène est aussi lié à des facteurs environnementaux (Tubiana, 2002). Il entraîne l'altération des fonctions organiques, d'une part, et le vieillissement des tissus et de l'aspect général du corps, d'autre part. En plus du vieillissement physiologique considéré comme normal et des pathologies se déclarant en lien avec l'âge, la personne âgée risque une « augmentation de la fréquence des affections malignes, de la susceptibilité aux infections, des maladies auto-immunes et de la diminution de la réponse aux vaccinations » (de Jaeger, 2018), en lien avec l'immunosenescence qui la rend bien plus vulnérable. De plus, les diverses pathologies rencontrées avec l'avancée en âge peuvent accélérer le phénomène de vieillissement, impactant les individus de manière spécifique.

La senescence induit ainsi des modifications des différents systèmes et fonctions de l'organisme, que nous allons aborder dans les sous sections suivantes.

1.1.1. Système cardiorespiratoire

La senescence est à l'origine de modifications complexes et diversifiées tant structurelles que fonctionnelles de l'appareil cardiovasculaire, qui est aussi régulièrement touché par certaines pathologies. Ces évolutions génèrent notamment une hypertrophie du cœur (Goor et al., 1969) et vont aussi entraîner une diminution de la performance cardiovasculaire telles qu'un abaissement de la fréquence cardiaque pic à l'effort (Ferrari et al., 2003) ou bien une hypertension artérielle (Schulman, 1999). L'appareil respiratoire n'est, lui non plus, pas épargné par le vieillissement physiologique (Guénard & Rouatbi, 2004) que cela soit

structurellement ou fonctionnellement. Ces multiples modifications sont les causes d'une diminution des réserves ventilatoires, qui peut être amplifiée par une maladie (Rossi et al., 1996), et de la vivacité des réflexes de protection des voies aériennes qui augmentent donc le risque d'inhalation et d'encombrement (Erskine et al., 1993), entre autres. Par ailleurs, la nette diminution de la consommation d'oxygène maximale, reflet direct de l'altération du système cardiovasculaire, est associée à une capacité fonctionnelle réduite qui constitue une composante liée à l'autonomie des personnes pour effectuer les activités de leur vie quotidienne (Ballesta-García et al., 2020).

1.1.2. Systèmes digestif, rénal, endocrinien et métabolique

Les altérations survenant en lien avec l'âge touchent l'appareil digestif et ont pour conséquence la diminution de l'absorption de certains éléments nécessaires au bon fonctionnement de l'organisme comme le fer, le calcium ou la vitamine B12 (de Jaeger, 2018). Ces déficits peuvent engendrer des désordres fonctionnels et avoir un impact sur le développement de pathologies comme l'ostéoporose (Nordin, 1997) ou diverses maladies neurodégénératives (McCaddon, 2013).

L'avancée en âge présente également des conséquences anatomiques et physiologiques sur la fonction rénale. En effet, les reins se trouvent touchés par une atrophie progressive, réduisant leur masse fonctionnelle, au profit de graisses et de tissus fibreux, comme beaucoup d'autres organes. Une baisse du débit sanguin rénal agissant directement sur le débit de filtration glomérulaire est donc observée, limitant les capacités d'élimination rénale du sujet âgé (de Leeuw, 1991). De ce fait, l'homéostasie de l'eau est bouleversée et cela peut générer diverses atteintes cellulaires pouvant se traduire, par exemple, par une hyponatrémie ou une hypernatrémie (Beck, 1998).

La senescence est étroitement liée à une modification des fonctions endocrines, notamment aux niveaux des hormones sexuelles et de croissance. Elle est également synonyme d'une diminution de l'activité insulinaire (Shimokata et al., 1991 ; Chen et al., 1987). L'atteinte de l'activité hormonale a plusieurs conséquences telles que la perte de force musculaire, qui est d'ailleurs un facteur limitant les chances de l'individu de vivre de manière autonome (Lamberts, Beld, & Lely, 1997).

1.1.3. Systèmes sensorimoteurs

L'appareil locomoteur va également être affecté avec l'avancée en âge. Ainsi, le processus de calcification se déséquilibre, entraînant une déminéralisation des os qui peut mener vers l'ostéoporose et augmenter le risque de fracture (Cooper & Melton, 1992). Parallèlement à cela la personne âgée doit faire face à une perte de sa masse et de sa force musculaire, traduit sous le terme de sarcopénie (Cherin, 2009 ; Cherin et al., 2014). Cette atrophie des muscles génère donc une détérioration du tonus musculaire, une perte de force, de puissance, d'endurance mais aussi d'agilité, favorisant les chutes et les fractures. Les articulations sont elles aussi sujettes aux troubles car elles sont touchées par une réduction de la surface cartilagineuse et une calcification des ligaments. La réduction de la taille, liée à un raccourcissement du rachis, est également attribuable au vieillissement, impactant directement les stratégies pour la conservation de l'équilibre en modifiant la posture afin de maintenir le centre de gravité.

Le vieillissement cérébral, concernant le système nerveux central, se caractérise par diverses atteintes. En effet, il est à l'origine d'une perte neuronale accompagnée d'une diminution progressive des connexions inter-neurones et d'un ralentissement de la transmission synaptique. Ensuite, la quantité globale de neurotransmetteurs déplétée, aussi responsable de la diminution importante de la capacité des récepteurs ainsi que leur nombre (Mishizen, et al., 2001), est causée par le vieillissement physiologique et peut être liée à l'apparition de pathologies comme celles d'Alzheimer ou de Parkinson. De plus, le système nerveux autonome subit les mêmes modifications structurelles que le système nerveux central. Ces facteurs entraînent une atteinte des performances cognitives qui sont diminuées avec l'effet de l'âge. Considérant le système nerveux périphérique, le vieillissement provoque une diminution des différents stimuli chez le sujet âgé, ainsi qu'une détérioration des réflexes posturaux. Ces évolutions entraînent donc chez lui une altération du mouvement et de la posture en lien avec la sensibilité proprioceptive, impliquée dans la perception consciente du mouvement ainsi que l'appréciation du positionnement des différents segments du corps humain. Alors que l'altération du système nerveux périphérique impacte négativement la fonction d'équilibration du sujet âgé, certains organes des sens également touchés par le processus de senescence vont aussi venir compromettre cette fonction.

L'avancée en âge est associée à une baisse de la vision, une atteinte du système vestibulaire (Tubiana, 2002) et donc d'équilibration, mais aussi une altération de la somesthésie et du

toucher, issu du système cutané. Le goût est également un sens touché par la senescence (Methven et al., 2012). Alors que les altérations physiologiques observées chez le sujet âgé sont nombreuses et multisystémiques, certains aspects de la vie quotidienne s'en trouvent modifiés tels que la posture, l'équilibration et donc la locomotion. Cette dernière capacité, caractérisée par une dimension physique, peut aussi être marquée par des dégénérescences de la dimension cognitive auxquelles l'individu âgé est soumis.

1.1.4. Fonctions cognitives et mnésiques

Tout comme de nombreux organes du corps humain, le cerveau évolue au cours du temps. Le déclin des matières grise et blanche du cerveau, incluant la perte de tissu et les déconnexions corticales (Gunning-Dixon et al., 2009 ; Raz et al., 2005), est associé à un appauvrissement des fonctions cognitives (Schättin et al., 2016), définies comme « ... tout processus mental qui implique des opérations symboliques – i.e., la perception, la mémoire, la création d'images et la pensée... » (Segen, 2006). Le vieillissement cognitif est caractérisé par un déclin intellectuel (Cotman et al., 2007), des troubles de la mémoire (Cai et al., 2014 ; Gunning-Dixon et al., 2009 ; van Praag, 2009) et notamment la mémoire de travail (i.e., la mémoire à court terme). La régression de la vitesse du processus de traitement de l'information est liée à des performances cognitives amoindries (Wetherell et al., 2002). De plus, la capacité d'apprentissage est altérée (Cai et al., 2014 ; van Praag, 2009), une plus grande anxiété et une baisse de l'attention sont observées (Cai et al. 2014) et une détérioration des compétences exécutives est démontrée (Gunning-Dixon et al. 2009). D'autre part, des études ont montré que des participants âgés ayant ou non des troubles cognitifs ou souffrant de lésions cérébrovasculaires subcliniques avaient une stabilité de marche et un contrôle postural réduits pendant la marche en double tâche, ce qui suggère que l'altération normale ou pathologique des capacités cognitives affecte la performance de marche (Iosa et al. 2014 ; Choi et al., 2012 ; Pichierri et al. 2011). Enfin, l'altération de certaines structures comme l'hippocampe peuvent mener à des neuropathologies (Bettio et al., 2017) telles que les maladies d'Alzheimer, de Parkinson ou d'Huntington.

La senescence est à l'origine de la dégradation de nombreux systèmes du corps humain, qui va avoir des répercussions directes et indirectes sur la capacité fonctionnelle de l'individu. Il va s'agir, dans cette étude, de s'intéresser plus précisément à la capacité de marche, qui constitue une dimension essentielle de la vie quotidienne, nécessaire pour conserver une autonomie.

1.2. Effet de l'âge sur la capacité fonctionnelle de marche

1.2.1. Enjeu

Trente pourcents de la population âgée de 65 ans et plus non institutionnalisée, chutent au moins une fois par an (Lord et al., 2007 ; Siqueira et al. 2007) et cette proportion augmente avec l'âge (Tromp et al., 2001). Chez les personnes âgées prises en charge dans les institutions, ce chiffre est estimé à 61%, soit presque deux tiers (Tinetti, 1987). De plus, l'augmentation du taux d'incidence de chute n'est qu'une des multiples conséquences rencontrées avec l'avancée en âge (Iosa et al., 2014). Ces données, ajoutées au fait que les chutes chez les personnes d'âge avancé sont associées à de multiples séquelles (i.e., blessure, infection, perte de mobilité, dépression, anxiété) pouvant augmenter le risque de mortalité (James et al., 2020 ; Hollands et al., 2017), démontrent l'importance de l'enjeu de santé public que représente la préservation de la capacité fonctionnelle locomotrice, et notamment la marche, chez ce type de public. Il est donc intéressant voire crucial de comprendre comment l'individu agit en fonction des perturbations internes et externes qu'il rencontre pour conserver son pattern de marche, et ainsi, développer des stratégies préventives efficaces.

1.2.2. Effet de l'âge sur la locomotion

La marche est une action motrice réalisée grâce à l'interaction entre le système nerveux, les muscles, les articulations, les os et l'environnement ainsi que ses forces externes (Mochizuki & Aliberti, 2017). Elle fait donc intervenir le « système d'équilibration, le système antigravitaire et le système de production du pas » et ces différents systèmes sont affectés avec le temps (de Jaeger, 2018). En effet, le sujet âgé voit sa stabilité posturale faiblir et sa vitesse de marche diminuer avec une variabilité du rythme de pas (Cai et al., 2014 ; Iosa et al., 2014). De plus, son déplacement est soumis à une diminution des réactions parachutes (i.e., l'extension automatique des membres lors d'une situation de déséquilibre) et d'équilibration, une mobilisation de plus en plus importante des membres supérieurs qui se traduit par un effet de balancement, mais aussi une détérioration progressive de l'équilibre unipodal et une tendance à la postériorisation (de Jaeger, 2018). Ces détériorations physiques fonctionnelles peuvent être associées à un risque accru de chute et de blessure et à une réduction de la qualité de vie (Tomey & Sowers, 2009), impactant la vie quotidienne. Il a d'ailleurs été montré que sur 120 personnes

suisses âgées d'au moins 70 ans, les vitesses moyennes de marche sont toutes inférieures à 1.2 m/s et 74% des plus de 80 ans sont incapables de marcher à plus de 1.2m/s lors d'une double tâche (Eggenberger et al., 2017). Or, le temps alloué au franchissement des passages piétons est bien souvent basé sur des vitesses de marche comprises entre 1.2 et 1.4m/s, ce qui se révèle problématique pour certaines personnes âgées qui n'ont donc pas le temps de traverser.

La perte de masse maigre, de force et la dégradation des articulations causent l'instabilité posturale et la chute (Iosa et al., 2014 ; Mithal et al., 2013), mais l'altération du système musculosquelettique, visuel, le temps de réaction et l'équilibre jouent également un rôle important (Iosa et al., 2014). Cependant, la détérioration du système sensorimoteur n'est pas la seule cause expliquant l'évolution de la capacité physique fonctionnelle : la dégradation des fonctions cognitives y contribuerait également (Cai et al., 2014 ; Iosa et al., 2014), responsable, elle aussi, de la modification du pattern de marche.

La littérature démontre que les personnes âgées modifient leur pattern de locomotion en diminuant vitesse et longueur de pas quand un évènement rencontré est perçu comme pouvant potentiellement provoquer une chute (Callisaya et al., 2012). De ce fait, les adaptations immédiatement effectuées en lien avec les demandes issues de l'environnement et de la tâche sont directement impliquées, tout comme les caractéristiques fonctionnelles des systèmes perceptivo-moteurs (Goldfield, 1995). Par exemple, les changements dans le pattern de locomotion, causés à l'origine par des limitations dans le contrôle postural, incluent une diminution de la vitesse de déplacement, des modifications dans les durées attribuées aux différentes phases du cycle de la marche mais aussi, entre autres, de nouvelles stratégies de contrôle (e.g., le fait de traîner des pieds). Effectivement, les sujets âgés maximisent leurs possibilités biomécaniques lors de la locomotion s'ils se trouvent dans une position défavorable ou dans le cas d'une altération physique (e.g., perte de la vue) et ils répondent donc à ces perturbations liées à la tâche et à l'environnement en ajustant leurs paramètres de déplacement (e.g., en ralentissant leurs mouvements). Généralement, les personnes âgées subissent l'effet combiné de l'âge et d'une santé en déclin et, en conséquence, leurs systèmes et sous-systèmes initient des solutions avec différents degrés de complexité (Moraes & Mauerberg-deCastro, 2017).

Chez les sujets âgés ayant chuté auparavant, des changements dans le pattern de marche peuvent également être observés. En effet, la diminution de la vitesse de déplacement ainsi que de la taille de pas est significative (Giladi et al., 2005) et est aussi souvent liée à des caractéristiques

de l'environnement (i.e., présence de pente, surface glissante, obstacles) ou à des conditions issues de la tâche (i.e., réaliser une double tâche incluant une dimension cognitive et physique de manière simultanée). Rinaldi et Moraes (2016) ont montré dans leur étude que les sujets âgés ayant expérimenté la chute étaient incapables de marcher et de réaliser une tâche de préhension de façon concomitante : les individus ralentissaient, particulièrement dans le cas d'une situation de préhension complexe, ce qui leur permettait d'augmenter leur marge de stabilité lorsqu'ils saisissaient un objet, par exemple.

Par ailleurs, que le sujet ait chuté auparavant ou non, l'étude de la réponse face à une tâche et un environnement doit prendre en compte de nombreux facteurs qui ne sont pas directement liés à l'altération des fonctions et systèmes évoquée précédemment (e.g., la peur irrationnelle de chuter quand bien même aucune perturbation posturale n'est observée) (Moraes & Mauerberg-deCastro, 2017), ce qui démontre une dimension psychosociale à considérer. Effectivement, des variables neuropsychologiques peuvent influencer sur les désordres associés à la marche et donc sur le comportement de locomotion, tels que les aspects liés à la perception, à la planification, à la capacité de traitement et même à l'émotion et l'anxiété (Almeida, 2017).

Concernant le risque de chute en lui-même, et plus spécifiquement le trébuchement, il a été démontré que la phase de récupération, faisant suite à un processus d'initiation puis de détection, est réalisée de manière plus lente et moins efficace chez les marcheurs âgés comparativement aux plus jeunes (Lockhart, Smith & Woldstad, 2005), malgré des stratégies similaires (Schillings, Mulder & Duysens, 2005). De ce fait, leur risque de chute est plus élevé. La capacité de récupération suite au trébuchement serait affectée par le déficit de force musculaire des membres inférieurs ainsi que la dégradation sensorielle, identifiés chez les personnes âgées (Lockhart et al., 2005).

L'apparition d'un syndrome ou d'une pathologie chronique chez le sujet âgé, associée à un vieillissement pathologique, comme le syndrome parkinsonien ou la maladie de Huntington peuvent être à l'origine de multiples altérations tel que des désordres de la posture et de la marche observables lors de tâches motrices, impactent directement le couplage perception-action à l'origine du contrôle moteur. Cependant, ce type de cas ne sera pas traité au cours de cette recherche car ceux-ci relèvent d'un vieillissement pathologique et ne constitue donc pas le sujet de cette étude.

Alors que de nombreux systèmes sont altérés avec l'avancée en âge, impactant notamment le pattern de marche, il semble judicieux de s'intéresser de plus près aux adaptations mises en jeu

par les personnes âgées afin de mieux comprendre les causes et les conséquences de ces modifications. Pour cela, un focus sera porté sur l'évolution des coordinations visuo-motrices avec l'âge, celles-ci étant directement impliquées dans la locomotion.

1.3. Coordinations visuo-motrices lors de la marche et effets de l'âge

1.3.1. L'approche écologique et ses concepts

L'approche écologique, fondée par James Gibson, s'intéresse au lien entre individu et environnement. Selon lui, l'action de l'individu est directement liée aux caractéristiques de l'environnement et celle-ci ne peut pas être considérée de manière indépendante. Ainsi, il s'agit de penser et d'analyser le système acteur-environnement comme un ensemble interdépendant (Gibson, 1979). De cette conception découle la notion de perception directe qui est définie par un couplage fonctionnel, simple et régulateur (i.e. l'un influe sur l'autre et inversement) entre une variable perceptive et une réponse motrice. Dans la perception de l'environnement, Gibson identifie deux notions fondamentales : les affordances et le flux optique.

L'affordance provient du verbe anglais "to afford" qui signifie pouvoir se permettre, avoir les moyens. Les affordances représentent des informations perçues en termes de possibilités d'action (Gibson, 1979) en lien avec un rapport acteur-environnement (Warren, 1984). Selon ce concept, les perceptions d'un objet ou d'une situation sont exprimées de manière relative au sujet et définissent des possibilités d'action.

Le flux optique, quant à lui, représente la projection de l'environnement dans l'œil de l'observateur. Qu'il soit global (i.e., lié aux mouvements de l'observateur) ou local (i.e., lié à la modification de l'environnement), il est une riche source d'informations du monde qui nous entoure. Il nous permet d'identifier sa structure grâce à la modification des relations spatiales entre un observateur et les objets de l'environnement. La relation entre le flux optique et le mouvement est réciproque puisque le mouvement induit un flux optique et le flux optique fournit des informations pour se déplacer (Gibson, 1979). Ces modifications peuvent être représentées par un champ de vecteurs dont les caractéristiques (i.e., amplitude, direction, sens) sont liées au déplacement (Figure 1. Exemple de flux optique défini par des vecteurs d'un pilote d'avion en déplacement (Gibson, 1950). En effet, la longueur des vecteurs est liée à la vitesse du flux optique et les flèches dans leur ensemble indiquent le pattern global du flux.

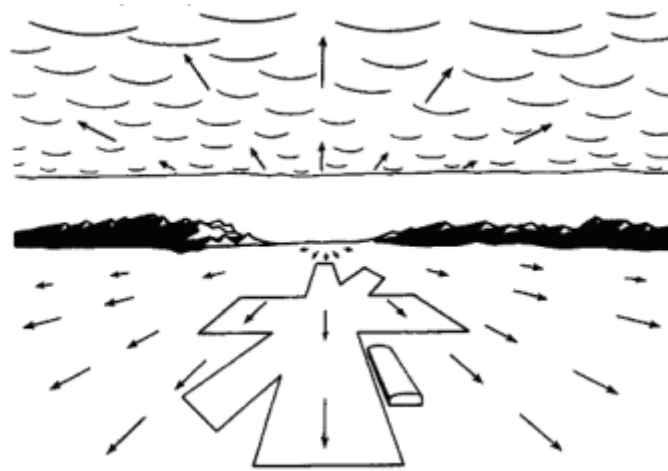


Figure 1. Exemple de flux optique défini par des vecteurs d'un pilote d'avion en déplacement (Gibson, 1950).

Selon Gibson, l'information visuelle est une invariance dans l'environnement, spécifiant l'état du système sujet-environnement. Un invariant est défini par un aspect de l'environnement qui garde les mêmes caractéristiques dans toutes des situations (e.g., un autre marcheur). Il fournit des informations sur l'environnement mais aussi sur les relations qui l'unissent avec l'acteur, permettant ainsi d'envisager des mécanismes de contrôle de l'action liant, directement cette information à un paramètre de mouvement.

L'approche écologique démontre l'importance de considérer le système individu-environnement dans son ensemble puisque c'est de cette interaction que résultent les adaptations motrices.

1.3.2. Perception visuelle de l'environnement durant la locomotion

La demande issue de l'environnement est captée par les structures visuelles, qui donnent des informations sur la localisation et le mouvement des différents éléments de ce dernier, mais aussi la nature d'obstacles, leur dimension, ainsi que les zones qualifiées de sûres sur le trajet.

Le rôle de la vision dans le guidage de la locomotion est donc fondamental (Patla, 1997 ; Warren, 1995 ; Gibson, 1979), comme en témoigne le flux optique notamment.

Considérant les caractéristiques de l'environnement, Hollands et al. (1995) ont été les premiers à s'intéresser à l'endroit et à la durée du regard des individus pendant la locomotion, étudiant la relation entre les yeux des participants et les pas effectués lorsqu'ils se déplaçaient le long d'un chemin jonché d'obstacles. Les résultats démontrent que les sujets fixent de manière

invariable la cible avant d'initier le mouvement et qu'il y a une relation temporelle entre la fixation de celle-ci et la réponse motrice associée. Ces données montrent que l'œil et le mouvement de pas ne sont pas programmés indépendamment mais plutôt de manière simultanée au sein d'un système de mouvements coordonné œil-marche.

