

Thèse de doctorat
Pour obtenir le grade de Docteur de
L'UNIVERSITÉ POLYTECHNIQUE HAUTS-DE-FRANCE

Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives, Biomécanique

Présentée et soutenue par Delphine Caffier

Le 26/11/2018

École doctorale :

Sciences Pour l'Ingénieur (ED SPI 072)

Équipe de recherche, Laboratoire :

Laboratoire d'Automatique, de Mécanique et d'Informatique Industrielles et Humaines (LAMIH – UMR 8201)

**La traversée de rue : anticipation chez le piéton âgé et perturbation de
l'initiation**

JURY

Rapporteurs

- Nicol, Caroline. MCF-HDR, rapportrice. Université d'Aix-Marseille
- Collet, Christian. PU, rapporteur. Université de Lyon 1

Examineurs

- Brouillet, Denis. PU, président du jury. Lieu d'exercice. Université de Montpellier 3 (Président du jury)
- Dommes, Aurélie. Chargée de recherche, examinatrice. IFSTTAR de Versailles

Co-directeurs de thèse

- Naveteur, Janick. MCF-HDR, co-directrice de thèse. Université Polytechnique Hauts-de-France
- Barbier, Franck. PU, co-directeur de thèse. Université Polytechnique Hauts-de-France

LISTE DES ABRÉVIATIONS

APA : Ajustements Posturaux Anticipatoires

APAS : Activités Physiques Adaptées et Santé

INSEE : Institut National de la Statistique et des Études Économiques

ONISR : Observatoire National Interministériel de la Sécurité Routière

SEVAP : Seniors en Ville A Pied

STAPS : Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives

AcVC : accidents de la vie courante

EPAC : Enquête permanente sur les accidents de la vie courante

INPES : Institut National de Prévention et d'Éducation pour la Santé

DRESS : Direction de la Recherche, des Etudes, de l'Évaluation et des Statistiques

CSBM : consommation de soins et de biens médicaux

OMS : Organisme Mondiale de la Santé

OCDE : Organisation de coopération et de développement économiques

EVSI : espérance de Vie Sans Incapacité

OMNIL : Observatoire de la mobilité en Île-de-France

EMD-LMCU : Enquête Ménage Déplacements – Lille Métropole Communauté Urbaine

UE : Union Européenne

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 : fréquence de chute en fonction de l'âge de l'individu selon Horak (2006)
- Figure 2 : modèle de Weber et al. (2010)
- Figure 3 : les modes de transport en fonction de l'âge (enquêtes nationale de transport, 2008)
- Figure 4 : paramètres mesurés dans l'étude de McIlroy et Maki (1997)
- Figure 5 : caractéristiques communes et spécificités procédurales de chaque collecte
- Figure 6 : mesure de la longueur du pas
- Figure 7 : paramètres de positionnement des pieds en bord de rue
- Figure 8 : mesure de l'écart médio-latéral entre les talons
- Figure 9 : prise de mesure de l'angle avec le goniomètre (a) et de l'angle et de la distance pour l'outil de laboratoire (b)
- Figure 10 : mesure de la distance par rapport au bord du trottoir
- Figure 11 : angles des pieds par rapport au droit-devant dans les trois collectes
- Figure 12 : schématisation de la position des pieds de la collecte C1 (extraite de la thèse de Delzenne, 2013)
- Figure 13 : distance par rapport au bord du trottoir dans les trois collectes
- Figure 14 : lien entre la longueur du pas et la distance au bord du trottoir dans la collecte 3
- Figure 15 : interface utilisée par l'expérimentatrice
- Figure 16 : photo d'une participante effectuant la tâche d'estimation de la longueur de pas
- Figure 17 : photo d'une participante effectuant la tâche de marche réelle
- Figure 18 : photo d'une participante effectuant la tâche d'estimation de la taille
- Figure 19 : erreurs de jugement dans l'estimation de la longueur du pas
- Figure 20 : déterminants de la surestimation pour les pas usuels chez les seniors
- Figure 21 : image de contextualisation présentée avec les consignes
- Figure 22 : schématisation spatiale de la tâche de pointage vers la cible
- Figure 23 : cartes corporelles
- Figure 24 : liste des adjectifs proposés aux participants

Figure 25 : nombre total d'occurrence de chaque descripteur dans chacune des 4 zones corporelles

Figure 26 : nombre total d'occurrence de chaque descripteur en position ouverte (PO) et en position fermée (PF)

Figure 27 : intensité des sensations aux niveaux tête / cou et tronc en en position ouverte (PO) et en position fermée (PF)