En revanche, d'autres études ont montré que l'orientation du regard dirigé vers l'avant des participants sur les cibles placées sur le chemin est dépendant des caractéristiques de celles-ci. En effet, le regard des individus se fixe sur des cibles disposées de manière régulière, deux pas avant ces dernières (Patla & Vickers, 2003), mais trois pas avant lorsqu'elles sont positionnées aléatoirement, en plus d'être entourées d'autres cibles de différentes couleurs ayant pour but de les distraire (Yamada et al., 2012). De ce fait, on peut en déduire que la temporalité des fixations du regard est dépendante de la précision et de la complexité de la tâche et que ces informations visuelles sont utiles au système de contrôle moteur afin de programmer le lieu d'impact du pas. Ce timing peut donc varier en fonction de la tâche mais aussi de la population rencontrée comme on peut le voir dans les études de Chapman et Hollands (2006a, 2006b). Celles-ci montrent qu'en moyenne, dans le cas d'une tâche à plusieurs obstacles consécutifs, le groupe de personnes âgées associé à un risque plus élevé de chute quitte l'obstacle du regard plus rapidement que le groupe moins exposé aux chutes et que les jeunes adultes. Le déclin de la fonction cognitive - relatif à l'avancée en âge - et la capacité à fixer et déplacer son attention sur les différents indices issus de l'environnement représentant un danger potentiel, pourraient être à l'origine d'un comportement du regard inadapté (Stanley & Hollands, 2014). Effectivement, nombreuses sont les études qui ont montré que le déclin lié à l'âge dans la performance de marche est associé à la fonction cognitive (Lindemann et al., 2016 ; Mazaheri et al., 2014 ; Peper et al., 2012 ; Young et al., 2012 ; Yamada et al., 2011) et que le délai dans le timing et dans la précision de l'ajustement des pas est associé, voire même prédictif, du risque de chute (Young et al., 2012 ; Yamada et al., 2011).

Beaucoup d'études menées mettent en exergue les différences concernant la capacité visuomotrice considérant l'âge et le risque de chute associé. Les personnes âgées à haut risque de chute ont besoin de voir les obstacles positionnés sur leur chemin plus longtemps que les jeunes adultes et les personnes à plus faible risque, afin de pouvoir mettre en place une stratégie de déplacement médio-latéral ajustée (Chapman & Hollands, 2010), probablement car la coordination entre la vision et l'initiation de l'action est plus lente (Young & Hollands, 2012). Les retards liés au vieillissement dans le processus visumoteur pourraient être responsables de la perturbation du timing et de l'ajustement progressif du déplacement en lien avec les repères

visuels pour ces populations (Young et al., 2012 ; Nonnekes et al., 2009). En effet, des auteurs ont mis en avant la présence de délais dans le traitement visuo-moteur, entraînant ainsi des retards dans la perception des caractéristiques propre à l'environnement et donc dans les adaptations effectuées en retour (Moschner & Baloh, 1994).

Des changements liés à l'âge dans le comportement du regard sont également observés concernant l'utilisation de la vision : les personnes âgées ont tendance à privilégier la vision centrale quand les jeunes adultes utilisent, en plus, la vision périphérique (Itoh & Fukuda, 2002).

Les coordinations visuo-motrices étant altérées avec l'âge, il semble pertinent de s'interroger sur leur impact dans la mise en place de stratégies d'évitement chez des marcheurs âgés.

1.3.3. Stratégies d'évitement de collision lors d'interactions en lien avec l'environnement

La personne âgée déploie des stratégies (e.g. modification du pattern de marche) afin de faire face aux contraintes environnementales et de s'adapter à celles-ci. L'objet de ce mémoire sera de s'intéresser plus précisément à leurs stratégies initiées dans le cadre d'un évitement de collision et de les confronter à celles de jeunes adultes, qui constitue le comportement de référence. Pour ce faire, des études identifiant ces stratégies chez la personne jeune seront donc présentées en amont permettant ainsi la comparaison afin de comprendre les effets de l'avancée en âge.

1.3.3.1. Notion de risque de collision

L'habileté à se déplacer dans un environnement encombré sans chuter ni percuter un obstacle est fondamentale. Pour éviter le contact, le marcheur doit faire face à deux interrogations. Pour commencer, il doit se demander si une collision va avoir lieu. Si tel est le cas, alors il s'agira pour lui de savoir quand (Cutting et al., 1995). Pour répondre à la première question, Cutting et al. identifient un invariant issu du flux optique : l'angle de gisement. Formé entre la direction du regard de l'observateur et sa direction de marche, son évolution permet de prédire l'occurrence d'une collision (Cutting et al., 1995). En effet, lorsque deux marcheurs se déplacent de manière linéaire, si l'angle de gisement est constant (sa dérivée est nulle), cela

signifie qu'il y aura une collision entre les deux individus si aucune régulation n'est effectuée. Si l'angle de gisement augmente, alors la dérivée de celui-ci devient positive et l'observateur sera le premier à passer. À l'inverse, si l'angle de gisement diminue, sa dérivée sera négative et l'observateur passera en second (Figure 2).

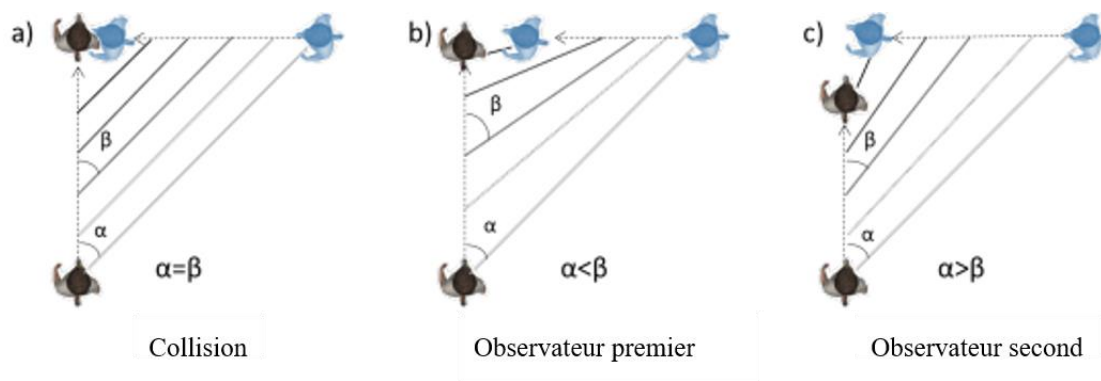


Figure 2. Risque de collision du point de vue de l'observateur en fonction de l'évolution de l'angle de gisement. Si l'angle entre le regard de l'observateur vers l'obstacle (bleu) et la direction de sa marche demeure constant au cours du temps, l'observateur et l'obstacle risquent d'entrer en collision (a). Si l'angle augmente, l'observateur passera avant l'obstacle (b) et s'il diminue, il passera après celui-ci (c) (Olivier, 2020, adaptée de Cutting et. al, 1995).

Le risque de collision ainsi identifié et évalué, il s'agit maintenant de savoir quand cela va se produire. Un invariant lié à l'expansion optique d'une surface sur la rétine, nommé Tau, permet d'estimer le temps restant avant le contact (Time To Contact, TTC) (Lee, 1976).

Le risque de collision est également lié à une notion issue de la « proxémie ». Cette dernière est caractérisée par l'étude des distances sociales entre les individus et a été définie et investiguée par Hall (1963, 1966) qui a identifié quatre zones différentes composant la sphère corporelle, liés aux normes sociales. Le plus éloignée, la zone publique, qui s'étend à partir de 3,50 m est investie lorsque l'on considère des foules, notamment. Ensuite, la distance sociale définie de 1,25 à 3,60 m est utilisée au cours de l'interaction avec des amis et des collègues de travail. La distance personnelle, de 45 cm à 1,25 m est la distance qui permet de s'isoler des autres sans pour autant être très loin. Enfin, la zone intime qui s'étend du corps à corps à 40 cm est la zone la plus proche où l'échange sensoriel est inévitable. Alors que ces distances avaient été définies dans le cadre de station statique, Gérin-Lajoie et al., (2005) ont considéré la notion d'espace personnel durant une tâche d'évitement de collision lors de la marche. L'espace personnel durant la locomotion correspond alors à une ellipse autour du marcheur dont les dimensions longitudinale et latérale sont respectivement de 2,11m et 0,48m (Figure 3). Cette variable serait alors une variable de contrôle de la locomotion dans un environnement encombré, le marcheur

produisant des ajustements de trajectoire afin qu'aucun obstacle ne pénètre dans cet espace personnel.

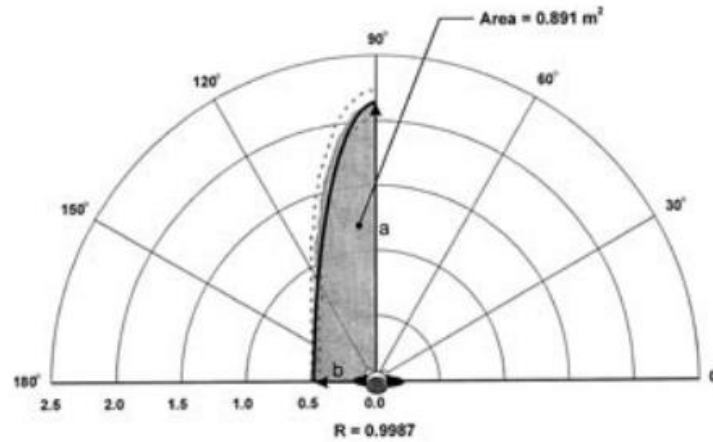


Figure 3. Moyenne globale de la préservation de l'espace personnel (zone grisée) plus ou moins l'écart-type (lignes pointillées). La ligne noire continue est définie par l'équation d'une ellipse basée sur les paramètres : $a = 2.11$ m et $b = 0.48$ m qui correspond presque parfaitement à la courbe moyenne (Gérin-Lajoie et al., 2005)

Après avoir abordé la question de la détection du risque de collision, nous allons à présent nous intéresser à la manière dont le marcheur évite la collision. Deux stratégies s'offrent à lui : franchir les obstacles en passant au-dessus ou les contourner. De nombreuses études se sont penchées sur l'effet de l'âge sur les stratégies visuo-motrices lors du passage par-dessus un obstacle (Muir et al. 2014 ; Lowrey et al., 2007 ; Chen et al., 1991 ; Winter, 1987). Dans le cadre de ce mémoire, l'accent sera mis sur les stratégies de contournement d'obstacle.

1.3.3.2. Passage par une ouverture

Passer par une ouverture ou contourner un obstacle placé sur la trajectoire de passage exige un certain degré de réorientation des segments du corps. Une multitude d'études se sont intéressées à ces modifications. Pour commencer, le passage par une ouverture a mis en lumière des stratégies adoptées par les adultes telles qu'une orientation de la direction de la marche vers le centre de l'ouverture, une diminution de la vitesse de marche et un changement de la configurations corporelle (Higuchi et al., 2006; Higuchi et al., 2012). En effet, en lien avec les affordances et donc les potentialités qu'offre l'environnement, un seuil critique lié au ratio largeur ouverture/largeur épaules en dessous duquel l'individu tourne les épaules a été identifié.

Ce seuil, qui est donc associé à la modification de l'axe des épaules, a été défini pour une ouverture inférieure à 1.3 fois la largeur des épaules lors du passage chez les adultes (Warren & Whang, 1987). En revanche, ce seuil critique se révèle différent en fonction de la population considérée ; les personnes âgées tournent les épaules pour des valeurs d'ouverture plus importantes, élevant le ratio critique à 1.6 fois la largeur des épaules (Hackney & Cinelli, 2011, 2013). Cette augmentation du seuil est liée à une plus grande variation du mouvement du centre de masse, observable à travers des oscillations médio-latérales du tronc plus importantes chez les personnes âgées que chez les autres sujets. Prenant en compte leurs possibilités d'action dans la mise à l'échelle de l'environnement, les sujets âgés adaptent donc leur stratégie d'évitement afin de conserver leur intégrité physique, ce qui se traduit par une augmentation du seuil critique. Malgré des stratégies similaires initiées par les jeunes et les plus âgés basées sur les informations issues de l'environnement et de leur corps lui-même, il existe donc des différences dans leur réalisation.

Tout comme le passage d'ouverture, le contournement d'obstacles statiques implique, lui aussi, des ajustements visuo-moteurs afin de se déplacer sans danger en évitant la collision.

1.3.3.3. Contournement d'un obstacle statique

Vallis et McFadyen (2003) se sont intéressés aux réorientations des segments corporels lors d'une tâche de contournement mais aussi aux ajustements locomoteurs mis en place pour éviter l'obstacle, telle que la réorientation de la trajectoire, notamment. Ils ont alors demandé aux sujets d'éviter par la droite ou la gauche un cylindre placé sur leur trajectoire initiale en ligne droite, à leur propre rythme de marche. Ils ont démontré que les marcheurs mettaient en place des ajustements locomoteurs anticipateurs trois pas avant le passage de l'obstacle. En effet, ils ont pu observer une augmentation de leur largeur de pas, caractérisée par des déplacements médio-latéraux importants du centre de masse (50 cm) avant le croisement de l'obstacle. Leur vitesse de marche, quant à elle, se trouvait inchangée, comparativement à une situation en ligne droite. D'autres études ont porté sur le contournement d'obstacles revêtant une forme humaine. Gérin-Lajoie et al. (2005) ont eux aussi mis en lumière des ajustements locomoteurs anticipateurs lors de l'évitement d'un mannequin placé sur le trajet. En plus de cela, ils ont identifié deux phases lors de l'évitement : une phase anticipatoire et une phase d'effacement. La première caractérise la modification de la trajectoire six pas avant l'impact potentiel, avec un ajustement de trajectoire lors du dernier pas ; la stratégie d'évitement débute à une distance

constante de l'obstacle. La seconde correspond à la phase de croisement de cet obstacle où l'individu évite ce dernier en s'assurant de conserver son espace personnel qui correspond à une distance constante égale à un tiers de la longueur de pas. Cet apport démontre que le comportement adopté par le marcheur a pour but l'évitement d'un contact physique avec l'obstacle mais pas seulement ; il est aussi à l'origine de la préservation de l'espace personnel. Lors du contournement, il semblerait que la réorientation segmentaire du corps dans la nouvelle direction soit initiée depuis la rotation de la tête (Patla, Adkin, & Ballard, 1999).

La comparaison des stratégies d'évitement entre de jeunes adultes et des personnes âgées permet de mettre en lumière des différences. En effet, l'âge a un effet sur la longueur de pas, la vitesse de marche avec des valeurs plus élevées relevées chez le premier public. En revanche, la réorientation du corps mise en place avant le contournement de l'obstacle a lieu plus tôt chez le second public et se déroule de manière différente si l'on compare les jeunes adultes et les personnes âgées. Effectivement, alors que les sujets âgés sont les seuls à effectuer des mouvements du tronc (i.e., oscillations), les sujets jeunes, sont, quant à eux, les seuls à effectuer des mouvements de tête horizontaux en lien avec le changement de trajectoire. Cette dernière différence pourrait en partie être expliquée par des stratégies visuelles divergentes puisque les âgés fixent davantage le sol comparativement aux jeunes adultes (45% des regards contre 19%) mais aussi par le besoin de s'assurer qu'ils puissent scanner visuellement l'environnement et maintenir une stabilité dynamique tout en contournant l'obstacle (Paquette & Vallis, 2010)

Alors que nous venons de montrer des différences de stratégies d'évitement d'obstacles immobiles entre des jeunes adultes et des personnes âgées, il convient de s'intéresser à l'effet de l'âge dans des situations plus complexes de contournement d'un obstacle mobile.

1.3.3.4. Contournement d'un obstacle dynamique

Le risque de collision est inhérent au déplacement et l'évitement d'obstacle dynamique est une habileté dont chacun d'entre nous a besoin dans sa vie quotidienne afin de conserver son intégrité physique. Lors de la traversée de route, par exemple, la capacité à juger la situation, à estimer le risque de collision va être fondamentale pour le marcheur. Dans ce cadre, l'étude menée par Dommès et. al (2013) plaçant les sujets jeunes et âgés dans un simulateur piéton où il leur est demandé de traverser la route virtuelle lorsqu'ils estiment que l'intervalle entre deux véhicules est suffisant, montre que les personnes âgées ont plus de difficulté à évaluer le temps

restant avant la collision. De plus, il semblerait que les marcheurs âgés se basent davantage sur un critère de distance les séparant des voitures et non de temps, comme le font les jeunes adultes. Les personnes âgées, par ce traitement des informations, négligent la vitesse des véhicules et préfèrent donc traverser lorsque ceux-ci roulent à une vitesse plus élevée car la distance qui les sépare est plus grande. De ce fait, ils sont à l'origine de mauvaises décisions qui impactent leur sécurité lors de la traversée. C'est une incapacité à traiter les informations visuo-motrices rapidement qui serait à l'origine de l'inadaptation de leurs décisions (Dommès et al., 2013), or, ne pouvant augmenter suffisamment leur vitesse de marche pour compenser cette prise de décision dangereuse, cela fait d'eux une population à risque lors de déplacements qui peuvent être couramment effectués dans la vie quotidienne.

Plusieurs études se sont intéressées aux stratégies d'évitement de collision d'obstacles mobiles, qualifiés de « passifs » car leur trajectoire est prévue à l'avance et est indépendante du comportement du marcheur. Cinelli et Patla (2007) ont fait varier la vitesse de déplacement d'un mannequin tiré par un câble se déplaçant en ligne droite face au sujet testé afin d'étudier la stratégie visuo-motrice mise en place par celui-ci. Avec ce dispositif, deux conditions expérimentales ont été considérées, se différenciant par la présence ou non d'une contrainte environnementale. La première laissait le marcheur libre dans ses déplacements jusqu'au point d'arrivée, alors que la seconde le contraignait à passer dans une porte de 90 cm de largeur, (Figure 4). La vitesse de déplacement du mannequin variait entre 0,8, 2 et 2,2 m/s.

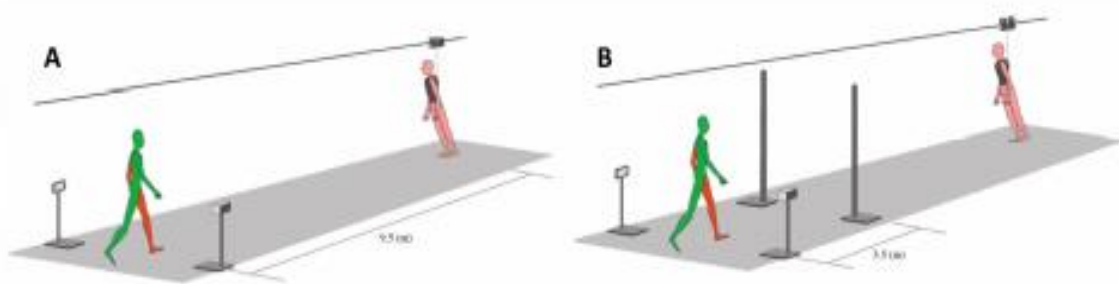


Figure 4. Configuration des deux études menées afin d'investiguer les stratégies d'évitement de collision avec un obstacle mobile. Le sujet évite le mannequin qui arrive face à lui lors d'une tâche non contrainte (a) et contrainte en passant dans une ouverture de 90 cm de largeur (b) (Cinelli & Patla, 2007).

Dans la première configuration, les auteurs ont démontré que la déviation médio-latérale du centre de masse était initiée à une distance constante, indépendamment de la vitesse de l'objet.

En revanche, la vitesse de déviation médio-latérale était plus élevée lorsque l'objet arrivait rapidement.

La seconde configuration a montré qu'un déplacement médio-latéral du centre de masse était initié plus loin de la porte pour la condition la plus lente (0.8 m/s) que pour les deux conditions plus rapides (2 et 2.2 m/s). Les individus seraient donc capables de modifier leur stratégie motrice en fonction de la vitesse de l'obstacle dynamique. De ce fait, ils seraient en capacité d'évaluer le TTC et d'adapter leur locomotion pour faire face à la situation. Ces mêmes auteurs ont également montré que lors de l'évitement d'un obstacle, un changement dans la direction de marche était initié en premier lieu, suivi d'une modification de la vitesse de marche. Si la vitesse du mannequin n'impactait pas l'instant d'initiation du changement de trajectoire, c'est le placement de la porte qui avait un effet sur cela : cet instant avait lieu plus tard lorsque la porte était positionnée avant la collision (Cinelli & Patla, 2008).

Plus récemment, Pfaff et Cinelli (2018) ont remplacé le mannequin par un sujet confédéré. Cette personne, entraînée pour ne réaliser aucune adaptation du mouvement, a permis de se focaliser sur celles du sujet qui ne pouvait donc pas compter sur la collaboration du confédéré pour participer à l'évitement. Ainsi, ce paradigme, plus proche d'une condition de croisement réel que le précédent, représente davantage une situation issue de la vie quotidienne. Cette étude a révélé que lorsque la trajectoire du confédéré était prévisible pour le sujet, le TTC était plus important pour déterminer quand il devrait changer de trajectoire, comparativement à une trajectoire imprévisible. Les indices issus de l'environnement jouent donc un rôle majeur dans l'évolution du TTC, mais aussi dans la mise en place des adaptations effectuées par l'individu, influencées par celui-ci.

Un autre paradigme expérimental a été développé par Olivier et al. (Olivier et al., 2012, 2013) reposant sur une tâche de croisement à 90° entre deux marcheurs. Plusieurs expérimentations ont été menées dans un espace de forme carrée dans lequel quatre murs occultants étaient installés (Figure 5) afin que les participants puissent atteindre une vitesse de confort avant de se voir et d'interagir. Les sujets occupaient les quatre coins de la zone expérimentale et devaient se rendre à l'autre bout de la diagonale du carré. Ils portaient des casques surmontés de marqueurs permettant de relever leur position à chaque instant. Afin de caractériser l'interaction, les auteurs ont défini la variable « distance minimale prédite » (*mpd*).

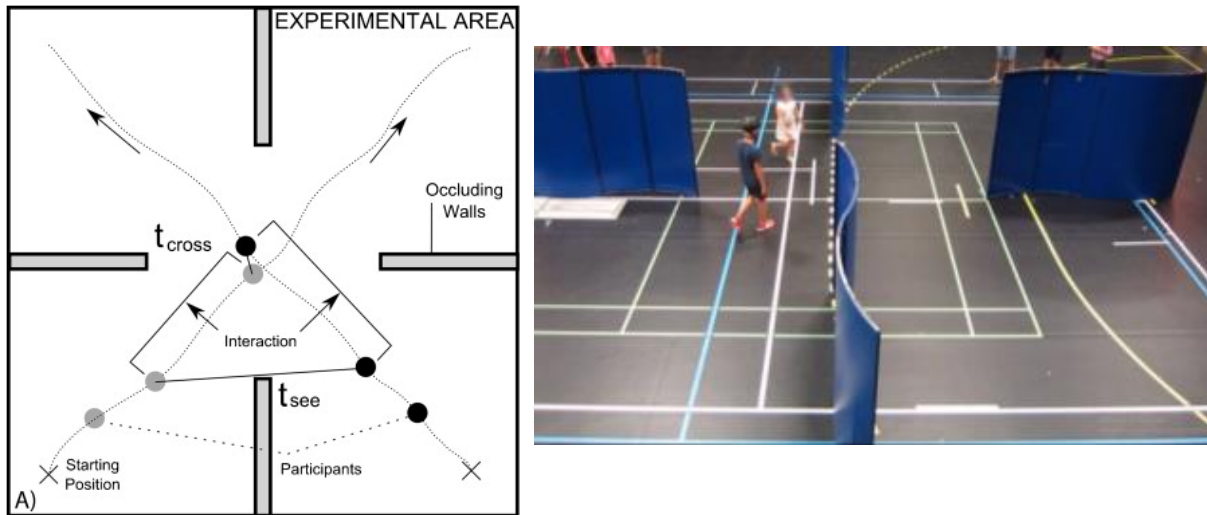


Figure 5. Configuration du paradigme d'évitement de collision en croisement à 90° par Olivier et al., 2012, 2013 ; Rapos, 2019.

Cette variable, qui s'appuie sur la vitesse et l'orientation de chacun des participants à chaque instant, prédit la distance future de croisement entre les deux marcheurs si aucune adaptation de mouvement n'est initiée. mpd est calculée sur la période d'interaction afin de rendre compte de ces adaptations mises en place. La phase d'interaction débute à partir du moment où les deux marcheurs peuvent se voir (instant t_{see}) et se termine lorsque les marcheurs se croisent (instant t_{cross} , lorsque la distance séparant les deux marcheurs est minimale). Les résultats ont montré que les marcheurs n'adaptent leur mouvement que si le risque initial de collision future était inférieur à une valeur de 1 m, valeur pouvant être mise en correspondance avec la notion d'espace personnel précédemment décrite (Gérin-Lajoie et al., 2005).

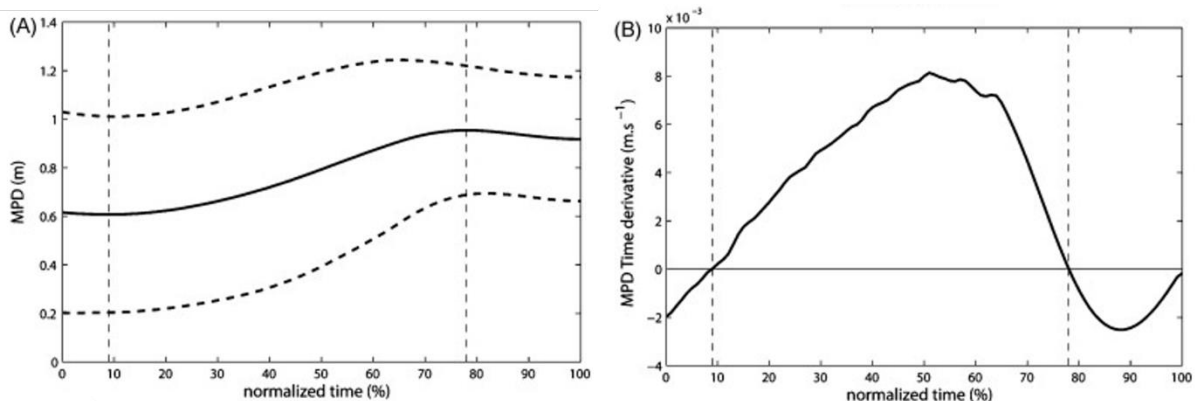


Figure 6. Evolution moyenne de $mpd(t)$ lorsque $mpd(t_{see})$ est inférieure à 1 m (a) et dérivée en fonction du temps (b). Les lignes verticales de pointillés définissent 3 phases successives observables lors de l'interaction : l'observation, la réaction et la régulation (Olivier et al., 2012).

L'évolution de la mpd durant la phase d'interaction permet de décrire la séquence temporelle de l'évitement. Ainsi, les auteurs ont pu mettre en avant trois phases (Figure 6) : l'observation, lorsque $mpd(t)$ est constante, la réaction, période pendant laquelle $mpd(t)$ augmente grâce à une adaptation de la locomotion afin d'accroître la distance future de croisement, et enfin, la régulation, caractérisée par une $mpd(t)$ qui atteint un plateau puis diminue légèrement (Olivier et al., 2012). De plus, chacun des deux marcheurs collabore à l'évitement, cependant, les rôles dans l'interactions, définis par l'ordre de passage au croisement (un marcheur passe premier, l'autre second) vont avoir un impact sur les stratégies adoptées. En effet, le fait de passer premier ou second dans le croisement va avoir un effet sur la combinaison des stratégies en vitesse et orientation, mais aussi sur l'importance de la contribution de chacun d'entre eux ; les deux marcheurs réorientent leur trajectoire mais le participant qui passe en seconde position contribue davantage et adapte également sa vitesse (Olivier et al., 2013).

Basé sur des protocoles assez similaires, plusieurs expérimentations ont été menées afin d'investiguer, grâce à la variable mpd , l'interaction du marcheur avec son environnement dans des tâches de croisement impliquant un robot mobile (Vassallo et al., 2017) un fauteuil roulant électrique (Olivier et al., 2019), ou bien des populations spécifiques (Rapos et al., 2019) (e.g. enfants, athlètes ayant subi une commotion cérébrale).

Dans ce contexte, Rapos, Cinelli & Olivier (2020) se sont intéressés aux adaptations mises en place par des personnes âgées lors d'une tâche d'évitement entre deux marcheurs. Cette expérimentation, qui suit un protocole similaire à celui de Olivier et al. (2012), excepté dans les combinaisons d'interaction entre les deux populations de marcheurs qui sont différentes, étudie l'interaction entre sujets jeunes et âgés, notamment. Les essais ont donné lieu à des interactions entre des marcheurs jeunes - âgés, âgés - âgés et jeunes - jeunes. Cette étude a montré que le seuil de $mpd(t_{see})$ lié au déclenchement d'une adaptation était plus élevé lorsque l'interaction concernait au moins un sujet âgé. Cela semble traduire la présence de stratégies davantage conservatrices chez cette population. En revanche, la distance de croisement relevée dans l'interaction âgé - âgé est plus faible que dans chacune des autres conditions. Alors que dans l'étude menée en 2012 sur des sujets adultes, l'ordre de passage initial à t_{see} était préservé, on observe ici un taux d'inversion élevé lors du croisement entre les deux marcheurs impliquant au moins un sujet âgé. De ce fait, on peut en déduire que les personnes âgées présentent des déficits dans le traitement visuo-moteur, ce qui génère des stratégies inadaptées. De plus, si l'on considère l'interaction entre une personne jeune et une personne âgée, la contribution du jeune est bien plus importante lorsqu'il interagit avec une personne âgée. D'autre part, le taux

d'inversion élevé dans les interactions âgé – jeune pourrait être lié à une action du jeune adulte pour laisser passer la personne âgée en première, probablement dû à des normes sociales.

Les marcheurs utilisent donc des informations spatio-temporelles qui caractérisent la situation pour réguler le mouvement. Cependant, il se trouve que les personnes âgées ne se fient pas aux mêmes informations que les jeunes adultes comme en témoigne l'étude de Dommès (2013) qui démontre une intégration respective lors des déplacements de la distance pour les uns et du temps pour les autres. Alors que la *mpd* a permis de mettre en avant l'effet de l'âge sur les stratégies d'évitement mises en place par les personnes âgées, notamment avec de nombreuses inversions de l'ordre de passage qui traduisent une mauvaise perception de la situation et un timing dérégulé, la question de l'utilisation du TTC, elle, demeure encore à explorer aujourd'hui.

Considérant un sujet dans son environnement, il arrive fréquemment que celui-ci doive résoudre une situation de double tâche, notamment en lien avec l'utilisation d'un téléphone lors de la locomotion. Ce processus est affecté avec l'âge, à cause d'une déficience dans l'intégration sensorimotrice de l'environnement. Dans ce contexte, les personnes âgées donneraient la priorité à la tâche locomotrice sur la tâche cognitive lors d'une tâche d'évitement d'obstacle mobile. Par ailleurs, une absence de réduction supplémentaire de la vitesse de marche chez les personnes âgées par rapport aux plus jeunes pourrait les exposer à un risque accru de collision dans les endroits très fréquentés (Souza Silva et al., 2020).

Face à l'altération des coordinations visuo-motrices qui impacte directement les déplacements des personnes âgées au quotidien (e.g. lors de traversées de route, de déplacement dans des environnements peuplés) rendant leurs prises de décisions plus risquées, il semble judicieux de se demander quelles interventions pourraient les aider à limiter ou ralentir l'effet de l'avancée en âge. Aujourd'hui, de nombreux programmes à destination des personnes âgées sont mis en place dans ce but, dans différents domaines, tels que la prise en charge par l'Activité Physique Adaptée (APA).

1.4. La prise en charge APA de la personne âgée

1.4.1. Définitions et recommandations

La marche est le moyen de locomotion fondamental qui permet de se déplacer afin d'effectuer les tâches inhérentes à la vie quotidienne, participant ainsi au maintien de l'autonomie. Alors

que les déclin physiques et cognitifs liés à l'âge impactent le pattern de marche, et donc l'autonomie et la qualité de vie des personnes âgées, plusieurs approches peuvent être mises en place pour prévenir ou traiter ces évolutions, comme la prise en charge en APA, qui sera plus précisément approfondie dans cette étude. Celle-ci désigne l'ensemble des pratiques liées à l'activité physique, exercées dans un but de maintien ou d'amélioration de la santé.

L'activité physique, définie par l'OMS comme « tout mouvement produit par les muscles squelettiques, responsable d'une augmentation de la dépense énergétique » constitue un élément indissociable de la prise en charge des personnes âgées. C'est pourquoi, cette même organisation, tout comme l'American College of Sport Medicine, a statué sur des recommandations à destination de ce public en matière d'activité physique afin de rester en bonne santé. Selon ces dernières, les personnes âgées devraient pratiquer « au moins, au cours de la semaine, 150 minutes d'activité d'endurance d'intensité modérée ou au moins 75 minutes d'activité d'endurance d'intensité soutenue, ou une combinaison équivalente d'activité d'intensité modérée et soutenue ». Ils vont même plus loin en estimant que « pour pouvoir en retirer des bénéfices supplémentaires sur le plan de la santé, les personnes âgées devraient augmenter la durée de leur activité d'endurance d'intensité modérée de façon à atteindre 300 minutes par semaine ou pratiquer 150 minutes par semaine d'activité d'endurance d'intensité soutenue, ou une combinaison équivalente d'activité d'intensité modérée et soutenue. » (ACSM, 2017 ; OMS, 2010). Ces recommandations donnent suite aux résultats de nombreuses études démontrant les effets bénéfiques importants et prolongés sur la santé des personnes de plus de 65 ans et mettent en lumière l'importance d'une pratique régulière d'activités physiques.

1.4.2. Rôle de l'APA sur les différents systèmes impactés par l'âge

L'activité physique a été décrite comme le moyen le plus efficace pour conserver un corps et un esprit sain (van Praag, 2009). La littérature, qui s'intéresse aux divers impacts de la pratique d'activité physique chez les personnes âgées est sans appel. Effectivement, nombreuses sont les études qui prouvent que la participation à un programme d'exercice régulier est une intervention efficace pour réduire et prévenir un certain nombre de déclin fonctionnels associés au vieillissement (Elsawy & Higgins, 2010 ; Mazzeo et al., 1998).

La pratique d'activités physiques d'endurance permet d'améliorer la fonction cardiovasculaire des personnes âgées. Les exercices aérobies – associés à des pratiques en endurance (e.g.

natation, course) – permettent de maintenir voire d'élever la forme cardiovasculaire, constituant une bonne thérapie préventive concernant diverses pathologies chroniques et aiguës telles que l'hypertension artérielle, le diabète de type 2, l'ostéoporose, l'obésité, les cancers du sein ou du côlon, ou même la dépression (Muchiri et al., 2018). Effectivement, les bénéfices physiques incluent une diminution de la pression sanguine au repos et une amélioration du profil lipidique, ce qui réduit donc le risque d'hypertension, notamment (Taylor & Johnson, 2008). Ensuite, ce type de pratique peut limiter la perte de force, de mobilité, d'équilibre et d'endurance qui sont autant de facteurs indispensables à l'indépendance des personnes âgées, leur permettant d'évoluer en sécurité pour la réalisation des tâches de leur vie quotidienne (Lobo, 2010). D'autre part, la pratique régulière d'activités aérobies permet d'augmenter la capacité aérobie liée au système cardiorespiratoire et définie par la consommation maximale d'oxygène relative au temps et à la vitesse. Elle permet aussi de diminuer la concentration d'insuline dans le sang, et ainsi, la résistance à l'insuline, trois mois après le programme ce qui impacte le risque de développer un diabète de type 2. Cette pratique, améliore également le profil du sommeil chez les personnes âgées, cependant, l'adaptation du métabolisme ne persiste pas après l'arrêt de l'activité (Lira et al., 2011). Enfin, malgré le fait qu'elle ne puisse pas toujours être mise en place, l'activité aérobie impliquant des percussions (e.g., course) génère une solidification du squelette, réduisant ainsi à plus long terme le risque de fractures de hanche chez la personne âgée (Muchiri et al., 2018).

D'autre part, plusieurs études se sont intéressées aux effets du renforcement musculaire. Ce dernier est associé à une augmentation de la force et à une masse musculaire plus développée. Cette pratique permet aussi de générer une diminution de la masse grasseuse du corps, ce qui réduit le risque d'obésité associé (Muchiri et al., 2018). D'autres bénéfices peuvent être observés : une amélioration de la posture et de la stabilité, de la souplesse, mais aussi des fonctions cognitives (Marom-Klibansky & Drory, 2002). En plus de cela, le renforcement musculaire permet aussi d'améliorer l'équilibre, la coordination et l'endurance, or ces multiples aspects sont en lien direct avec le maintien de l'indépendance (Oshevire, 2012).

Certaines études se sont intéressées à des programmes combinant un entraînement en endurance et en renforcement musculaire et ont également obtenu des résultats significatifs par rapport aux groupes contrôles, notamment concernant le risque de chute (Buchner et al., 1997), qui est un indicateur pouvant altérer la qualité de vie (Sillanpää et al., 2012).

D'autre part, et de manière générale, la participation à un programme d'APA génère des bénéfices physiques, sociaux (e.g., développement de relations sociales), mais aussi

psychologiques (e.g., amélioration de l'estime de soi, de la confiance en soi, réduction de l'anxiété) (Muchiri, 2018). Elle est également liée à de meilleurs niveaux de raisonnement, de mémoire de travail et de temps de réaction et apporte donc des bénéfices cognitifs non négligeables (Clarkson-Smith & Hartley, 1989).

Les bienfaits de l'activité physique chez les personnes âgées et fragiles sont caractérisés par des adaptations physiologiques, métaboliques, psychologiques et fonctionnelles, qui peuvent contribuer à maintenir un certain niveau de qualité de vie. La participation à un programme régulier d'APA est donc un moyen efficace et sûr de limiter le déclin fonctionnel associé au vieillissement en passant par un maintien de l'indépendance. Une programmation multifactorielle semble intéressante afin d'appréhender toutes les facettes du déclin lié à l'avancée en âge, incluant des séances d'endurance et de résistance, ainsi que des exercices d'équilibre et de souplesse (Marom-Klibansky & Drory, 2002). Bien que l'apport de bénéfices via la pratique d'activité physique chez les personnes âgées ait été prouvée à de multiples reprises, il semble pertinent, au vu de cette étude, de s'intéresser à l'impact de ces pratiques et programmes sur leur locomotion, plus spécifiquement.

1.4.3. Rôle et méthodes d'intervention APA sur la capacité fonctionnelle de marche de la personne âgée

Le processus de vieillissement, associé à un mode de vie inactif génère des conséquences négatives sur l'autonomie et la qualité de vie en diminuant la capacité fonctionnelle, définie par la capacité à effectuer des activités de la vie quotidienne de manière sûre et efficace (Clark, 1989). Elle repose sur plusieurs éléments comme la force, la souplesse, l'agilité, l'équilibre dynamique et la coordination, qui sont aussi requis lors de la marche. Des troubles dans le pattern de marche liés à des niveaux réduits d'agilité et d'équilibre mais aussi à des déficits cognitifs ont été associés à un risque accru de chute (Bird et al. 2013 ; Yogev-Seligmann et al., 2008), c'est pourquoi l'intervention en APA pour réapprendre ou conserver une certaine mobilité semble indispensable. La mobilité n'est pas seulement définie par l'habileté à marcher et se mouvoir mais prend aussi en considération l'environnement et la capacité de l'individu à s'adapter à celui-ci (Rivera et al., 2008). Pour limiter autant que possible l'atteinte de la capacité fonctionnelle de marche et de la mobilité de la personne âgée, diverses méthodes d'interventions peuvent être mises en place.

Pour commencer, le *Square-Stepping-Exercise* (SSE) est un exercice créé au Japon basé sur un travail de l'agilité, de la force des jambes, de la vitesse de locomotion, de la souplesse et de l'équilibre. Il consiste à diviser un tapis en plusieurs carrés et à faire faire aux sujets différents types de pas (i.e., en avant, en arrière, latéraux et obliques) complexifiant le schéma au fur et à mesure du suivi. La participation à cette intervention pour une durée de six mois, une fois par semaine ou douze semaines à raison de 70 minutes, deux fois par semaine, a démontré un développement de l'aptitude fonctionnelle des membres inférieurs (Shigematsu et al., 2008; Shigematsu & Okura, 2006). En plus de ces évolutions physiques, il a ensuite été prouvé que cette technique d'intervention développait certains aspects cognitifs des participants, incluant l'attention, la mémoire et les fonctions exécutives (Teixeira et al., 2013). D'autres études ont montré que la participation des personnes âgées à ce type de programme d'intervention (SSE) permettait d'améliorer leur équilibre et leur capacité de marche. Dans ce sens, les interventions plaçant la marche au centre de la prise en charge pourraient être une option intéressante pour conserver la mobilité de ce public. De ce fait, la marche nordique qui consiste à se déplacer en marchant grâce à des bâtons spécialement conçus pour ce sport, mobilisant une grande partie des chaînes musculaires du corps en fait un bon sujet d'investigation. Les programmes basés sur ce type d'intervention ont montré une amélioration de la mobilité mais aussi d'autres capacités fonctionnelles en découlant, telles que la force, l'endurance et l'équilibre (Parkatti, Perttunen, & Wacker, 2012). Une période d'intervention de seize semaines impliquant une participation de 60 minutes trois fois par semaine permettait d'ores et déjà d'observer des améliorations concernant la mobilité (Li, Fisher & Harmer, 2005).

Par ailleurs, un programme d'intervention en renforcement musculaire mis en place durant six mois a également prouvé ses bénéfices en termes de mobilité pour des personnes âgées de 63 à 80 ans (Vincent et al., 2002). C'est également le cas d'autres programmes d'intervention en APA, basés sur ce type de pratique, qui démontrent une augmentation de la force musculaire, et une amélioration de certains aspects associés à la limitation fonctionnelle tels que la vitesse de marche chez les personnes âgées (Latham et al., 2004).

Les programmes et protocoles mis en place ne se limitent pas à la pratique d'activités physiques conventionnelles, comme en témoigne l'« *exergame* » qui constitue une contraction entre les mots anglais « *exercise* » et « *game* », désignant par ce terme un jeu vidéo d'entraînement dans un esprit ludique de remise en forme (e.g., jeu vidéo sur Wii Fit Board). Il a été prouvé que ce type de pratique permettait une amélioration significative des fonctions physiques et cognitives

concernant le contrôle exécutif et la vitesse de traitement de l'information, qui sont des paramètres directement impliqués dans la locomotion (Maillot, Perrot, & Hartley, 2012).

Alors que les programmes d'activités physiques adaptées sont diversifiés par leur approche et leur contenu, il semblerait qu'ils aient de réels bénéfices sur les composantes de la mobilité dans la locomotion tels qu'une amélioration de l'équilibre, de la force musculaire et de l'endurance, notamment. Les études s'intéressant aux effets des programmes d'APA démontrent effectivement de multiples bienfaits chez la personne âgée. Cependant, ceux-ci sont réalisés dans des conditions qui ne représentent pas un environnement habituel, issu de la vie quotidienne. De la même manière, les évaluations permettant de rendre compte des effets d'un programme sont généralement effectuées dans un environnement statique, dépourvu de lien avec les situations rencontrées quotidiennement. Les évolutions sont donc observées dans un environnement contrôlé, mais qu'en est-il en condition écologique ?