Figure 28 : sensation de stabilité et de confort pour chacun des participants en position ouverte (PO) et en position fermée (PF)

Figure 29 : intensité des sensations au niveau du cou en position ouverte (PO) et en position fermée (PF) selon la fréquence auto-rapportée d'observation des deux voies avant une traversée de rue

Figure 30 : zone expérimentale avec schématisation de la participante attachée au harnais antichute

Figure 31 : emplacement du contacteur sous le talon droit

Figure 32 : les images de trafic

Figure 33 : déroulement d'un essai

Figure 34 : caractéristiques cinématiques de la marche retenues dans l'étude

Figure 35 : chronologie moyenne du premier pas dans l'étude 1

Figure 36 : influence des images sur les déplacements médio-latéraux du pied droit pour le premier pas et du pied gauche pour le deuxième pas

Figure 37 : valence des ressentis induits par les trois catégories d'images en fonction du groupe d'âge des participantes

Figure 38 : intensité des ressentis induits par les trois catégories d'images en fonction du groupe d'âge des participantes

Figure 39 : influence des images sur les déplacements médio-latéraux du pied droit pour le premier pas et du pied gauche pour le deuxième pas

Figure 40 : déplacements médio-latéraux du premier pas (pied droit) et du deuxième pas (pied gauche) selon la catégorie d'image et l'étude (e1 : étude 1 ; e2 : étude 2)

Figure 41 : chronologie moyenne du premier pas dans l'étude 2

Figure 42 : comparaison de la chronologie moyenne du premier pas entre l'étude 1 et 2

Figure 43 : temps de double appui à l'issue du premier pas (pied droit) et du deuxième pas (pied gauche) selon l'étude (e1 : étude 1 ; e2 : étude 2)

Figure 44 : valence des ressentis induits par les deux catégories d'images

Figure 45 : intensité des ressentis induits par les deux catégories d'images

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Caractéristiques principales des participants inclus dans les trois collectes

Tableau 2. Comparaison entre le groupe des jeunes (GJ) et le groupe des seniors (GS) pour les caractéristiques morphométriques.

Tableau 3. Comparaison entre le groupe des jeunes (GJ) et le groupe des seniors (GS) pour les longueurs de pas réel (pas usuel : PU ; grand pas : GP)

Tableau 4. Comparaison entre le groupe plus jeune (GJ) et le groupe plus âgé (GS) pour les erreurs d'estimation de longueur de pas.

Tableau 5. Comparaison entre les participantes du groupe le plus âgé (GS) avec et sans risque accru de chute (ARC contre SRC) pour les erreurs d'estimation de la longueur du pas.

Tableau 6. Comparaison entre les participantes sans risque de chute (SRC) et les participantes présentant un risque de chute (ARC) pour chaque variable dépendante.

TABLE DES MATIÈRES

1. Introduction générale.....	15
1.1. Le vieillissement de la population.....	15
1.2. Les chutes des personnes âgées.....	15
1.3. Vieillir sans incapacité	17
1.4. La mobilité des personnes âgées	18
1.5. Les piétons âgés	21
2. Les piétons seniors et la traversée de rue	24
2.1. Quels dangers pour les piétons âgés ?	24
2.2. Le piéton senior avant la traversée	27
2.2.1. La sélection d'un endroit adéquat pour traverser	27
2.2.2. L'exploration visuelle de l'environnement	27
2.3. Conclusion.....	29
3. Positionnement des seniors en bord de rue avant une traversée	30
3.1. Introduction	30
3.2. Méthode.....	33
3.2.1. Participants.....	33
3.2.2. Matériel	34
3.2.3. Caractéristiques des rues dans lesquelles se sont déroulées les collectes	34
3.2.4. Procédure générale	35
3.2.5. Spécificités procédurales.....	36
3.2.6. Paramètres mesurés du positionnement des pieds.....	38
3.2.7. Analyses statistiques	39
3.3. Résultats	40
3.3.1. Caractéristiques des participantes	40
3.3.2. Écart médio-latéral entre les deux talons	41