1.4.4. Enjeu de l'approche écologique dans la prise en charge

Considérant l'approche écologique, la marche demande une intégration de l'environnement et requiert un bon équilibre, une certaine agilité et des compétences cognitives. De ce fait, la marche nécessite une prise en compte de l'environnement car l'individu doit être capable de se déplacer tout en traitant les données intrinsèques (e.g., vitesse de marche) mais aussi extrinsèques (e.g., les autres marcheurs) afin d'adapter sa locomotion pour évoluer en toute sécurité. Pour traverser la route, par exemple, l'individu devra marcher, tout en prenant en compte les informations visuelles qui lui permettront d'adapter sa locomotion. Dans ce contexte, le déplacement des voitures, la couleur du pictogramme d'indication de traversée, les irrégularités du sol, les autres marcheurs sont autant d'indications à prendre en compte pour évoluer sans risque.

Malgré l'importance de considérer l'individu dans son environnement lors de la prise en charge, comme le démontre l'approche écologique, les programmes d'intervention proposés aujourd'hui sont davantage focalisés sur la tâche et l'individu, laissant généralement de côté l'environnement. Pourtant, aujourd'hui, les auteurs commencent à s'intéresser au développement de techniques pour entraîner les coordinations visuo-motrices dans le cadre de l'évitement de collision chez les personnes âgées.

Dans cette logique, certains programmes se sont intéressés aux effets d'un entraînement visuel comme c'est le cas de l'étude menée par Reed-Jones et al. (2012) qui avait pour but de comparer un groupe qui s'est entraîné à réaliser des mouvements corporels guidés par la vision, couplé à des exercices d'agilité et un groupe qui s'est entraîné uniquement avec des exercices d'agilité, sur une tâche de passage d'obstacles. Des gains au niveau de la forme physique, de la mobilité et de la puissance des membres inférieurs ont pu être observés pour chacun des groupes. De plus, alors que l'information visuelle est un facteur critique dans la réussite de l'évitement des obstacles, il semblerait qu'un entraînement spécifique puisse permettre d'améliorer le passage d'obstacles en termes de temps et de collision (22%), davantage qu'un entraînement uniquement basé sur l'agilité (18%). De la même manière, il a été prouvé qu'un entraînement incluant des feedbacks visuels, basé sur un travail de transfert de poids pour éviter l'obstacle (i.e., direction antéro-postérieure ou médio-latérale) permettait de générer une réponse posturale plus en phase avec le moment de collision de l'obstacle mobile lors d'une tâche d'évitement de collision. De surcroît, l'entraînement en médio-latéral a entraîné une réduction de l'amplitude du balancement, ainsi qu'une augmentation de la vitesse du tronc lors de l'évitement (Hatzitaki et al., 2009), traduisant une réponse plus efficace à la tâche.

Ensuite, plaçant l'individu dans une tâche écologique de traversée de route à l'aide d'un simulateur, il a été démontré qu'un programme d'entraînement pouvait avoir des bénéfices à court et long terme chez la personne âgée. Effectivement, après le programme mais aussi six mois plus tard, les résultats ont montré des améliorations comportementales quant aux décisions de traverser ou non la route, tendant vers des choix moins risqués. En revanche, ils ne prenaient toujours pas la vitesse de la voiture en considération, continuant de baser leur réflexion sur un critère de distance (Dommès et al., 2012) qui traduit un risque réel lors d'une traversée de route avec des véhicules roulant à vive allure.

Très récemment, une étude menée au Japon (Kondo et al., 2021), s'est intéressée à l'entraînement des personnes âgées en réalité virtuelle (RV) dans le but de mesurer son effet sur leur stratégie d'évitement lors d'un passage d'ouverture. L'avantage du protocole mis en place en RV est de pouvoir éviter les collisions physiques entre les personnes entraînées et les éléments de l'environnement lors des passages d'ouvertures. Au cours de cette tâche, les participants se sont entraînés à plusieurs reprises à franchir l'ouverture projetée en RV (Figure 7), tout en limitant au minimum nécessaire la rotation du corps.

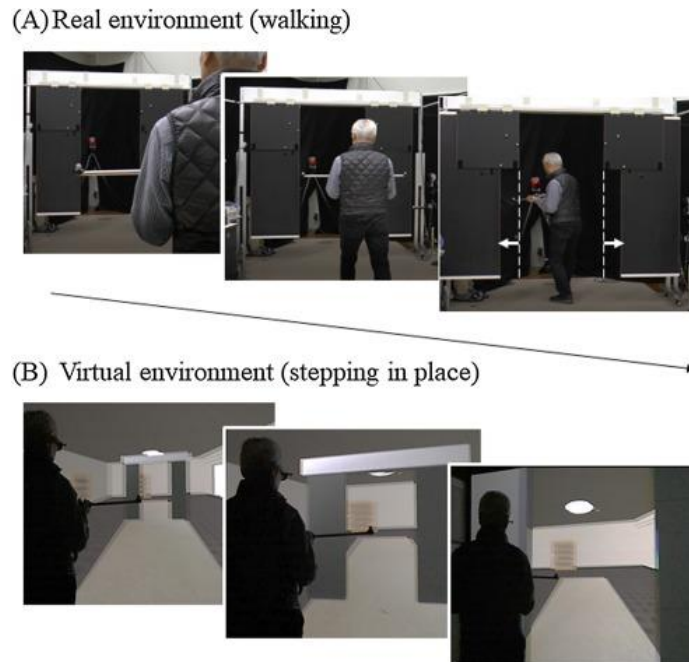


Figure 7. Environnement réel (A) et virtuel (B) lors de l'expérimentation dont la tâche implique un franchissement d'ouverture (Kondo et al., 2021)

Pour complexifier la tâche, le sujet tient une barre horizontale dans ses mains. Basé sur cette procédure, l'entraînement repose sur des essais de franchissement d'ouverture de taille constante pour le groupe contrôle (2.0 fois la longueur de la barre) et de taille variable pour le groupe d'intervention (de 0.7 à 1.3 fois la longueur de la barre), organisés de manière randomisée. Dans cette étude, l'angle de rotation des épaules a été mesuré avant et après l'entraînement et les résultats nous indiquent que les participants du groupe d'intervention ont eu tendance à éviter les collisions de manière suffisante et efficace, ce qui traduit des ajustements segmentaires réalisés avec des rotations plus adaptées. En revanche, le taux de collision n'a été amélioré pour aucun des groupes. Ces résultats suggèrent que l'entraînement en RV a eu un effet parce qu'il a amené les participants âgés du groupe d'intervention à se déplacer plus efficacement, alors qu'aucun sujet issu de chacun des groupes n'a appris à éviter les collisions de manière suffisante et efficiente.

Cette étude très récente, qui illustre les prémisses de la potentialité qu'offre la RV pour la prise en charge des personnes âgées, démontre l'importance de considérer l'environnement dans lequel évolue l'individu afin de mettre en place une réhabilitation efficace. Cela est aussi le cas lors de la conception et mise en place de programmes d'APA, car la capacité de locomotion est le résultat de l'interaction entre l'individu, la tâche et l'environnement, qui sont autant de variables à prendre en compte. Cependant, aujourd'hui, ces types d'intervention se focalisent

sur l'individu (e.g., renforcement musculaire) et sur la tâche (e.g., travail en double tâche) en oubliant de travailler sur l'environnement et sur l'adaptation de la personne par rapport à celui-ci. De ce fait, pour inclure cet élément dans la proposition de nouveaux designs de prise en charge en APA, il s'agit en premier lieu de comprendre comment la personne âgée évolue dans l'environnement, interagit avec lui et quelles adaptations visuo-motrices elle met en place, notamment en lien avec le TTC, qui nécessite d'être exploré. Dans ce contexte, investiguer les stratégies d'évitement des personnes âgées lors de tâches d'évitement prend alors tout son sens.

1.6. Synthèse et objectif

Les individus s'adaptent en permanence à leur environnement pendant la locomotion, afin de se déplacer en évitant tout risque de collision. Dans ces environnements dynamiques, le couplage entre la perception et l'action est essentiel pour effectuer des mouvements appropriés et sûrs. Alors que la personne âgée, par le phénomène de senescence, voit ses coordinations motrices et cognitives impactées, on observe également des effets sur les coordinations perceptivo-motrices. Le système visuel et son utilisation lors du contrôle du mouvement sont notamment affectés par l'avancée en âge, traduisant des coordinations visuo-motrices différenciées entre un jeune et un marcheur plus âgé. La question de ces coordinations entre deux marcheurs et l'effet de l'avancée en âge a principalement été abordée en considérant des informations de distance future de croisement associées à l'ordre de passage au croisement. Or, dans des tâches de traversée de route, il a été montré que les âgés se reposaient davantage sur des critères de distance et avaient des difficultés à s'appuyer sur des critères temporels. Il semble donc intéressant de considérer la question de ces paramètres temporels pour évaluer l'effet du vieillissement sur le contrôle de l'interaction entre deux marcheurs.

Basés sur la volonté de maintenir, conserver voire améliorer ces coordinations visuo-motrices permettant d'adopter des stratégies plus adaptées aux situations de la vie quotidienne, de nombreux programmes d'APA voient le jour. En revanche, aujourd'hui, bien qu'ils soient associés à de multiples bénéfices prouvés, les programmes d'APA ne prennent pas réellement en compte la question de l'interaction du sujet avec son environnement, favorisant un travail autour des paramètres « tâche » et « individu », définis par le modèle Shumway-Cook (2007).

De ce fait, pour pouvoir proposer de nouveaux programmes permettant d'évaluer la capacité fonctionnelle de la personne âgée dans son intégralité, des travaux sont encore nécessaires pour comprendre, d'un point de vue du contrôle du mouvement, l'effet de l'avancée en âge sur les coordinations visuo-motrices, et en particulier sur ses dimensions temporelles.

Dans cette logique, cette étude va chercher à comprendre comment la personne âgée utilise les informations temporelles caractérisant la situation d'interaction pour se déplacer dans le cadre d'une tâche d'évitement de collision. Pour cela, nous nous appuyons sur le paradigme développé par Cinelli et Patla en 2008 qui, par l'ajout d'une contrainte environnementale (une porte à franchir durant l'interaction entre un marcheur et un mannequin mobile), avait mis en évidence l'utilisation du temps restant avant la collision (TTC) dans une tâche d'évitement de collision chez de jeunes adultes.

2. Méthodologie

Le but de cette étude est d'évaluer l'effet de l'avancée en âge sur les coordinations visuo-motrices. Pour ce faire, nous avons mis en place un protocole expérimental de croisement entre deux marcheurs se déplaçant face à face. Chaque participant est convié à une unique séance de mesure correspondant à ses disponibilités. Une séance regroupe quatre individus, appariés en sexe, dont deux sont de jeunes adultes et deux sont des adultes âgés. Cela permet donc de générer des interactions entre des jeunes adultes entre eux, des personnes âgées entre elles, et des jeunes adultes avec des personnes âgées. Ce protocole a été conçu ainsi afin de pouvoir observer les adaptations initiées par chacun des marcheurs.

Ce protocole a fait l'objet d'une demande d'attestation de conformité à l'éthique auprès du Comité d'éthique de Rennes 2 (dossier 2021-008) qui a reçu une réponse favorable de ce dernier.

Cependant, malgré nos efforts pour mettre en place des mesures de protection des individus face au virus de la Covid-19, l'expérimentation n'a pas pu avoir lieu. Effectivement, il s'agit d'un protocole de croisement impliquant que les participants évoluent face à face et initiant donc des interactions entre eux. Afin de ne pas mettre en danger la vie d'autrui et notamment des personnes âgées dont le recrutement était nécessaire pour observer l'effet de l'avancée en âge sur les coordinations visuo-motrices, nous avons décidé de ne pas effectuer la manipulation en lien avec les conditions sanitaires actuelles.

En revanche, un pré-test impliquant quatre jeunes hommes présents quotidiennement au laboratoire dans le cadre de leur stage a été mis en œuvre, afin de pouvoir affiner le protocole expérimental qui sera effectué lorsque la situation sanitaire le permettra. Les résultats et retours sur cette pré-expérimentation seront présentés en Annexe I.

Dans les parties suivantes, c'est le protocole expérimental final, tel qu'on souhaite le mener, qui sera exposé.

2.1. Hypothèses

Dans cette étude, nous faisons l'hypothèse que l'avancée en âge affecte les coordinations visuo-motrices dans une tâche d'évitement de collision entre deux marcheurs se déplaçant face à face sur un chemin de collision. En particulier, nous nous attendons à observer un effet sur l'usage des informations temporelles, spécifiant le temps restant avant la collision mais également le

temps avant le passage de la porte. Nous prévoyons alors des erreurs dans l'estimation de ces variables temporelles, se manifestant notamment par un taux d'inversion de l'ordre de passage théorique à la porte plus élevé lors de l'interaction entre personnes âgées.

2.2. Méthode

2.2.1. Participants

Dans ce projet, nous souhaitons évaluer les effets de l'avancée en âge (non pathologique) sur les coordinations visuo-motrices impliquées lors de l'interaction entre deux marcheurs. Nous souhaitons ainsi recruter un groupe de personnes âgées (65-74 ans) ainsi qu'un groupe de sujets jeunes (18-30 ans) qui servira de groupe contrôle. Afin de s'affranchir d'un possible effet du sexe sur les stratégies mises en place, les individus recrutés seront affectés à des groupes appariés en sexe. En se basant sur les résultats liés à la puissance des tests de données expérimentales antérieures du Dr M. Cinelli (Hackney, 2013), l'échantillon nécessaire pour observer des résultats significatifs est estimé à 36 individus divisés en deux groupes de 18. Nous visons donc à recruter 18 jeunes adultes et 18 adultes âgés dont les caractéristiques seraient décrites dans le tableau 1, ci-dessous.

Tableau 1. Caractéristiques des participants de l'étude

N total = 36	N	Âge (ans)	Taille (cm)	Largeur d'épaules (cm)	Niveau d'activité physique (GPAQ)
Jeunes hommes adultes					
Moyenne					
Ecart-type					
Jeunes femmes adultes					
Moyenne					
Ecart-type					
Hommes adultes âgés					
Moyenne					
Ecart-type					
Femmes adultes âgées					
Moyenne					

Note. N = nombre de sujets

Pour chacun des groupes, les participants devront avoir une vision normale ou corrigée pour être ramenée à la normale. Les participants devront avoir une largeur d'épaules maximale de 71,5 cm et une taille maximale avec chaussures de 192 cm afin d'éviter de possibles adaptations segmentaires liées aux dimensions de la porte utilisée dans notre paradigme expérimental (Warren & Whang, 1987 ; Stefanucci & Geuss, 2010). De plus, même si la population ciblée comprend un groupe de personnes âgées, nous ne recruterons que les personnes âgées en bonne santé, se déplaçant de manière totalement autonome.

Certains critères de non inclusion existent donc dans le cadre de cette expérimentation. Effectivement, les personnes appartenant à une ou plusieurs catégorie(s) citée(s) ci-dessous ne peuvent pas prendre part à l'expérimentation :

- Femmes enceintes ;
- Individus dont l'âge n'est pas compris entre 18 et 30 ans et entre 65 et 74 ans ;
- Individus dont la taille est supérieure à 192 cm avec chaussures ;
- Individus dont la largeur d'épaule est supérieure à 71,5 cm ;
- Vision altérée, ne pouvant être ramenée à la normale, même avec correction ;
- Nécessité d'une aide à la marche (e.g., canne, déambulateur).

2.2.2. Tâche et dispositif expérimental

La situation expérimentale est illustrée par la figure 8 (A). Les sujets seront placés en face l'un de l'autre mais ne pourront pas se voir au début de l'essai car ils seront séparés par un rideau occultant placé au niveau de la porte qui s'ouvrira lorsqu'ils marcheront à une allure confortable. Plus précisément, il disparaîtra au moment où l'un des deux marcheurs a franchi le repère discret situé deux mètres après le départ, distance permettant d'atteindre une vitesse de confort. Cet outil permet d'empêcher les participants de prendre précocement des informations visuelles sur la position et les caractéristiques du second marcheur, et ainsi, éviter les adaptations anticipatoires. Cela nous permettra par ailleurs de définir le premier instant de l'interaction, auquel on attribuera les conditions initiales de l'interaction. Puis, ils devront franchir en ligne droite une ouverture matérialisée par un contour de porte de dimensions 93 cm de large par 204 cm. Ces dimensions correspondent à des dimensions de portes traditionnelles. Afin de s'assurer que les marcheurs puissent passer la porte sans adaptation

segmentaire (i.e., tourner les épaules ou se baisser), il faut que la largeur de porte soit au moins égale à 1,3 fois la largeur des épaules des participants (Warren & Whang, 1987), soit une largeur d'épaules maximale de 71,5 cm. Concernant la taille des participants, il faut que la hauteur de porte soit au moins égale à 1,03 fois leur taille (Stefanucci & Geuss, 2010), soit une taille maximale des participants de 192 cm avec chaussures, taille qui tient compte du fait que les participants porteront un casque de vélo sur la tête avec des marqueurs, dont la hauteur est estimée à 6 cm (Figure 8 B). Ce paradigme a précédemment été utilisé par Cinelli et Patla (2008) où l'un des sujets était remplacé par un mannequin passif, dont la trajectoire linéaire à vitesse constante était prédéfinie. L'intérêt, ici, d'étudier un croisement entre deux marcheurs est de pouvoir recueillir des informations issues de l'interaction entre les deux individus où chacun agira en fonction du comportement de l'autre.

Comme dans l'étude de Cinelli et Patla (2008), la question de l'utilisation du temps restant avant la collision (TTC) sera investiguée. Dans ce cadre, il s'agit de comprendre à quel instant de l'interaction les marcheurs produisent une adaptation de trajectoire, justement pour éviter la collision, mais également de mettre en relation les adaptations avec l'ordre de passage prédit, c'est-à-dire, qui des deux marcheurs est supposé passer premier ou second par la porte. Cet ordre de passage initial est défini au moment où le rideau s'ouvre, étant données les vitesses respectives de chacun des marcheurs.

De ce fait, nous définissons une première condition pour laquelle la distance entre le point départ (0) et la porte sera de 7 m pour chacun des marcheurs, placés de part et d'autre de la porte, comme illustré sur la figure 8 A. Nous considérons des situations pour lesquelles les participants ne partiront pas chacun de la même distance de la porte, en faisant varier les points de départs des sujets (0 m ; 0.3 m ; -0.3 m) permettant de manipuler l'ordre de passage théorique et ainsi de créer des conditions de franchissement de la porte « avant l'évitement » ou « après l'évitement ». Agir sur cette variable va permettre d'explorer les questions liées au TTC grâce à la notion d'ordre de passage de la porte (premier ou second).

Pour cette étude expérimentale, les participants porteront un casque surmonté de 5 capteurs de mouvement (Figure 8 B). De plus, un capteur sera positionné sur chacune des épaules des sujets afin d'étudier la rotation des épaules lors des essais, notamment pendant le passage sous la porte dans le cas où les deux participants souhaitent passer de manière simultanée sous celle-ci. Chaque séance impliquant quatre participants, ils seront ensuite divisés en deux groupes de deux personnes en fonction de leur âge. Ils marcheront donc d'un point à l'autre en ligne droite sur terrain plat, franchissant l'un après l'autre une ouverture placée sur le trajet et croisant un autre sujet avant ou après le passage de la porte. Afin de contrôler l'effet du niveau d'activité

physique sur la tâche, le questionnaire Global Physical Activity Questionnaire (GPAQ, Annexe II) sera administré par une investigatrice à chacun des sujets.

La tâche proposée dans cette expérimentation reproduit donc des situations de la vie quotidienne, notamment lors de la marche en extérieur où les interactions avec d'autres marcheurs sont fréquentes.

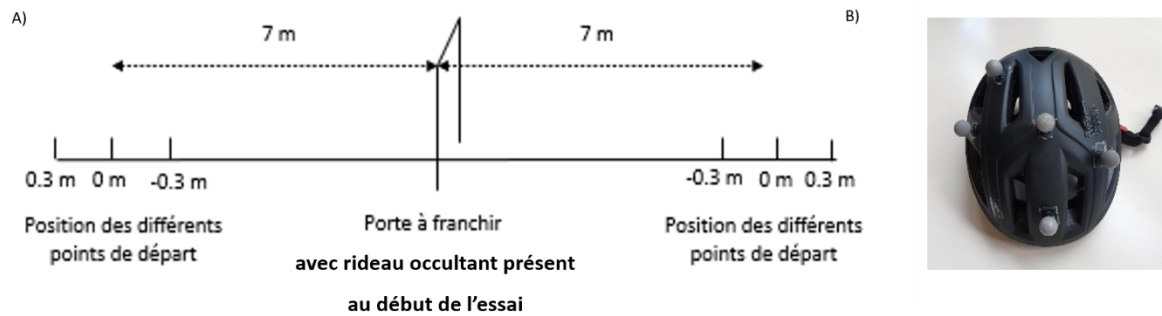


Figure 8. Schéma représentant la mise en place de l'expérimentation (A). Casque de vélo porté par les participants permettant les mesures de trajectoire de marche avec ses 5 marqueurs (B).

Un système de capture de mouvement (Qualisys) composé de 23 caméras optoélectroniques sera disposé autour de la zone expérimentale, afin d'enregistrer à une fréquence d'échantillonnage de 200 Hertz la position de ces marqueurs. L'information enregistrée par ces caméras ne concerne ainsi que des coordonnées de ces marqueurs au cours du temps.

2.2.3. Déroulement

Tout d'abord, les sujets reçoivent une notice d'informations à lire plusieurs jours avant la venue sur le lieu d'expérimentation. Le document décrit le but de l'étude, ses avantages et inconvénients ainsi que son déroulement (Annexe III).

A leur arrivée sur le lieu d'expérimentation (laboratoire de recherche M2S), le dispositif expérimental (couloir de marche, rideau occultant, ouverture à franchir) ainsi que la tâche à réaliser (croisement et évitement d'un marcheur et passage dans une ouverture) sont expliqués aux participants. Lors de l'explication et à l'issue de celle-ci, ils ont l'occasion de poser autant de questions aux investigatrices qu'ils/elles le souhaitent pour répondre à leurs interrogations.

Ensuite, chaque sujet signe un consentement de participation à l'étude et un code de pseudo-anonymisation lui est attribué. Une fois celui-ci signé, le participant répond à un questionnaire

(GPAQ) administré par les investigatrices à propos de son niveau d'activité physique. Sa taille et sa largeur d'épaule sont également mesurées.

Puis, le sujet peut commencer l'expérimentation explicitée précédemment. Les variables manipulées dans un ordre préétabli sont donc les groupes d'âge des participants impliquant des couples d'interaction différents (Jeune-Jeune ; Âgé-Âgé ; Jeune-Âgé) ainsi que le point de départ de chaque sujet (0 m ; 0,3 m ou -0,3 m), influençant directement le point théorique de croisement des deux marcheurs par rapport à la porte. Chaque sujet participe à 52 essais dont 4 sont réalisés seul afin d'obtenir des données de référence en ligne droite. Dans le but d'observer le même nombre d'interaction entre Jeune-Jeune, Âgé-Âgé et Jeune-Âgé, un nombre identique d'essais (32) a été attribué à chaque type d'interaction. Au total, cela représente 112 essais randomisés, répartis entre les quatre participants et divisés en trois blocs (Annexe IV). Chaque essai correspond à une traversée d'environ 14 m qui durera approximativement 10 secondes. Pour cela, chacun s'équipera d'une charlotte de protection et d'un casque de vélo surmonté de 5 marqueurs permettant d'enregistrer sa position au cours du temps lors des essais. De plus, les investigatrices positionneront un marqueur sur chaque épaule des participants pour mesurer la rotation des épaules lors du déplacement.

Après la réalisation des essais, le sujet pourra ôter le casque et la charlotte, et poser à nouveau toutes les questions qu'il/elle souhaite. Il/elle pourra ensuite quitter le lieu d'expérimentation.

2.2.4. Risques

Le protocole proposé implique une tâche de marche à vitesse de confort. Les participants ne réalisent qu'une seule fois le protocole (durée deux heures au total comprenant l'accueil des participants, l'explication de l'étude, la signature des consentements, l'expérimentation, et un temps de discussion) dans les conditions rencontrées habituellement par les participants à savoir :

- Il/elle utilise les moyens de déambulation (chaussures) qu'il/elle a l'habitude de porter
- Il/elle utilise les vêtements qu'il/elle a l'habitude de porter
- Il /elle évolue dans un environnement qu'il/elle a l'habitude de pratiquer (marche sur sol plan horizontal dans un environnement dégagé).

Le risque potentiel est celui d'une chute mais n'est pas supérieur à celui habituellement encouru par le participant qui effectuera une tâche quotidienne locomotrice. La marche à allure de

confort permet de minimiser les risques de fatigue, de gêne ou de blessure dus au protocole de mesure. La distance parcourue par les participants est estimée à environ 730 m, ce qui est très inférieur à la distance recommandée par jour par l'OMS (10000 pas, soit 5 à 6 km).

Par ailleurs, la mesure du mouvement du participant se fait grâce à des caméras infra-rouge qui enregistrent la position d'un casque de vélo (équipé de 5 marqueurs réfléchissants) que porte le participant ainsi que des 2 marqueurs placés sur leurs épaules, au-dessus des vêtements (Figure 9). Ces caméras n'enregistrent que la position des marqueurs et ne peuvent en aucun cas enregistrer les visages des participants. Aucun marqueur ne sera disposé sur la peau des participants. La mesure est donc totalement non invasive.

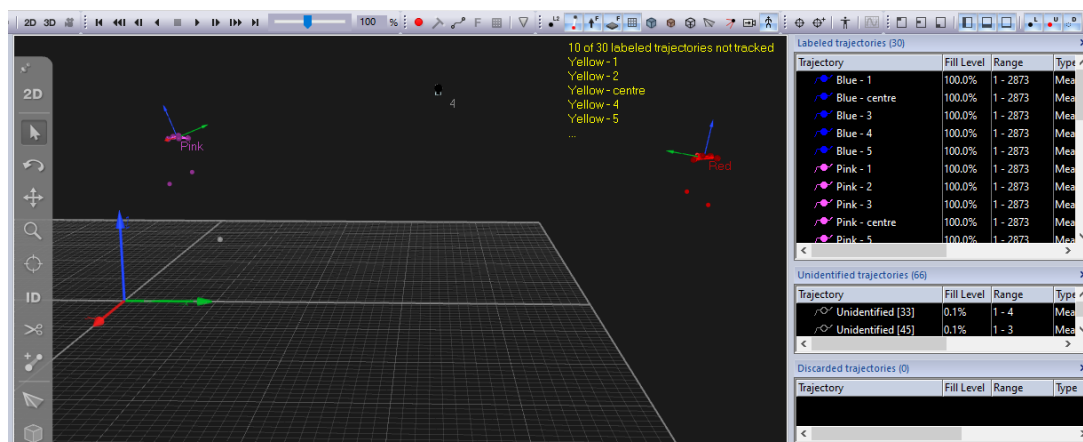


Figure 9. Illustration de ce qu'enregistre le système Qualysis à partir des 5 marqueurs du casque et des 2 positionnés sur les épaules.

Dans le cadre de la complexité du contexte sanitaire actuel, des mesures seront mises en place afin d'assurer la sécurité de tous : port de masques chirurgicaux pour tous et pendant toute la durée passée dans le gymnase, aération de la pièce, nettoyage des mains au gel hydroalcoolique, désinfection des casques et marqueurs portés lors de l'expérimentation.

2.3. Analyse

2.3.1. Variables dépendantes

Les données d'évaluation principales sont issues d'une analyse cinématique de la locomotion. Cette analyse s'effectue sur les données enregistrées du mouvement des cinq marqueurs passifs réfléchissants disposés sur le casque de vélo placé sur la tête du participant ainsi que sur les deux marqueurs placés sur chacune des épaules. La position du participant au cours du temps est calculée comme la moyenne de la position des cinq marqueurs du casque dans le plan

horizontal. A partir de ces données, différentes variables, détaillées ci-après, vont être considérées afin de rendre compte de la nature et du séquençage temporel des adaptations de la trajectoire des marcheurs.

2.3.1.1. Taux d'inversion de l'ordre de passage

Il est défini en fonction de l'ordre de passage théorique sous la porte, défini à l'instant où les sujets peuvent se voir. C'est pourquoi, un rideau sera placé entre chaque participant au début de l'essai afin qu'ils n'aient ni connaissance des caractéristiques du second marcheur ni connaissance de son emplacement par rapport à la porte. Celui-ci s'ouvrira au moment où l'un des deux marcheurs a franchi le repère discret situé deux mètres après le départ, afin qu'ils puissent tous les deux atteindre leur vitesse de confort. C'est à ce moment-là que l'ordre de passage théorique pourra être défini, grâce à la vitesse adoptée par chacun des sujets et la distance qui les sépare de la porte. A une distance égale de la porte, l'individu ayant une vitesse de déplacement plus élevée sera celui qui devra théoriquement franchir la porte le premier. S'il passe en seconde position, alors il s'agit d'une inversion de l'ordre de passage.

2.3.1.2. Caractéristiques de l'interaction à l'instant de l'initiation de la déviation de trajectoire

2.3.1.2.1. Instant d'initiation de la déviation de trajectoire

L'instant d'initiation de la déviation de la trajectoire correspond à l'instant à partir duquel chaque participant initie une modification de sa trajectoire de marche en termes d'orientation. En prenant comme référence le déplacement médio-latéral du milieu de la tête par rapport à la trajectoire moyenne en ligne droite sans obstacle, l'instant d'initiation de la déviation est alors défini lorsque la position médio-latérale du milieu de la tête dévie de plus de deux écart types de cette référence.

2.3.1.2.1. Distance à l'instant d'initiation de la déviation de trajectoire

Cette distance correspond à la distance absolue exprimée en mètres entre chacun des participants au moment où chacun d'entre eux initie une déviation de trajectoire. Cette

variable est calculée pour chacun des marcheurs, grâce aux marqueurs positionnés au milieu des casques.

2.3.1.2.2. *Time to contact (TTC) à l'instant d'initiation de la déviation de trajectoire*

C'est le temps en secondes qu'il reste avant qu'une collision théorique ne se produise entre les participants s'ils continuaient tout deux à marcher à leur vitesse courante. Le TTC s'exprime de la manière suivante :

$$TTC = \frac{\text{distance entre chacun des deux participants au moment de l'évitement}}{(\text{vitesse premier participant à l'instant } t) + (\text{vitesse second participant à l'instant } t)}$$

Il s'agit donc ici de calculer le temps restant avant la collision (TTC) théorique au moment de l'initiation de la déviation de la trajectoire de marche.

2.3.2. *Statistiques*

Le plan statistique principal consiste à évaluer l'effet du groupe d'âge (i.e., jeune adulte – jeune adulte, jeune adulte – adulte âgé, adulte âgé – adulte âgé) sur les variables dépendantes présentées dans la section 2.3.1. En particulier, après avoir vérifié la normalité des variables dépendantes en utilisant le test de Shapiro-Wilk et l'homogénéité des variances grâce au test de Levene, nous utiliserons une ANOVA à une voie et le test post-hoc de Bonferroni, ou son équivalent non-paramétrique le test de Kruskal-Wallis et des tests post-hoc de type Mann-Whitney dont le seuil de significativité sera ajusté par la correction de Bonferroni pour tenir compte des comparaisons multiples. Le seuil de significativité sera fixé à 0,05.

2.4. Résultats

Comme expliqué précédemment, le contexte sanitaire actuel ne nous a pas permis de recruter des personnes âgées car elles représentent une population fragile dans le cadre de l'épidémie de Covid-19. Nous avons donc réalisé des pré-expérimentations sur quatre jeunes hommes adultes (Annexe 1). Les données ont été récoltées grâce au système Qualisys. Cela m'a permis de me familiariser avec la procédure de reconstruction des données sur ce système ainsi qu'aux prémices de l'analyse cinématique dans une telle situation.

3. Perspectives

Aujourd'hui, le protocole expérimental proposé a été validé par le Comité d'Éthique de Rennes 2 et dès que la situation sanitaire s'améliorera, il pourra donc être mis en place.

Dans le cadre de la collaboration avec l'Université Wilfrid Laurier située à Waterloo, au Canada et le Dr M. Cinelli, nous envisageons de réaliser un protocole en réalité virtuelle, en impliquant de jeunes adultes. Celui-ci reprendra le paradigme de Sharp et Cinelli (2021) portant sur l'étude des personnes âgées. Cette étude avait pour but d'investiguer la manière dont les individus utilisent les informations temporelles, et plus spécifiquement, quelle est l'influence des caractéristiques de l'environnement, notamment en termes de vision périphérique sur cette utilisation. Cette étude a porté sur l'exploration de cette question auprès des personnes âgées qui devaient accomplir une tâche de franchissement de porte. Afin d'observer le nombre de collisions théoriques avec la porte, l'utilisation du TTC, le temps nécessaire à la prise de décision, et leur vitesse de déplacement lors de la tâche, ils ont plongé les personnes âgées dans un environnement virtuel où celles-ci devaient soit franchir une porte soit s'arrêter immédiatement si elles estimaient qu'elles n'en avaient pas le temps. C'est la vitesse de fermeture de la porte et les conditions environnementales périphériques, à savoir 1) un environnement vide, 2) la présence d'avatars immobiles ou 3) mobiles, qui étaient manipulées grâce à la réalité virtuelle (Figure 10). Les résultats obtenus ont montré que bien que les personnes âgées soient capables de réaliser une tâche spécifique (i.e., franchissement de porte) et d'agir de manière relativement constante malgré la modification de l'environnement périphérique, il s'avère que c'est la richesse de cet environnement qui leur permet d'avoir des feedbacks à propos de leurs propres mouvements, ce qui impacte directement leurs déplacements.

Cette question de l'utilisation des informations visuelles de l'environnement périphérique, étudiée auprès d'un public âgé, mérite aujourd'hui d'être explorée auprès des jeunes adultes. Effectivement, cette expérimentation permettra tout d'abord d'obtenir des données afin de répondre à notre question initiale, à savoir quels sont les effets de l'avancée en âge sur les coordinations visuo-motrices, en les comparant à celles recueillies pour les adultes âgés (Sharp & Cinelli, 2021). Elles pourront aussi permettre de créer une base de données qui pourra servir de référence pour l'usage de la réalité virtuelle. Effectivement, mener cette étude dans des conditions réelles pourra permettre par la suite de d'effectuer une comparaison entre les données obtenues en réel et en réalité virtuelle afin de valider ou non l'usage de la réalité virtuelle pour de telles études.

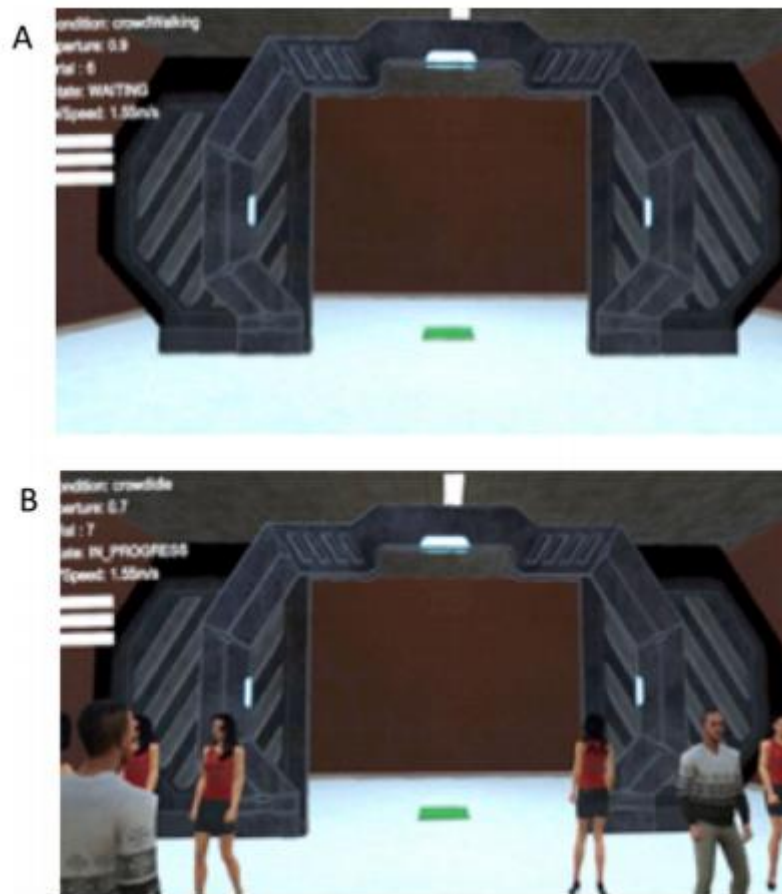


Figure 10. A) Paradigme de réalité virtuelle montrant une porte ouverte dans un environnement vide. B) Paradigme de réalité virtuelle montrant une porte ouverte avec des avatars fixes ou mobiles dans l'environnement périphérique (Sharp & Cinelli, 2021)

Bibliographie

- Almeida, Q. (2017). Neuropsychological Aspects of Gait Disorders. *Locomotion and Posture in Older Adults: The Role of Aging and Movement Disorders*, 33-41.
- American College of Sport Medicine. (1998). Exercise and Physical Activity for Older Adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30(6), 1-19.
- American College of Sport Medicine. (2017). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription*. Philadelphia : Lippincott Williams & Wilkins
- Ballesta-García, I., Ignacio M. G. M., Domingo J. R. C., & Carrasco-Poyatos M. (2020). High-intensity interval circuit training versus moderate-intensity continuous training on cardiorespiratory fitness in middle-aged and older women: a randomized controlled trial. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(5), 1805. doi: 10.3390/ijerph17051805
- Beck, L. H. (1998). Changes in renal function with aging. *Clinics in Geriatric Medicine*, 14(2), 199-210. doi: 10.1016/S0749-0690(18)30113-7
- Bettio, L. E. B., Rajendran, L., & Gil-Mohapel, J. (2017). The effects of aging in the hippocampus and cognitive decline. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 79, 66-86. doi: 10.1016/j.neubiorev.2017.04.030
- Bird, M.-L., Pittaway, J. K., Cuisick, I., Rattray, M., & Ahuja, K. D. K. (2013). Age-related changes in physical fall risk factors: results from a 3 year follow-up of community dwelling older adults in Tasmania, Australia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(11), 5989-5997. doi: 10.3390/ijerph10115989
- Buchner, D. M., Cress, M. E., de Lateur, B. J., Esselman, P. C., Margherita, A. J., & Wagner, R. P. (1997). The effect of strength and endurance training on gait, balance, fall risk, and health services use in community-living older adults. *The Journals of Gerontology : Series A*, 52A(4), 218-224. doi: 10.1093/gerona/52A.4.M218
- Cai, L., Chan, J. S. Y., Yan, J. H., & Peng, K. (2014). Brain plasticity and motor practice in cognitive aging. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 10, 6-31. doi: 10.3389/fnagi.2014.00031

- Callisaya, M. L., Blizzard, L., McGinley, J. L., & Srikanth, V. K. (2012). Risk of falls in older people during fast-walking - The TASCOC study. *Gait and Posture*, *36*(3), 510-515. doi : doi:10.1016/j.gaitpost.2012.05.003
- Chapman, G. J., & Hollands, M. A. (2006). Age-related differences in stepping performance during step cycle-related removal of vision. *Experimental Brain Research*, *174*(4), 613-621. doi: 10.1007/s00221-006-0507-6
- Chapman, G. J., & Hollands, M. A. (2006). Evidence for a link between changes to gaze behaviour and risk of falling in older adults during adaptive locomotion. *Gait & Posture*, *24*(3), 288-294. doi: 10.1016/j.gaitpost.2005.10.002
- Chapman, G. J., & Hollands, M. A. (2010). Age-related differences in visual sampling requirements during adaptive locomotion. *Experimental Brain Research*, *201*(3), 467-78. doi: 10.1007/s00221-009-2058-0
- Chen, H. C., Ashton-Miller, J. A., Alexander, N. B., & Schultz, A. B. (1991). Stepping over obstacles : gait patterns of healthy young and old adults. *Journal of Gerontology*, *46*(6), 196-203. doi: 10.1093/geronj/46.6.m196
- Chen, M., Halter J. B., & Porte, D. (1987). The role of dietary carbohydrate in the decreased glucose tolerance of the elderly. *Journal of the American Geriatrics Society*, *35*(5), 417-424. doi: 10.1111/j.1532-5415.1987.tb04663.x
- Cherin, P. (2009). Effet du vieillissement sur les muscles : la sarcopénie. *Médecine & Longévité*, *1*(1), 26-30. doi: 10.1016/j.mlong.2009.06.003
- Cherin, P., Voronska, E., Fraoucene, N., & de Jaeger, C. (2014). Prevalence of sarcopenia among healthy ambulatory subjects: the sarcopenia begins from 45 years. *Aging Clinical and Experimental Research*, *26*(2), 137-146. doi: 10.1007/s40520-013-0132-8
- Choi, P., Ren, M., Phan, T. G., Callisaya, M., Ly, J. V., Beare, R., ... Srikanth, V. (2012). Silent infarcts and cerebral microbleeds modify the associations of white matter lesions with gait and postural stability. *Stroke*, *43*, 1505-1510. doi : <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.111.647271>
- Cinelli, M. E., & Patla, A. E. (2007). Travel path conditions dictate the manner in which individuals avoid collisions. *Gait & posture*, *26*, 186-193. doi: 10.1016/j.gaitpost.2006.08.012

- Cinelli, M. E., & Patla, A. E. (2008). Locomotor avoidance behaviours during a visually guided task involving an approaching object. *Gait & Posture*, 28(4), 596-601. doi: 10.1016/j.gaitpost.2008.04.006
- Clark, B. A. (2013). Tests for fitness in older adults: AAHPERD fitness task force. *Journal of Physical Education, Recreation & Dance*, 60(3), 66-71. doi : <https://doi.org/10.1080/07303084.1989.10603976>
- Clarkson-Smith, L., & Hartley, A. A. (1989). Relationships between physical exercise and cognitive abilities in older adults. *Psychology and Aging*, 4(2), 183-189. doi: 10.1037//0882-7974.4.2.183
- Cooper, C., & Melton, L. J. (1992). Epidemiology of osteoporosis. *Trends in Endocrinology & Metabolism*, 3(6), 224-229. doi: 10.1016/1043-2760(92)90032-V
- Cotman, C., Berchtold, N., & Christie, L.-A. (2007). Exercise builds brain health: key roles of growth factor cascades and inflammation. *Trends in neurosciences*, 30, 464-472. doi: 10.1016/j.tins.2007.06.011
- Cutting, J. E., Vishton, P. M., & Braren P. A. (1995). How we avoid collisions with stationary and moving obstacles. *Psychological Review*, 102(4), 627-651.
- Dommès, A., Cavallo, V., & Oxley, J. (2013). Functional declines as predictors of risky street-crossing decisions in older pedestrians. *Accident Analysis & Prevention*, 59, 135-143. doi: 10.1016/j.aap.2013.05.017
- Dommès, A., Cavallo, V., Vienne, F., & Aillerie, I. (2012). Age-related differences in street-crossing safety before and after training of older pedestrians. *Accident; Analysis and Prevention*, 44(1), 42-47. doi: 10.1016/j.aap.2010.12.012
- Eggenberger, P., Tomovic, S., Münzer, T., & de Bruin, E. D. (2017). Older adults must hurry at pedestrian lights! a cross-sectional analysis of preferred and fast walking speed under single- and dual-task conditions. *PLoS One*, 12(7). doi: 10.1371/journal.pone.0182180
- Elsawy, B., & Higgins, K. E. (2010). Physical activity guidelines for older adults. *American Family Physician*, 81(1), 55-59.