3.3.3. Angle des pieds par rapport au droit-devant	42
3.3.4. Positions des pieds par rapport au bord du trottoir.....	44
3.4. Discussion	47
3.4.1. Limites de l'étude	50
3.4.2. Conclusion.....	50
4. Perception de la longueur du pas chez la personne âgée.....	52
4.1. Introduction	52
4.2. Méthode.....	55
4.2.1. Participants	55
4.2.2. Matériel	56
4.2.3. Questionnaires et tests	58
4.2.4. Procédure.....	58
4.2.5. Analyses statistiques	62
4.3. Résultats	63
4.3.1. Caractéristiques des participantes	63
4.3.2. Tâche d'estimation de la taille.....	64
4.3.3. Longueurs des pas réels.....	65
4.3.4. Estimation de la longueur des pas	65
4.3.5. Estimation de longueur de pas par les seniors avec et sans risque de chute66	
4.3.6. Autres comparaisons entre seniors avec et sans risque de chute.....	68
4.4. Discussion	70
4.1. Limites de l'étude.....	73
4.2. Conclusion.....	74
5. Ressentis corporels en position d'attente	75
5.1. Introduction	75
5.2. Méthode.....	77
5.2.1. Participants	77

5.2.2. Matériel	78
5.2.3. Procédure.....	80
5.2.4. Analyses statistiques	82
5.3. Résultats	82
5.3.1. Type de sensations	82
5.3.2. Intensité des sensations	85
5.3.3. Stabilité et confort	86
5.3.4. Ressentis et comportement auto-rapporté d'exploration des voies de circulation	87
5.4. Discussion	88
5.4.1. Limites de l'étude.....	90
5.4.2. Conclusion.....	91
6. Survenue latérale d'une stimulation émotionnelle lors de l'initiation de la marche	92
6.1. Introduction	92
6.2. Étude 1.....	97
6.2.1. Méthode.....	98
6.2.2. Résultats	106
6.2.3. Discussion	111
6.3. Étude 2.....	114
6.3.1. Méthode.....	115
6.3.2. Résultats	118
6.3.3. Discussion	125
7. Conclusion générale et perspectives.....	129

REMERCIEMENTS

Au terme de ces trois années de doctorat, il est temps pour moi d'achever la rédaction de ce mémoire en inscrivant quelques lignes pour remercier les personnes qui m'ont accompagnée durant tout ce parcours.

Mes tout premiers remerciements s'adressent à mes co-directeurs de thèse. À Franck Barbier qui, malgré ses responsabilités, a su intervenir aux bons moments en m'apportant des connaissances et une expertise qui m'ont été précieuses. À Janick Naveteur, sans qui cette belle aventure, initiée lors de mon stage de Master 2, n'aurait jamais commencé ; merci de m'avoir transmis des connaissances passionnantes sur la recherche et bien plus encore : une disponibilité, une écoute et de la bienveillance dans les bons comme dans les mauvais moments.

Je tiens également à remercier les membres du jury qui me font l'honneur de juger ce travail : Caroline Nicol et Christian Collet qui ont accepté d'en être rapporteurs et Aurélie Dommès et Denis Brouillet en tant qu'examineurs.

Ce travail n'aurait pas été possible sans le soutien financier la Région Hauts-de-France et l'Université Polytechnique Hauts-de-France.

J'exprime ma gratitude à Thierry-Marie Guerra pour m'avoir accueillie au sein du LAMIH et à Ghassan Ido pour m'avoir permis d'expérimenter à l'Hôpital de Saint-Amand-les-Eaux.

Je ne peux oublier d'associer à ces remerciements Christophe Gillet qui m'a apporté son aide précieuse et son soutien technique dans la programmation des protocoles et l'extraction de nombreuses variables. Je dois aussi beaucoup aux enseignants de la FSMS. Je fais une place toute particulière à Loic Heurley qui a guidé mes premiers pas en recherche, à Sylvain Crémoux pour avoir accepté de « prendre le train en marche » et à Sébastien Leteneur pour son regard clinique. Un grand merci également à Françoise Anceaux-Chavatte pour son écoute et ses encouragements et à Bako Rajaonah pour ses précieux conseils et pour des pauses autant réconfortantes que divertissantes. Enfin, j'ai une pensée pour Julie Delzenne qui est à l'origine de ces travaux de recherche sur le piéton âgé.

La participation de Marion Luyat à ce travail a été pour moi un cadeau, tant par son investissement que par sa bonne humeur. Je lui offre en retour toute ma reconnaissance.

Il est légitime que soient cités Léa Rossignol, Aymeric Zilinski, Aurélie Dageons, Ségolène Guérin et Quentin Gunier, les étudiants qui se sont investis dans les différentes collectes de données. Je tiens aussi à remercier Julien et Gaëtan d'avoir été, pour chacune de mes expérimentations, mes participants tests et pour m'avoir changé les idées par de nombreuses

parties de jeux de plateau. En ayant peur d'oublier certains, je tiens à remercier les doctorants du LAMIH qui ont contribué à faire de ces années une expérience enrichissante et chaleureuse.