- Erskine, R. J., Murphy, P. J., Langton, J. A., & Smith, G. (1993). Effect of age on the sensitivity of upper airway reflexes. *British Journal of Anaesthesia*, *70*(5), 574-575. doi: 10.1093/bja/70.5.574
- Ferrari, A. U., Radaelli, A., & Centola, M. (2003). Invited review : aging and the cardiovascular system. *Journal of Applied Physiology*, *95*(6), 2591-97. doi: 10.1152/jappphysiol.00601.2003
- Gérin-Lajoie, M., Richards, C. L., & McFadyen, B. J. (2005). The negotiation of stationary and moving obstructions during walking : anticipatory locomotor adaptations and preservation of personal space. *Motor Control*, *9*(3), 242-269. doi: 10.1123/mcj.9.3.242
- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. New York : Psychology Press.
- Gibson, J. J. (1979). *The Theory of Affordances, the ecological approach to visual perception*. Boston : Houghton Mifflin.
- Giladi, N., Herman, T., Reider-Groswasser, I. I., Gurevich, T., & Hausdorff, J. M. (2005). Clinical characteristics of elderly patients with a cautious gait of unknown origin. *Journal of Neurology*, *252*(3), 300-306. doi: 10.1007/s00415-005-0641-2
- Goldfield, E. C. (1995). *Emergent forms : origins and early development of human action and perception*. Oxford, New York : Oxford University Press.
- Goor, D., Lillehein, C. W., & Edwards, J. E. (1969). The "Sigmoid Septum". Variation in the contour of the left ventricular out. *The American Journal of Roentgenology, Radium Therapy, and Nuclear Medicine*, *107*(2), 366-76.
- Guénard, H., & Rouatbi, S. (2004). Aspects physiologiques du vieillissement respiratoire. *Revue des Maladies Respiratoires*, *21*(5), 13-24. doi: 10.1016/S0761-8425(04)71558-2
- Gunning-Dixon, F. M., Brickman, A. M., Cheng, J. C., & Alexopoulos, G. S. (2009). Aging of cerebral white matter: a review of MRI findings. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, *24*(2), 109-117. doi: 10.1002/gps.2087

- Shimokata, H., Muller, D. C., Fleg, J. L., Sorkin, J., Ziemba, A. W., & Andres R. (1991). Age as independent determinant of glucose tolerance. *Diabetes*, 40(1), 44-51. doi : 10.2337/diab.40.1.44
- Hackney, A. L., & Cinelli, M. E. (2011). Action strategies of older adults walking through apertures. *Gait & Posture*, 33(4), 733-736. doi: 10.1016/j.gaitpost.2011.02.019
- Hackney, A. L., & Cinelli, M. E. (2013). Young and older adults use body-scaled information during a non-confined aperture crossing task. *Experimental Brain Research*, 225(3), 419-429. doi: 10.1007/s00221-012-3382-3
- Hall, E. T. (1963). A system for the notation of proxemic behavior. *American Anthropologist*, 65(5), 1003-1026.
- Hall, E. T., & Hall E. T. (1966). *The Hidden Dimension*. New York : Doubleday.
- Harman, D. (2001). Aging: overview. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 928, 1–21. doi : <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2001.tb05631.x>
- Hatzitaki, V., Voudouris, D., Nikodelis, T., & Amiridis, I. G. (2009). Visual feedback training improves postural adjustments associated with moving obstacle avoidance in elderly women. *Gait & Posture*, 29(2), 296-299. doi: 10.1016/j.gaitpost.2008.09.011
- Higuchi, T., Cinelli, M. E., Greig, M. A., & Patla, A. E. (2006). Locomotion through apertures when wider space for locomotion is necessary : adaptation to artificially altered bodily states ». *Experimental Brain Research*, 175(1), 50-59. doi: 10.1007/s00221-006-0525-4
- Higuchi, T., Seya, Y., & Imanaka, K. (2012). Rule for scaling shoulder rotation angles while walking through apertures. *PLoS One*, 7(10). doi: 10.1371/journal.pone.0048123
- Hollands, M., Hollands, K., & Rietdyk, S. (2017). Visual control of adaptive locomotion and changes due to natural ageing. *Locomotion and Posture in Older Adults : The Role of Aging and Movement Disorders*, 55-72. doi : https://doi.org/10.1007/978-3-319-48980-3_5
- Hollands, M., Marple-Horvat, D., Henkes, S., & Rowan, A. (1995). Human eye movements during visually guided stepping. *Journal of motor behavior*, 27, 155-163. doi: 10.1080/00222895.1995.9941707

- Iosa, M., Fusco, A., Morone, G., & Paolucci, S. (2014). Development and decline of upright gait stability. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 6(14), 14. doi: 10.3389/fnagi.2014.00014
- Itoh, N., & Fukuda, T. (2002). Comparative study of eye movements in extent of central and peripheral vision and use by young and elderly walkers. *Perceptual and Motor Skills*, 94(32), 1283-1291. doi: 10.2466/pms.2002.94.3c.1283
- de Jaeger, C. (2018). Physiologie du vieillissement. *Kinésithérapie-Médecine physique-Réadaptation*, 14(1), 1-11. doi : 10.1016/S1283-0887(17)81322-0
- James, S. L., Lucchesi, L. R., Bisignano, C., Castle, C. D., Dingels, Z. V., Fox, J. T., ... Murray, C. J. L. (2020). The global burden of falls : global, regional and national estimates of morbidity and mortality from the global burden of disease study 2017. *Injury Prevention*, 26(1), 3-11. doi: 10.1136/injuryprev-2019-043286
- Kinsella, K. G., & Velkoff, V. A. (2001). *An aging world : 2001*. U.S. Department of Commerce, Economics and Statistics Administration : U.S. Census Bureau.
- Kondo, Y., Fukuhara, K., Suda, Y., & Higuchi, T. (2021). Training older adults with virtual reality use to improve collision-avoidance behavior when walking through an aperture. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 92. doi: 10.1016/j.archger.2020.104265
- Lamberts, S. W. J., van den Beld, A. W., & van der Lely, A.-J. (1997). The endocrinology of aging. *Science*, 278(5337), 419-424. doi: 10.1126/science.278.5337.419
- Latham, N. K., Bennett, D. A., Stretton, C. M., & Anderson, C. S. (2004). Systematic review of progressive resistance strength training in older adults. *The Journals of Gerontology : Series A*, 59(1), 48-61. doi: 10.1093/gerona/59.1.M48
- Lee, D. N. (1976). A theory of visual control of braking based on information about time-to-collision. *Perception*, 5(4), 437-459. doi: 10.1068/p050437
- de Leeuw, P. W. (1991). Renal function in the elderly: results from the european working party on high blood pressure in the elderly trial. *The American Journal of Medicine*, 90(3), 45-49. doi: 10.1016/0002-9343(91)90436-2
- Li, F., Fisher, K. J., & Harmer, P. (2005). Improving physical function and blood pressure in older adults through cobblestone mat walking : a randomized trial. *Journal of the*

American Geriatrics Society, 53(8), 1305-1312. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2005.53407.x>

Lindemann, U., Klenk J., & Becker, C. (2016). Assessment of fatigability of older women during sit-to-stand performance. *Aging Clinical and Experimental Research*, 28(5), 889-893. doi: 10.1007/s40520-015-0495-0

Lira, F. S., Pimentel, G. D., Santos, R. V., Oyama, L. M., Damaso, A. R., Oller do Nascimento, C. M., ... de Mello, M. T. (2011). Exercise training improves sleep pattern and metabolic profile in elderly people in a time-dependent manner. *Lipids in Health and Disease*, 10, 1-6. doi: 10.1186/1476-511X-10-113

Lobo, A. (2010). *Physical Activity and Health in the Elderly*. Porto : Bentham Science Publishers.

Lockhart, T. E., Smith, J. L., & Woldstad, J. C. (2005). Effects of aging on the biomechanics of slips and falls. *Human Factors*, 47(4), 708-729. doi: 10.1518/001872005775571014

Lord, S. R., Sherrington, C. & Menz, H. B. (2007). *Falls in older people : risk factors and strategies for prevention*. Cambridge : Cambridge University.

Lowrey, C. R., Watson, A., & Vallis, L. A. (2007). Age-related changes in avoidance strategies when negotiating single and multiple obstacles. *Experimental Brain Research*, 182(3), 289-299. doi: 10.1007/s00221-007-0986-0

Maillot, P., Perrot, A., & Hartley, A. (2012). Effects of interactive physical-activity video-game training on physical and cognitive function in older adults. *Psychology and Aging*, 27(3), 589-600. doi: 10.1037/a0026268

Mazaheri, M., Roerdink, M., Bood, R. J., Duysens, J., Beek, P. J., & Peper, C. L. E. (2014). Attentional costs of visually guided walking : effects of age, executive function and stepping-task demands. *Gait & Posture*, 40(1), 182-186. doi: 10.1016/j.gaitpost.2014.03.183

McCaddon, A. (2013). Vitamin B12 in neurology and ageing ; clinical and genetic aspects. *Biochimie*, 95(5), 1066-1076. doi: 10.1016/j.biochi.2012.11.017

Methven, L., Allen, V. J., Withers, C. A., & Gosney, M. A. (2012). Ageing and taste. *Proceedings of the Nutrition Society*, 71(4), 556-565. doi: 10.1017/S0029665112000742

- Mishizen, A., Ikonovic, M., & Armstrong, D. M. (2001). Glutamate receptors in aging and alzheimer's disease. *Functional Neurobiology of Aging*, 283-314. doi : 10.1016/B978-012351830-9/50022-6
- Mithal, A., Bonjour, J. P., Boonen, S., Burckhardt, P., Degens, H., El Hajj Fuleihan, G., ... Dawson-Hughes, B. (2013). Impact of nutrition on muscle mass, strength, and performance in older adults. *Osteoporosis International*, 24(5), 1555-1566. doi: 10.1007/s00198-012-2236-y
- Mochizuki, L., & Aliberti, S. (2017). Gait stability and aging. *Locomotion and Posture in Older Adults: The Role of Aging and Movement Disorders*, 45-54. doi : https://doi.org/10.1007/978-3-319-48980-3_4
- Moraes, R., & Mauerberg-deCastro, E. (2017). Complex systems approach to the study of posture and locomotion in older people. *Locomotion and Posture in Older Adults: The Role of Aging and Movement Disorders*, 3-20. doi : https://doi.org/10.1007/978-3-319-48980-3_1
- Moschner, C., & Baloh, R. W. (1994). Age-related changes in visual tracking. *Journal of Gerontology*, 49(5), 235-238. doi: 10.1093/geronj/49.5.M235
- Muchiri, W. A., Olutende, O. M., Kweyu, I. W., & Vurigwa, E. (2018). Meaning of physical activities for the elderly: a review. *American Journal of Sports Science and Medicine* 5, 6(3), 79-83. doi : 10.12691/ajssm-6-3-3
- Muir, B., Haddad, J., Heijnen, M., & Rietdyk, S. (2014). Proactive gait strategies to mitigate risk of obstacle contact are more prevalent with advancing age. *Gait & Posture*, 41. doi: 10.1016/j.gaitpost.2014.10.005
- Nonnekes, J. H., Talelli, P., de Niet, M., Reynolds, R. F., Weerdesteyn, V. & Day, B. L. (2009). Deficits underlying impaired visually triggered step adjustments in mildly affected stroke patients. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 24(4), 393-400. doi : <https://doi.org/10.1177/1545968309348317>
- Nordin, B. E. C. (1997). Calcium and osteoporosis. *Nutrition*, 13(7), 664-686. doi: 10.1016/S0899-9007(97)83011-0

- Observatoire national interministériel de la sécurité routière, ONISR. (2015). Bilan 2015 de la sécurité routière. <https://www.onisr.securite-routiere.gouv.fr/etat-de-l-insecurite-routiere/bilans-annuels-de-la-securite-routiere/bilan-2015-de-la-securite-routiere>
- Olivier, A.-H. (2020). Coordinations visuo-motrices durant la locomotion [habilitation à diriger des recherches]. Université de Rennes.
- Olivier, A.-H., Le Borgne, N., Babel, M., Crétual, A., & Pettré, J. (2019). Collision avoidance between a walker and a person on an electric powered wheelchair. *ISPGR 2019 - Conference of the International Society for Posture & Gait Research*.
- Olivier, A.-H., Marin, A., Crétual A., Berthoz, A., & Pettré, J. (2013). Collision avoidance between two walkers: role-dependent strategies. *Gait & Posture*, 38(4), 751-756. doi: 10.1016/j.gaitpost.2013.03.017
- Olivier, A.-H., Marin, A., Crétual, A., & Pettré, J. (2012). Minimal Predicted Distance: a common metric for collision avoidance during pairwise interactions between walkers. *Gait & Posture*, 36(3), 399-404. doi: 10.1016/j.gaitpost.2012.03.021
- Organisation Mondiale de la Santé. (2010). *Recommandations mondiales sur l'activité physique pour la santé*. Genève : OMS.
- Organisation Mondiale de la Santé. (2016). *Rapport mondial sur le vieillissement et la santé* (Rapport no RS-104). Genève, Suisse : Editions de l'OMS.
- Oshevire, R. E. (2012). *Meaning of physical activities for the elderly* (Doctorat, Arcada, Helsinki) Repéré à <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/48840/Degree%20Thesis%20%2001.1.2012.pdf?sequence=1>
- Paillard, T. (2001). *Vieillesse et condition physique*. Ellipses
- Paquette, M., & Vallis, L. (2010). Age-related kinematic changes in late visual-cueing during obstacle circumvention. *Experimental brain research*, 203, 563-574. doi: 10.1007/s00221-010-2263-x
- Parkatti, T., Perttunen, J., & Wacker, P. (2012). Improvements in functional capacity from nordic walking: a randomized-controlled trial among elderly people. *Journal of Aging and Physical Activity*, 20(1), 93-105. doi: 10.1123/japa.20.1.93

- Patla, A. E. (1997). Understanding the roles of vision in the control of human locomotion. *Gait & Posture*, 5(1), 54-69. doi: 10.1016/S0966-6362(96)01109-5
- Patla, A. E., Adkin, A., & Ballard, T. (1999). Online steering: coordination and control of body center of mass, head and body reorientation. *Experimental Brain Research*, 129(4), 629-634. doi: 10.1007/s002210050932
- Patla, A. E., & Vickers, J. (2003). How far ahead do we look when required to step on specific locations in the travel path during locomotion ? *Experimental brain research*, 148, 133-138. doi: 10.1007/s00221-002-1246-y
- Peper, C. E., Oorthuizen, J. K., & Roerdink, M. (2012). Attentional demands of cued walking in healthy young and elderly adults. *Gait and Posture*, 36, 378-382. doi: 10.1016/j.gaitpost.2012.03.032
- Pfaff, L. M., & Cinelli, M. E. (2018). Avoidance behaviours of young adults during a head-on collision course with an approaching person. *Experimental Brain Research*, 236(12), 3169-3179. doi: 10.1007/s00221-018-5371-7
- Pichierri, G., Wolf, P., Murer, K., & de Bruin, E. D. 2011. Cognitive and cognitive-motor interventions affecting physical functioning: A systematic review. *BMC Geriatrics*, 11(1), 29. doi: 10.1186/1471-2318-11-29
- van Praag, H. (2009). Exercise and the brain: something to chew on. *Trends in Neurosciences*, 32(5), 283-290. doi: 10.1016/j.tins.2008.12.007
- Marom-Klibansky, R., & Drory, Y. (2002). Physical activity for the elderly. *Harefuah*, 141(7), 646-664.
- Rapos, V., Cinelli, M., Snyder, N., Crétual, A., & Olivier, A.-H. (2019). Minimum Predicted Distance : applying a common metric to collision avoidance strategies between children and adult walkers. *Gait & Posture*, 72, 16-21. doi: 10.1016/j.gaitpost.2019.05.016
- Raz, N., Lindenberger, U., M. Rodrigue, K., Kennedy, K. M., Head, D., Williamson, ... Acker, J. D. (2005). Regional brain changes in aging healthy adults: general trends, individual differences and modifiers. *Cerebral Cortex*, 15(11), 1676-1689. doi: 10.1093/cercor/bhi044

- Reed-Jones, R. J., Dorgo, S., Hitchings, M. K., & Bader, J. O. (2012). Vision and agility training in community dwelling older adults: incorporating visual training into programs for fall prevention. *Gait & posture*, *35*(4), 585-589. doi: 10.1016/j.gaitpost.2011.11.029
- Rivera, J. A., Fried, L. P., Weiss, C. O., & Simonsick, E. M. (2008). At the tipping point: predicting severe mobility difficulty in vulnerable older women. *Journal of the American Geriatrics Society*, *56*(8), 1417-1423. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2008.01819.x>
- Rossi, A. M. D., Ganassini, A., Tantucci, C., & Grassi, V. (2013). Aging and the respiratory system. *Aging Clinical and Experimental Research*, *8*, 143-161. doi : <https://doi.org/10.1007/BF03339671>
- Schättin, A., Baur, K., Stutz, J., Wolf, P., & de Bruin, E. D. (2016). Effects of physical exercise combined with nutritional supplements on aging brain related structures and functions: a systematic review. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *8*. doi: 10.3389/fnagi.2016.00161
- Schillings, A. M., Mulder, T., & Duysens, J. (2005). Stumbling over obstacles in older adults compared to young adults. *Journal of Neurophysiology*, *94*(2), 1158-1168. doi: 10.1152/jn.00396.2004
- Schulman, S. P. (1999). Cardiovascular consequences of the aging process. *Cardiology Clinics*, *17*(1), 35-49. doi: 10.1016/S0733-8651(05)70055-2
- Segen, J. C. (2006). *Concise Dictionary of Modern Medicine*. New York : McGraw-Hill.
- Sharp, K. C. & Cinelli, M. E. (2021). The effects of different environments on older adults' ability to successfully cross a closing gap in virtual reality. *Gait & Posture*, *87*, 1-5. <https://doi.org/10.1016/B.gaitpost.2021.04.00H>
- Shigematsu, R., & Okura, T. (2006). A novel exercise for improving lower-extremity functional fitness in the elderly. *Aging Clinical and Experimental Research*, *18*(3), 242-248. doi: 10.1007/BF03324655
- Shigematsu, R., Okura, T., Nakagaichi, M., Tanaka, K., Sakai, T., Kitazumi, S., & Rantanen, T. (2008). Square-Stepping Exercise and fall risk factors in older adults: a single-

- blind, randomized controlled trial. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 63(1), 76-82. doi: 10.1093/gerona/63.1.76
- Sillanpää, E., Häkkinen, K., Holviala, J., & Häkkinen, A. (2012). Combined strength and endurance training improves health-related quality of life in healthy middle-aged and older adults. *International journal of sports medicine*, 33. doi: 10.1055/s-0032-1311589
- Siqueira, F. V., Facchini, L. A., Piccini, R. X., Tomasi, E., Thumé, E., Silveira, D. S., ... Hallal, P. C. (2007). Prevalência de quedas em idosos e fatores associados. *Revista de Saúde Pública*, 41(5), 749-756. doi: 10.1590/S0034-89102007000500009
- Skelton, D. (2007). Physical dimensions of ageing. *Age and Ageing*, 36(1), 113. doi: 10.1093/ageing/af1136
- Sleimen-Malkoun, R., Temprado, J.-J., & Hong, S. L. (2014). Aging induced loss of complexity and dedifferentiation: consequences for coordination dynamics within and between brain, muscular and behavioral levels. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 6, 140. doi: 10.3389/fnagi.2014.00140
- Souza S. W., McFadyen, B. J., Fung, J., & Lamontagne, A. (2020). Reading text messages at different stages of pedestrian circumvention affects strategies for collision avoidance in young and older adults. *Gait & Posture*, 76, 290-97. doi: 10.1016/j.gaitpost.2019.11.017
- Stanley, J., & Hollands, M. (2014). A novel video-based paradigm to study the mechanisms underlying age- and falls risk-related differences in gaze behaviour during walking. *Ophthalmic & Physiological Optics : The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 34(4), 459-469. doi: 10.1111/opo.12137
- Taylor, A. W., & Johnson, M. J. (2008). *Physiology of Exercise and Healthy Aging*. Champaign : Human Kinetics.
- Teixeira, C. V. L., Gobbi, S., Pereira, J. R., Vital, T. M., Hernández, S. S. S., Shigematsu, R., & Gobbi, L. T. B. (2013). Effects of Square-Stepping Exercise on cognitive functions of older people. *Psychogeriatrics : The Official Journal of the Japanese Psychogeriatric Society*, 13(3), 148-156. doi: 10.1111/psyg.12017

- Tinetti, M. E. (1987). Factors associated with serious injury during falls by ambulatory nursing home residents. *Journal of the American Geriatrics Society*, 35(7), 644-648. doi: 10.1111/j.1532-5415.1987.tb04341.x
- Tomey, K. M., & Sowers, M. R. (2009). Assessment of physical functioning: a conceptual model encompassing environmental factors and individual compensation strategies. *Physical Therapy*, 89(7), 705-714. doi: 10.2522/ptj.20080213
- Tromp, A. M., Pluijm, S. M., Smit, J. H., Deeg, D. J., Bouter, L. M., & Lips, P. (2001). Fall-risk screening test: a prospective study on predictors for falls in community-dwelling elderly. *Journal of Clinical Epidemiology*, 54(8), 837-844. doi: 10.1016/s0895-4356(01)00349-3
- Tubiana, M. (2002). Le vieillissement : aspects médicaux et sociaux. *Comptes Rendus Biologies*, 325(6), 699-717. doi: 10.1016/S1631-0691(02)01482-8
- United Nations. (2019). *World population ageing 2019 : highlights* (Rapport no RS 430). New York, USA : United Nations.
- Vallis, L. A., & McFadyen, B. J. (2003). Locomotor adjustments for circumvention of an obstacle in the travel path. *Experimental Brain Research*, 152(3), 409-414. doi: 10.1007/s00221-003-1558-6
- Vassallo, C., Olivier, A.-H., Souères, P., Crétual, A., Stasse, O., & Pettré, J. (2017). How do walkers avoid a mobile robot crossing their way ? » *Gait & Posture*, 51, 97-103. doi: 10.1016/j.gaitpost.2016.09.022
- Vincent, K. R., Vincent, H. K., Braith, R. W., Lennon, S. L., & Lowenthal, D. T. (2002). Resistance exercise training attenuates exercise-induced lipid peroxidation in the elderly. *European Journal of Applied Physiology*, 87(4-5), 416-423. doi: 10.1007/s00421-002-0640-2
- Warren, W. H. (1984). Perceiving affordances : visual guidance of stair climbing. *Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance*, 10(5), 683-703. doi: 10.1037//0096-1523.10.5.683
- Warren, W. H. (1995). Self-Motion : Visual Perception and Visual Control. Dans A. W. Epstein et S. Rogers (dir.), *Perception of Space and Motion, Handbook of Perception and Cognition* (p. 263-325). San Diego : Academic Press.

- Warren, W. H., & Whang, S. (1987). Visual guidance of walking through apertures : body-scaled information for affordances. *Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance*, 13(3), 371-383. doi : 10.1037/0096-1523.13.3.371
- Wen, Y.-M. (2016). Health in an aging world : what should we do ? *Engineering*, 2(1), 40-43. doi : 10.1016/J.ENG.2016.01.010
- Wetherell, J. L., Reynolds, C. A., Gatz, M., & Pedersen, N. L. (2002). Anxiety, cognitive performance, and cognitive decline in normal aging. *The Journals of Gerontology: Series B*, 57(3), 246-255. doi: 10.1093/geronb/57.3.P246
- Winter, D. A. (1987). *The Biomechanics and Motor Control of Human Gait*. Waterloo : University of Waterloo Press.
- Yamada, M., Higuchi, T., Mori, S., Uemura, K., Nagai, K., Aoyama, T., & Ichihashi, N. (2012). Maladaptive turning and gaze behavior induces impaired stepping on multiple footfall targets during gait in older individuals who are at high risk of falling. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 54(2), 102-108. doi: 10.1016/j.archger.2011.08.012
- Yamada, M., Higuchi, T., Tanaka, B., Nagai, K., Uemura, K., Aoyama, T., & Ichihashi, N. (2011). Measurements of stepping accuracy in a multitarget stepping task as a potential indicator of fall risk in elderly individuals. *The Journals of Gerontology : Series A*, 66(9), 994-1000. doi: 10.1093/gerona/blr073
- Yogev-Seligmann, G., Hausdorff, J. M., & Giladi, N. (2008). The role of executive function and attention in gait. *Movement Disorders*, 23(3), 329-342. doi: 10.1002/mds.21720
- Young, W. R., & Hollands, M. A. (2012). Evidence for age-related decline in visuomotor function and reactive stepping adjustments. *Gait & Posture*, 36(3), 477-481. doi: 10.1016/j.gaitpost.2012.04.009
- Young, W. R., Wing, A. M. & Hollands M. A. (2012). Influences of state anxiety on gaze behavior and stepping accuracy in older adults during adaptive locomotion. *The Journals of Gerontology*, 67B(1), 43-51. doi : <https://doi.org/10.1093/geronb/gbr074>

Index des figures

Figure 1. Exemple de flux optique défini par des vecteurs d'un pilote d'avion en déplacement (Gibson, 1950).....	12
Figure 2. Risque de collision du point de vue de l'observateur en fonction de l'évolution de l'angle de gisement (Adapté de Cutting et. al, 1995).	15
Figure 3. Moyenne globale de la préservation de l'espace personnel (Gérin-Lajoie et al., 2005)	16
Figure 4. Configuration des deux études menées afin d'investiguer les stratégies d'évitement de collision avec un obstacle mobile (Cinelli & Patla, 2007).	19
Figure 5. Configuration du paradigme d'évitement de collision en croisement à 90° par Olivier et al., 2012, 2013.	21
Figure 6. Evolution moyenne de mpd(t) lorsque mpd(tsee) est inférieure à 1 m (a) et dérivée en fonction du temps (b).	21
Figure 7. Environnement réel (A) et virtuel (B) lors de l'expérimentation dont la tâche implique un franchissement d'ouverture (Kondo et al., 2021).....	30
Figure 8. Schéma représentant la mise en place de l'expérimentation (A). Casque de vélo porté par les participants permettant les mesures de trajectoire de marche avec ses 5 marqueurs (B).....	37
Figure 9. Illustration de ce qu'enregistre le système Qualysis à partir des 5 marqueurs du casque et des 2 positionnés sur les épaules.....	39
Figure 10. A) Paradigme de réalité virtuelle montrant une porte ouverte dans un environnement vide. B) Paradigme de réalité virtuelle montrant une porte ouverte avec des avatars fixes ou mobiles dans l'environnement périphérique (Sharp & Cinelli, 2021).....	43

Index des tableaux

Tableau 1. Caractéristiques propres aux participants de l'étude.....	34
--	----

Annexes

Annexe I. Présentation du pré-test et des limites identifiées pour proposer des perspectives

1. Déroulement

Concernant le pré-test, une expérimentation a été mise en place auprès de quatre jeunes hommes, conformément aux conditions expérimentales décrites (i.e., 2.2. Méthode), hormis le fait qu'il n'y avait pas de rideau séparant les individus (Figure 1). Ils pouvaient donc se voir dès le début de l'essai.

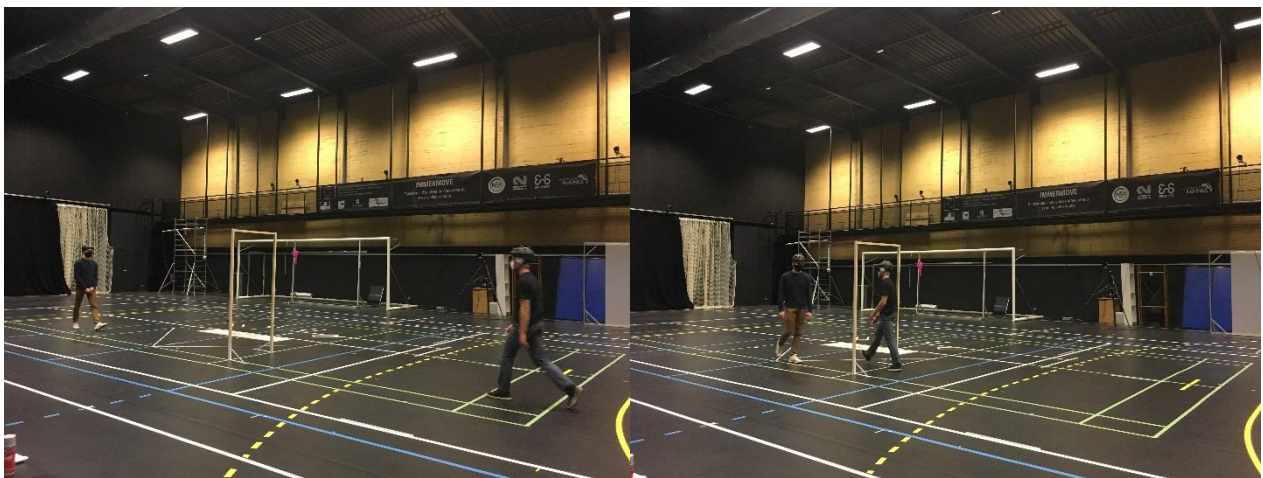


Figure 1. Dispositif du pré-test mené avec quatre jeunes hommes.

Les caractéristiques des participants sont décrites dans le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1. Caractéristiques des quatre participants du pré-test.

N = 4	Âge (ans)	Taille (cm)	Largeur d'épaules (cm)
Jeunes hommes adultes			
P1	24	191	48
P2	23	179	44
P3	28	193	43
P4	23	177	44

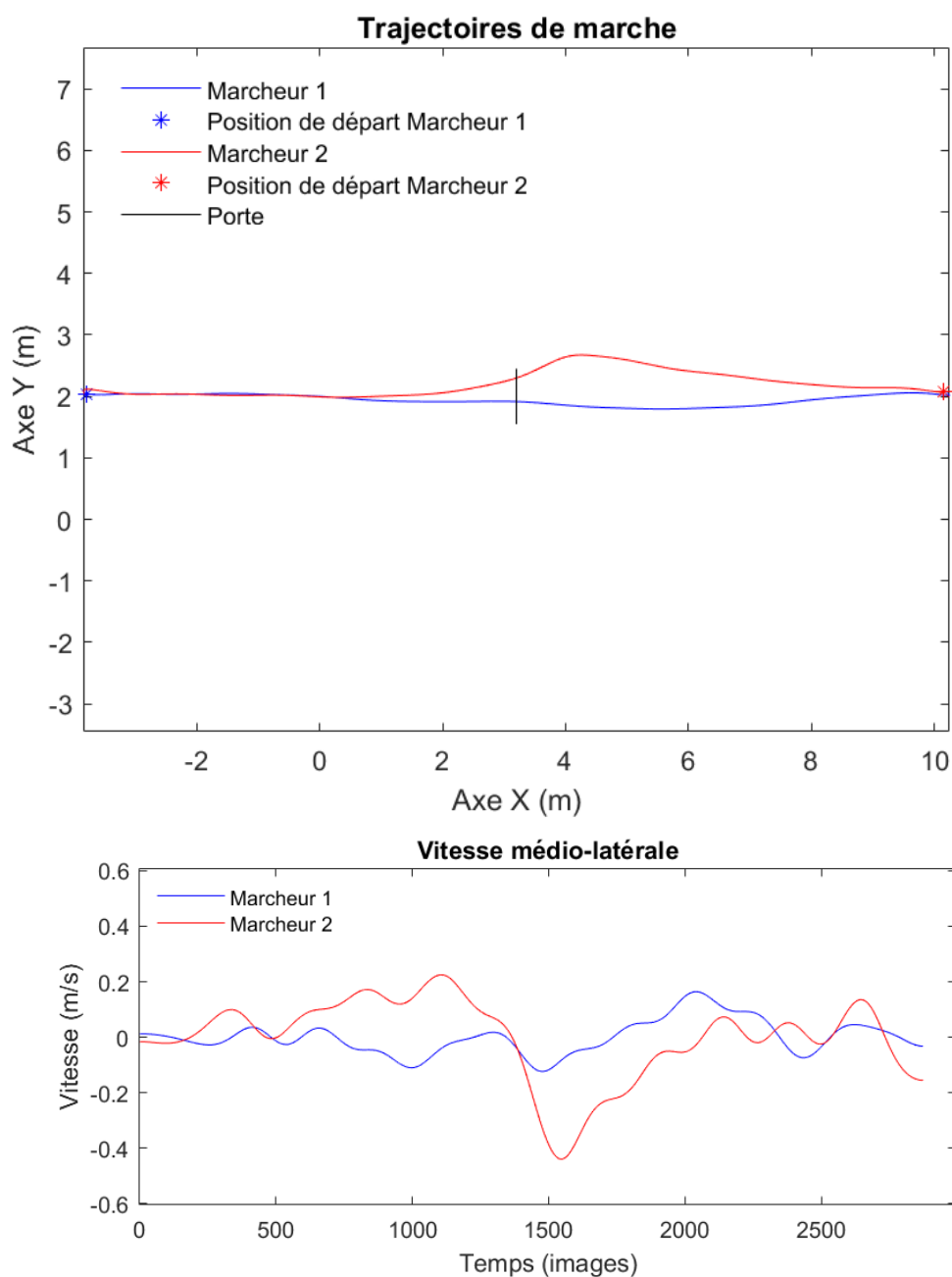
Note. N = nombre de sujets

A partir des données de positionnement au cours du temps des marqueurs placés sur les casques, les trajectoires des marcheurs peuvent être reconstruites. De plus, ces données permettent également d'attribuer un rôle à chaque participant par rapport au franchissement de la porte

(i.e., premier ou second), et ainsi, d'étudier leur vitesse antéro-postérieure et médio-latérale en conséquence.

Dans l'exemple illustré par les graphiques ci-dessous, on s'aperçoit que c'est le marcheur 1, en bleu, qui passe le premier, suivi du marcheur 2, en rouge, qui dévie sur la droite et ralentit avant le franchissement de la porte afin de laisser passer le marcheur 1.

Dans cette pré-expérimentation, il n'y avait pas de rideau occultant dressé entre les deux participants au début de l'essai. De ce fait, il est difficile d'avoir accès à l'ordre de passage théorique initial puisque le point de départ n'est pas l'unique déterminant de cet ordre de passage ; la vitesse de marche intervient également.



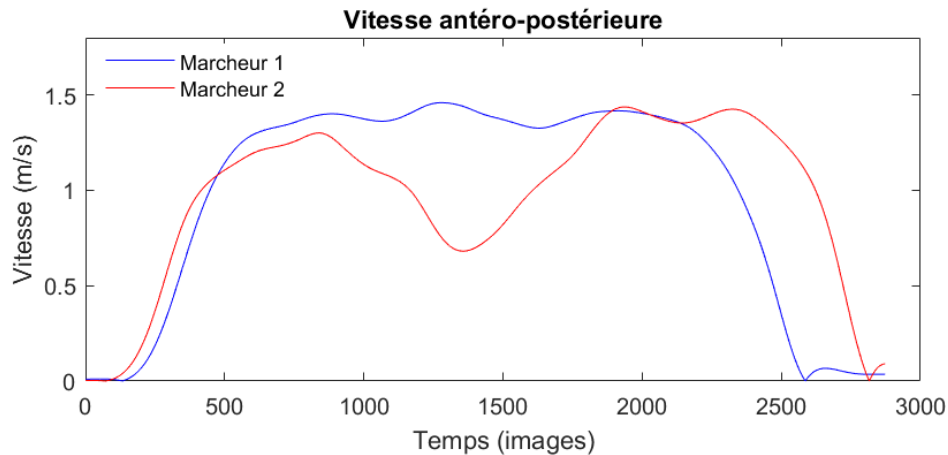


Figure 2. Graphiques représentant les trajectoires de marche et vitesses des marcheurs 1 et 2 lors du pré-test.

Dans le cadre de la pré-manipulation, nous avons pu observer des adaptations constituant certaines limites qui nous ont permis de modifier, d'affiner et d'améliorer le protocole expérimental. Ces observations et modifications sont présentées dans les sous-sections suivantes.

2. Observations

a. Caractéristiques des participants

Pour réaliser le pré-test, quatre jeunes hommes ont été recrutés. Chacun d'entre eux est issu de la même filière de formation et ils se connaissent donc déjà. De plus, ils s'inscrivent tous quatre dans une pratique sportive, ce qui pourrait les amener à avoir une conscience et une utilisation du corps différente, comparativement à des non sportifs. L'observation des multiples essais a permis d'identifier une réelle rotation des épaules des participants juste avant et lors du passage de la porte. De surcroît, alors que le design de la porte est initialement conçu pour le passage d'un unique participant, il est arrivé plusieurs fois que deux marcheurs la franchissent quasiment en même temps, impliquant des distances de croisement entre chacun d'entre eux très faibles. Nous attribuons ces adaptations, qui nécessiteront d'ailleurs d'être investiguées, au fait que les participants se connaissent et soient pratiquants d'activités physiques. Pour remédier à ce biais, une attention toute particulière devra être portée au recrutement. Effectivement, pour avoir des résultats exploitables permettant de reconstituer une situation proche de la vie quotidienne, à savoir le croisement et l'évitement entre deux inconnus, la population ne devra pas se connaître au préalable de l'expérimentation. De plus, l'échantillon recruté devra être

représentatif de la population et, de ce fait, ne pas être entièrement constitué de sportifs. C'est aussi pour capter ce mécanisme que le questionnaire GPAQ relatif au niveau d'activité physique sera administré.

Lors de l'observation, nous avons également été confrontées à un problème de dimension. Effectivement, deux des participants mesurant 1,91 m et 1,93 m sans chaussures ont adapté leur posture en fonction de la porte à franchir en baissant la tête et en inclinant très légèrement le haut du buste. Pour éviter ce phénomène d'adaptation verticale qui ne permet pas aux participants de se déplacer normalement, un critère de non-inclusion a été ajouté en lien avec le format de la porte et le port du casque de vélo surmonté des marqueurs : la taille des sujets ne doit pas excéder 192 cm, incluant les chaussures.

b. Design expérimental

Après avoir interrogé les participants sur leur expérience à la suite de la réalisation des 112 essais, ils disent être en mesure d'identifier le point de départ du participant situé en face d'eux parmi les trois proposés (0 ; 0.3 ; -0.3 m). Cela pose un problème dans la mesure où ils peuvent ainsi modifier leur trajectoire et vitesse de marche avant même d'avoir atteint leur vitesse de confort et cela biaise donc notre question de la perception de l'ordre de passage basé sur le mouvement de l'autre. Pour améliorer ce protocole, il faudrait donc qu'un objet tel qu'un rideau vienne obstruer la vision de chacun des marcheurs puis disparaisse à une certaine distance du point de départ, lorsqu'ils marchent à vitesse de confort. Ce déclenchement permettrait également de définir *tsee* qui correspond au moment où les deux sujets se voient lors de l'essai. On pourrait ainsi mettre en lien l'instant d'initiation de la déviation de trajectoire et *tsee*, et, de cette manière, étudier l'utilisation du temps en fonction du TTC.

Annexe II. Global Physical Activity Questionnaire (GPAQ)

Ce questionnaire sur la pratique d'exercice physique (GPAQ), qui comporte 16 questions (P1-P16), a été mis au point par l'OMS pour enquêter sur la pratique d'activités physiques dans les pays. Il permet de recueillir des informations sur la pratique d'exercice physique dans les trois situations (ou domaines) ci-après et sur les comportements sédentaires. Les sujets abordés sont les suivants : activités au travail, se déplacer d'un endroit à l'autre, activités de loisirs.

MODULE DE BASE : Activité physique			
Je vais maintenant vous poser quelques questions sur le temps que vous consacrez à différents types d'activité physique lors d'une semaine typique. Veuillez répondre à ces questions même si vous ne vous considérez pas comme quelqu'un d'actif.			
Pensez tout d'abord au temps que vous y consacrez au travail, qu'il s'agisse d'un travail rémunéré ou non, de tâches ménagères, de cueillir ou récolter des aliments, de pêcher ou chasser, de chercher un emploi. [Ajouter d'autres exemples si nécessaire]. Dans les questions suivantes, les activités physiques de forte intensité sont des activités nécessitant un effort physique important et causant une augmentation conséquente de la respiration ou du rythme cardiaque, et les activités physiques d'intensité modérée sont des activités qui demandent un effort physique modéré et causant une petite augmentation de la respiration ou du rythme cardiaque.			
Question	Réponse	Code	
Activités au travail			
1	Est-ce que votre travail implique des activités physiques de forte intensité qui nécessitent une augmentation conséquente de la respiration ou du rythme cardiaque, comme [soulever des charges lourdes, travailler sur un chantier, effectuer du travail de maçonnerie] pendant au moins 10 minutes d'affilée ? [INSÉRER DES EXEMPLES LOCAUX ET MONTRER LES CARTES]	Oui 1 Non 2 Si Non, aller à P4	P1
2	Habituellement, combien de jours par semaine effectuez-vous des activités physiques de forte intensité dans le cadre de votre travail ?	Nombre de jours <input type="text"/>	P2
3	Lors d'une journée habituelle durant laquelle vous effectuez des activités physiques de forte intensité, combien de temps consacrez-vous à ces activités ?	Heures : minutes <input type="text"/> : <input type="text"/> hrs mins	P3 (a-b)
4	Est-ce que votre travail implique des activités physiques d'intensité modérée, comme une marche rapide ou [soulever une charge légère] durant au moins 10 minutes d'affilée ? [INSÉRER DES EXEMPLES LOCAUX ET MONTRER LES CARTES]	Oui 1 Non 2 Si Non, aller à P 7	P4
5	Habituellement, combien de jours par semaine effectuez-vous des activités physiques d'intensité modérée dans le cadre de votre travail ?	Nombre de jours <input type="text"/>	P5
6	Lors d'une journée habituelle durant laquelle vous effectuez des activités physiques d'intensité modérée, combien de temps consacrez-vous à ces activités ?	Heures : minutes <input type="text"/> : <input type="text"/> hrs mins	P6 (a-b)

Question	Réponse	Code	
Activités de loisirs			
Les questions suivantes excluent les activités liées au travail et aux déplacements que vous avez déjà mentionnées. Maintenant je souhaiterais vous poser des questions sur le sport, le fitness et les activités de loisirs. <i>[Insérer les termes appropriés]</i>			
10	Est-ce que vous pratiquez des sports, du fitness ou des activités de loisirs de forte intensité qui nécessitent une augmentation importante de la respiration ou du rythme cardiaque comme [courir ou jouer au football] pendant au moins dix minutes d'affilée ? [INSÉRER DES EXEMPLES LOCAUX ET MONTRER LES CARTES]	<p>Oui 1</p> <p>Non 2 <i>Si Non, aller à P 13</i></p>	P10
11	Habituellement, combien de jours par semaine pratiquez-vous une activité sportive, du fitness ou d'autres activités de loisirs de forte intensité ?	Nombre de jours <input type="text"/>	P11
12	Lors d'une journée habituelle, combien de temps y consacrez-vous ?	Heures : minutes <input type="text"/> : <input type="text"/> hrs mins	P12 (a-b)
13	Est-ce que vous pratiquez des sports, du fitness ou des activités de loisirs d'intensité modérée qui nécessitent une petite augmentation de la respiration ou du rythme cardiaque comme la marche rapide [faire du vélo, nager, jouer au volley] pendant au moins dix minutes d'affilée ? [INSÉRER DES EXEMPLES LOCAUX ET MONTRER LES CARTES]	<p>Oui 1</p> <p>Non 2 <i>Si Non, aller à P16</i></p>	P13
14	Habituellement, combien de jours par semaine pratiquez-vous une activité sportive, du fitness ou d'autres activités de loisirs d'intensité modérée ?	Nombre de jours <input type="text"/>	P14
15	Lors d'une journée habituelle, combien de temps y consacrez-vous ?	Heures : minutes <input type="text"/> : <input type="text"/> hrs mins	P15 (a-b)
Comportement sédentaire			
La question suivante concerne le temps passé en position assise ou couchée, au travail, à la maison, en déplacement, à rendre visite à des amis, et inclut le temps passé [assis devant un bureau, se déplacer en voiture, en bus, en train, à lire, jouer aux cartes ou à regarder la télévision] mais n'inclut pas le temps passé à dormir.			
[INSÉRER DES EXEMPLES LOCAUX ET MONTRER LES CARTES]			
16	Combien de temps passez-vous en position assise ou couchée lors d'une journée habituelle ?	Heures : minutes <input type="text"/> : <input type="text"/> hrs mins	P16 (a-b)



Formulaire d'information et de consentement

Veillez lire ce document attentivement avant de prendre votre décision de participer à cette étude.

Remerciements :

Votre collaboration est essentielle à la réalisation de notre projet et l'équipe de recherche tient à vous en remercier.

Avant de donner votre consentement éclairé, il est important que vous compreniez pour quoi la recherche est faite, ce qu'elle implique et quels sont vos droits et obligations.

Projet ViSA : Effets de l'avancée en âge sur les coordinations visuo-motrices lors d'une tâche de croisement entre deux marcheurs

Personnes responsables du projet :

Anne-Hélène Olivier, Lisa Moyon

Objectif : l'objectif principal de ce projet est d'analyser l'effet de l'âge sur les coordinations visuo-motrices de marcheurs lors d'une tâche de croisement.

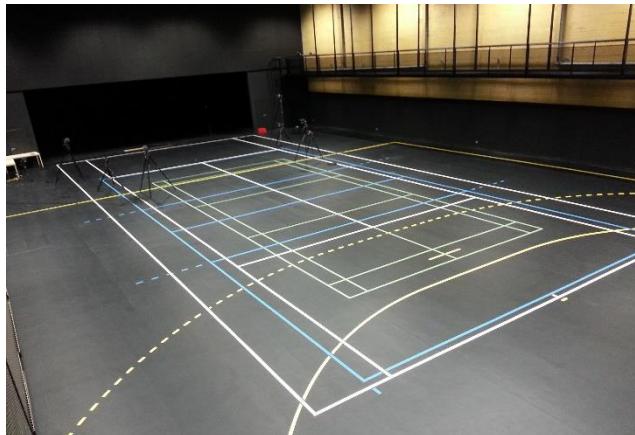
Vous êtes invités à prendre part à ce projet dont la finalité est d'améliorer la prise en charge des personnes âgées afin de diminuer ou retarder l'effet de l'âge sur certaines altérations physiologiques. Il se concentre sur l'approfondissement de la compréhension des adaptations issues de l'interaction entre le marcheur et l'environnement dans la vie quotidienne, et donc, l'importance de prendre en compte cet environnement dans le développement de stratégies et de programmes à destination de la santé des personnes âgées. Bien que l'effet de l'avancée en âge sur la locomotion ait fait l'objet d'études approfondies dans la littérature, il y a eu peu d'études sur les interactions entre marcheurs. En effet, alors que ce champ commence à être investigué, il y a un manque dans la littérature concernant cette partie de population spécifique qui caractérise pourtant une grande part de la population actuelle, part qui tend à accroître au

fil des années. Nous cherchons donc ainsi à acquérir des connaissances sur l'effet de l'avancée en âge sur les stratégies d'interactions entre marcheurs.

Les bénéfices attendus du projet sont les suivants :

Les bénéfices vous concernant seront indirects dans un premier temps, mais les connaissances acquises permettront une meilleure compréhension de l'effet de l'avancée en âge sur les stratégies d'interactions entre marcheurs, et donc sur les processus et comportements adoptés par l'adulte âgé dans un environnement dynamique, mais aussi, à plus long terme, de définir des axes de progression dans la prise en charge de la personne âgée (i.e. programmes d'activités physiques adaptées), en tenant compte de l'environnement comme une variable à considérer pour permettre une réadaptation efficace.

Nature de la participation : Votre participation sera requise pour participer à 1 session expérimentale d'environ 2 heures. Le lieu de l'expérimentation est le gymnase du laboratoire M2S, dans les locaux de l'ENS, sur le campus de Kerlann à Bruz, illustré sur la photo suivante :



Les critères de non inclusion sont :

- Femmes enceintes
- Individus dont l'âge n'est pas compris entre 18 et 30 ans et entre 65 et 74 ans
- Individus dont la taille est supérieure à 192 cm avec chaussures
- Individus dont la largeur d'épaule est supérieure à 71,5cm
- Vision altérée, ne pouvant être ramenée à la normale, même avec correction
- Nécessité d'une aide à la marche (e.g., canne, déambulateur)

Protocole :

- Chaque sujet participant à l'étude devra se déplacer jusqu'au gymnase du laboratoire M2S pour la séance expérimentale.

- Vous serez convié(e) à une séance de mesure correspondant à vos disponibilités. Chaque séance de mesure impliquera 4 participants : 2 sujets du groupe jeunes et 2 sujets du groupe âgés, tous appariés en sexe.
- Le protocole des tests vous sera exposé avant signature du formulaire de consentement. Si vous le désirez, vous pourrez poser toutes questions complémentaires que vous souhaitez aux investigatrices, avant d'entrer dans l'étude, ou à tout moment de celle-ci.
- Nous générerons un identifiant afin de garantir la non-identification de l'ensemble des données vous concernant.
- Vous répondrez aux différents items d'un questionnaire qui vous sera lu et expliqué par les investigatrices : « Global Physical Activity Questionnaire » (GPAQ) portant sur la quantification de votre niveau d'activité physique.
- Ensuite, vous serez équipé d'une charlotte et d'un casque de vélo sur lequel sont disposés 5 marqueurs réfléchissants (cf photo ci-dessous). Au même moment, les investigatrices positionneront 2 marqueurs sur chacune de vos épaules. Ces marqueurs permettent d'enregistrer vos mouvements pendant les essais.



- Le protocole expérimental sera alors le suivant :
 - On appelle essai un passage qui consiste à marcher en ligne droite sur terrain plat sur 14.30 m maximum, en passant dans une ouverture de type encadrement de porte tout en évitant un participant qui marche dans la direction inverse à la vôtre.
 - Les participants se placent à chaque extrémité du couloir, au point de départ qui leur a été communiqué. Au départ de chaque essai, les participants sont donc face à face.
 - Un essai consiste en un déplacement des participants de leur position de départ, à l'extrémité du couloir, vers l'autre extrémité. Trois points de départ différents seront matérialisés (0 m ; 0.3 m ; -0.3 m). La distance entre le point de départ (0 m) et d'arrivée est de 14 m mais peut donc varier entre 13.70 et 14.30 m.
 - A chaque début d'essai, un opérateur indique, grâce à un code couleur attribué préalablement aux participants et au numéro associé aux points de départ, qui sont les deux participants parmi les 4 devant prendre part à l'essai en cours et où ils doivent se placer.
 - Un total de 52 essais par participant est réalisé pour l'expérimentation.
- A la fin de la session expérimentale, nous récupérerons le casque disposé sur votre tête.
- Un temps est alloué pour vous laisser l'opportunité de répondre à vos questions.

- Fin de la séance de mesure.

Informations complémentaires :

- Un temps de repos vous sera alloué à tout moment si nécessaire, la fatigue n'étant pas un paramètre pris en compte dans notre étude.
- Vous pouvez porter les habits et chaussures confortables que vous avez l'habitude de porter.
- Les données enregistrées au cours de l'expérimentation seront la position au cours du temps des marqueurs disposés sur le casque placé sur votre tête ainsi que sur vos épaules.
- Le temps estimé de la session incluant votre accueil, l'explication de l'étude, la signature des consentements, l'expérimentation, et un temps de discussion est d'environ deux heures.

Avantages et inconvénients pouvant découler de la participation :

Votre participation à ce projet de recherche contribuera à l'avancement des connaissances sur l'effet de l'âge sur les coordinations visuo-motrices impliquées dans la marche en milieu encombré notamment.

Votre participation à ce projet de recherche ne devrait pas comporter d'inconvénient significatif. Vous pourrez à tout moment demander une pause si nécessaire. Les tâches effectuées sont des tâches réalisées quotidiennement : une tâche de marche dans un environnement plat et non encombré. Cependant, les sources d'inconfort et les risques prévisibles sont les suivants :

Sources d'inconfort :

- La nécessité de se déplacer jusqu'au lieu de mesure (Gymnase de KerLann, Bruz)
- La potentielle fatigue liée à l'expérimentation, limitée car vous vous déplacerez durant les différents essais à vitesse de marche de confort ce qui représente une dépense énergétique faible. La durée des sessions sera limitée à 2 heures (ces deux heures comprenant l'accueil des participants, l'explication de l'étude, la signature des consentements, l'expérimentation, et un temps de discussion). Au cours de chaque session, vous aurez à parcourir 52 trajets d'environ 14 m avec au moins 10 secondes de pause entre chaque trajet. La distance parcourue est ainsi estimée à environ 730 m, ce qui est très inférieur à la distance recommandée par jour par l'OMS (10000 pas soit 5 à 6 km).
- Le placement sur votre tête d'une charlotte (pour des questions d'hygiène) et d'un casque de vélo.
- La désinfection des mains et le port du masque pendant toute la période passée dans le gymnase, comme c'est le cas dans tous les espaces publics.

Risques prévisibles :

- Principalement celui d'une chute, mais ne sera pas supérieur à celui habituellement encouru lorsque vous marchez dans la rue :
 - Vous utiliserez les moyens de déambulation (chaussures) que vous avez l'habitude de porter

- Vous évoluerez dans un environnement que vous avez l'habitude de pratiquer (marche sur sol plan horizontal).
- Vous aurez pour consigne de stopper immédiatement le test si vous vous sentez en insécurité ou dans une situation trop inconfortable.
- Les mesures proposant une marche à allure de confort, les risques de fatigue, de gêne ou de blessure dus au protocole de mesure seront minimales.
- La mesure du mouvement par des marqueurs passifs disposés sur un casque de vélo que porte le participant et sur ses vêtements au niveau des épaules est une mesure non invasive.
- L'ensemble des risques attendant à la réalisation d'une expérimentation en laboratoire (incendie, coupure de courant, ...) a été pris en compte dans le cadre de l'agrément obtenu par Laboratoire M2S dans lequel se dérouleront les expériences auprès de l'agence régionale de santé (ARS).

Droit de retrait sans préjudice à la participation :

Il est bien entendu que votre participation à ce projet de recherche est tout à fait volontaire et que vous restez libre, à tout moment, de mettre fin à votre participation sans avoir à motiver votre décision ni à subir de préjudice de quelque nature que ce soit.

Confidentialité, partage et publication :

Durant votre participation, les personnes impliquées dans ce projet de recherche consigneront dans un dossier les renseignements vous concernant. Seuls les renseignements nécessaires à la bonne conduite du projet de recherche seront recueillis. Ils peuvent comprendre les informations suivantes : nom, coordonnées, sexe, date de naissance, taille, largeur d'épaule, niveau d'activité physique, mesures expérimentales (déplacement).

Tous les renseignements recueillis au cours du projet de recherche demeureront strictement confidentiels dans les limites prévues par la loi. Afin de préserver votre identité et la confidentialité de ces renseignements, vous ne serez identifié(e) que par un numéro de code. La clé du code reliant votre nom à votre dossier de recherche sera conservée par les responsables du projet de recherche.

Les données seront utilisées à des fins de recherche dans le but de répondre aux objectifs scientifiques du projet de recherche décrits dans ce formulaire d'information et de consentement.

Les données du projet de recherche pourront être publiées dans des revues scientifiques ou partagées avec d'autres personnes lors de discussions scientifiques. Aucune publication ou communication scientifique ne renfermera d'information permettant de vous identifier. Les données seront les résultats statistiques obtenus sur la population étudiée.

Conformément à la loi Informatique et Libertés du 6 janvier 1978 modifiée et au Règlement (UE) 2016/679 du Parlement européen et du Conseil du 27 avril 2016, vous pouvez exercer votre droit d'accès aux données vous concernant et les faire rectifier ou effacer en contactant le délégué à la protection des données.

Ce traitement est porté au registre du délégué à la protection des données n° ...

Pour plus d'informations ou toute demande, vous pouvez contacter le délégué à la protection des données par mail : dpo@univ-rennes2.fr

Déclaration de responsabilité des chercheurs de l'étude

Je, _____, déclare que les chercheurs collaborateurs ainsi que l'équipe de recherche sommes responsables du déroulement du présent projet de recherche. Nous nous engageons à respecter les obligations énoncées dans ce document et également à vous informer de tout élément qui serait susceptible de modifier la nature de votre consentement.

Signature : _____

Détails de contact :

Anne-Hélène Olivier, M2S - Univ. Rennes 2 : 02 90 09 15 72 - anne-helene.olivier@univ-rennes2.fr

Lisa Moyon – Univ. Rennes 2 : 06 84 64 14 37 – lisa.moyon@etudiant.univ-rennes2.fr

Secrétariat Laboratoire M2S : 02 90 09 15 80

Date :

Signature du participant :

Date :

Signature de l'investigateur :

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

M /Mme Nom :

Nom de jeune fille :

Prénom :

Date de naissance

Adresse :

.....

Tél. :

Courriel :

Il m'a été proposé de participer à une étude sur l'effet de l'âge sur les coordinations visuo-motrices. Il s'agit de mesurer et de comparer les trajectoires de sujets jeunes ou plus âgés lors d'un croisement et d'un passage dans une ouverture.

Les investigatrices Anne-Hélène OLIVIER et Lisa MOYON m'ont précisé que je suis libre d'accepter ou de refuser.

Afin d'éclairer ma décision, j'ai reçu et compris les informations suivantes :

- 1) Je pourrai à tout moment interrompre ma participation si je le désire, sans avoir à me justifier.
- 2) Je pourrai prendre connaissance des résultats de l'étude dans sa globalité lorsqu'elle sera achevée.
- 3) Les données recueillies demeureront strictement confidentielles.

Compte-tenu des informations qui m'ont été transmises :

cocher les cases appropriées en fonction de votre volonté (OUI / NON)

OUI	NON

1) J'accepte librement et volontairement de participer à la recherche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) Dans le cas où je décide de me retirer de l'étude, je demande que les documents me concernant soient détruits	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Date :

Signature du participant :

Date :

Signature de l'investigateur :

Conformément à la loi Informatique et Libertés du 6 janvier 1978 modifiée et au Règlement (UE) 2016/679 du Parlement européen et du Conseil du 27 avril 2016, vous pouvez exercer votre droit d'accès aux données vous concernant et les faire rectifier ou effacer en contactant le délégué à la protection des données : dpo@univ-rennes2.fr

Annexe IV. Déroulement des 112 essais randomisés

On attribue à chaque sujet une couleur de casque (i.e., Orange, Rose, Bleu ou Rouge). Voici l'ordre d'enchaînement des essais avec les participants impliqués et leur position de départ respective.

Trial	Subject 1	Start position	Subject 2	Start position
1	Orange	-0,3	Pink	0
2	Pink	0	Red	0
3	Red	-0,3	Pink	0,3
4	Pink	0	Red	0
5	Blue	0	Pink	0
6	Red	0	Blue	0
7	Orange alone			
8	Orange	0,3	Red	0
9	Red alone			
10	Blue	0,3	Red	0
11	Pink	-0,3	Orange	0,3
12	Orange	-0,3	Blue	0
13	Red	-0,3	Pink	0,3
14	Pink	0	Orange	-0,3
15	Blue	0	Red	-0,3
16	Red	0,3	Blue	0
17	Orange	-0,3	Red	0,3
18	Red	-0,3	Pink	0
19	Blue	-0,3	Red	0,3
20	Pink	0	Orange	0,3
21	Red	-0,3	Blue	0
22	Orange	0	Pink	-0,3
23	Blue	0,3	Red	-0,3
24	Red	0	Blue	0
25	Pink	0,3	Orange	0
26	Blue	0	Red	0,3
27	Orange	0,3	Pink	0
28	Pink alone			
29	Orange alone			
30	Pink	0,3	Blue	0
31	Blue	0	Orange	0,3
32	Orange	0	Pink	0
33	Pink	0	Orange	0
67	Red	0	Blue	0
68	Pink	0,3	Orange	-0,3
69	Blue	0,3	Red	0
70	Orange	0,3	Pink	0
71	Pink	0	Orange	0
72	Red	0	Blue	-0,3
73	Orange	-0,3	Red	0,3
74	Blue	0	Orange	0
75	Red	0	Blue	-0,3
76	Orange	0	Pink	0,3
77	Pink	0	Orange	0
78	Orange	0	Pink	0
79	Pink	0	Orange	-0,3
80	Orange	0,3	Pink	-0,3
81	Pink	-0,3	Orange	0
82	Blue	0,3	Red	0
83	Orange	-0,3	Blue	0
84	Orange alone			
85	Orange	-0,3	Red	0
86	Red	0	Blue	0
87	Red alone			
88	Red	0	Orange	0
89	Blue	0	Red	-0,3
90	Orange	-0,3	Blue	0,3
91	Blue	0	Orange	0
92	Orange	-0,3	Pink	0,3
93	Pink	0	Blue	0
94	Blue	0	Orange	0,3
95	Red	0	Blue	0
96	Blue	-0,3	Red	0
97	Red	-0,3	Pink	0
98	Orange alone			
99	Blue alone			
100	Blue	-0,3	Red	0,3
101	Pink	-0,3	Orange	0,3
102	Red	0	Blue	0
103	Blue	0	Red	0,3
104	Orange	-0,3	Pink	0,3
105	Pink	-0,3	Blue	0,3
106	Red alone			
107	Blue	0,3	Orange	-0,3
108	Pink alone			
109	Pink	0	Red	0,3
110	Red	-0,3	Blue	0,3
111	Blue alone			
112	Pink alone			

Résumé

Contexte. Les personnes âgées représentent une part grandissante de la population qui est vouée à augmenter au cours des prochaines années. Cependant, l'avancée en âge est également liée à l'apparition de multiples pathologies, ce qui représente un réel enjeu sociétal qu'il nous faut appréhender. Dans cette logique, la pratique régulière d'Activités Physiques Adaptées s'inscrit dans le maintien de certaines capacités physiques et cognitives au cours du temps. En revanche, l'influence de l'environnement est encore très sous-estimée dans ce type de programme. Pour comprendre d'un point de vue du contrôle du mouvement, l'effet de l'avancée en âge sur les coordinations visuo-motrices et ainsi proposer de nouveaux designs de programmes d'Activités Physiques Adaptées, des travaux sont encore nécessaires.

Objectif. Cette étude va chercher à comprendre comment la personne âgée utilise les informations temporelles pour se déplacer, dans le cadre d'une tâche d'évitement de collision entre deux marcheurs, afin d'évaluer les effets de l'avancée en âge sur les coordinations visuo-motrices.

Méthodologie théorique. Deux groupes constitués de jeunes adultes, pour l'un et de personnes âgées, pour l'autre seront constitués. La tâche consiste à franchir en ligne droite, en marchant à une vitesse de confort, une ouverture matérialisée par une porte, tout en prenant en compte l'interaction avec le marcheur réalisant la même tâche dans la direction opposée afin d'éviter la collision. Nous ferons interagir des groupes composés de deux sujets jeunes, deux sujets âgés ou d'un sujet jeune et un sujet âgé. Nous manipulerons leurs points de départ afin de faire varier leur ordre de passage théorique sous la porte. L'investigation portera principalement sur le taux d'inversion de l'ordre de passage ainsi que les caractéristiques de la situation d'interaction à l'instant d'initiation de la déviation de trajectoire.

Mots-clefs : coordinations visuo-motrices, taux d'inversion de l'ordre de passage, informations temporelles, vieillissement, évitement de collision.

Abstract

Context. Elderly people is a growing population and that will increase in the coming years. However, aging is also linked to the appearance of multiple pathologies, which represents a real societal challenge that we must address. In this logic, the regular practice of Adapted Physical Activities is part of the maintenance of important physical and cognitive capacities over time. Also, the influence of the environment is still underestimated in this type of program. In order to understand, from a movement control point of view, the effect of aging on visuo-motor coordination and, thus, propose new designs for adapted physical activity programs, deeper investigation is required.

Objective. In this study, we aim to research how the elderly person are affected in their processing skills, specifically in their use of temporal information to move. This study will focus on a collision avoidance task between two walkers, in order to evaluate the effects of aging on visuo-motor coordination.

Theoretical methodology. Two groups of young adults and elderly people will be selected. The task consists of crossing a straight line, by walking at a speed of comfort, an aperture materialized by a door, while taking into account the interaction with the other walker carrying out the same task in the opposite direction in order to avoid the collision. The experiment consists of creating groups composed of two young subjects, two elderly subjects or one young and one elderly subject which will interact. We will manipulate their starting points to vary their theoretical order of passage under the gate. The investigation will focus on the reversal

rate of the passage order as well as the characteristics of the interaction situation at the time of initiation of the trajectory deviation.

Key words : visuo-motor coordination, inversion rate, temporal information, aging, collision avoidance.