Merci également à toutes les Associations qui m'ont permis de recruter des participants : l'Espace Seniors de Lille-Hellemmes, le Club Amanda et la couture Amandinoise de Saint-Amand-Les-Eaux, l'Union Locale des Aînés de Wambrechies et les clubs sportifs de Trith-Saint-Léger, de Maing et de Famars. Enfin, grand merci aux 184 volontaires qui m'ont accordé du temps mais aussi apporté des suggestions et des encouragements ; sans eux ce travail de recherche n'aurait pu se faire.

Mes derniers remerciements s'adressent aux personnes qui me sont chères. À mes parents et à ma grand-mère pour leur présence, leurs encouragements et leur reconnaissance. A mon frère et ma sœur pour leur écoute et leur gentillesse. À Noël qui, même s'il ne sait pas lire, a su me prodiguer des marques d'affection réconfortantes. Enfin, à Noémie pour son soutien et son implication dans mes choix professionnels, qui pourtant, impliquent à chaque fois de grands changements dans sa vie.

PRÉAMBULE

La thématique des transports et de la mobilité est un axe fort du Laboratoire d'Automatique, de Mécanique et d'Informatique Industrielles et Humaines (LAMIH CNRS-UMR 8201). Les approches sont multiples et souvent multidisciplinaires. Les facteurs humains sont au centre de plusieurs recherches, notamment dans le champ du handicap. L'ouverture à des problématiques liées au vieillissement a été soutenue dans le cadre du projet « Seniors en Ville à Pieds » (SEVAP), financé par la Fondation Sécurité Routière (cf. thèse de Julie Delzenne, 2013).

La série d'études qui fait l'objet du présent mémoire s'inscrit dans le prolongement de SEVAP. Elle a nécessité des connaissances dans plusieurs disciplines : Biomécanique, Psychologie et Informatique. Issue d'un parcours universitaire STAPS et plus particulièrement de la filière APAS, il m'a été nécessaire d'acquérir des connaissances dans des domaines qui n'étaient pas ceux de ma formation initiale. Concernant la Psychologie, mes lectures se sont orientées principalement vers les émotions et la perception des distances. Un Master Compétences Complémentaires en Informatique m'a permis de développer des bases de programmation qui m'ont servi dans certains protocoles expérimentaux.

Le travail résumé ici est centré e sur la préparation et l'initiation de la traversée de rue. Les caractéristiques posturales statiques ou dynamiques des piétons sont au centre des études, que ce soit en tant que variables dépendantes ou en tant de variables indépendantes, avec un focus sur la dimension spatiale plutôt que sur la dimension temporelle.

Le manuscrit est découpé en **7 chapitres**.

Le **premier chapitre** situe la problématique dans le contexte général du vieillissement de la population qui constitue un défi social et économique. La mobilité des seniors, en particulier la marche, peut être considérée sous l'angle des facteurs de risques, notamment de chute, qui peuvent précipiter la personne dans la dépendance. Il sera toutefois argumenté que cette mobilité est également un facteur déterminant du bien-vieillir. Le cas spécifique des piétons âgés sera introduit en contrastant les facteurs de risque mais aussi les adaptations positives mises en œuvre par cette tranche d'âge.

Le **deuxième chapitre** approfondit cette analyse dans le cadre de la traversée de rue. Il inventorie des facteurs de risque associés à cette situation. Il se focalise ensuite sur le comportement du piéton âgé avant la traversée effective, en l'occurrence le choix du lieu de traversée et le comportement, notamment exploratoire, lors de l'attente en bord de rue.

Le **troisième chapitre** cherche à préciser comment se placent les piétons sur le trottoir avant l'initiation d'une traversée. Il présente trois collectes de données réalisées in situ avec, pour

point commun, une prise de mesure restituant le pattern complet de positionnement des pieds. L'une d'entre elles avait été effectuée antérieurement dans le cadre de SEVAP. Les contraintes de mise en œuvre ont conduit à fragmenter les recueils dans deux autres lieux où le trafic était moindre. Une évaluation subjective du danger et de la proximité par rapport au bord de rue a été ajoutée dans l'une de ces collectes. La seconde a inclus en plus une mesure de la longueur du pas et une approche initiale dans les deux sens relativement au sens du trafic ; cette dernière collecte intègre également une population jeune pour permettre une comparaison avec l'âge.

Le **quatrième chapitre** s'inscrit dans le prolongement de l'étude précédente. Il explore l'hypothèse que des biais d'estimation de longueur de pas peuvent rendre compte de positionnements inappropriés observés sur le trottoir, soit un retrait trop important. En laboratoire, l'estimation de la longueur du premier pas a été comparée à la longueur effective. Des surestimations sont constatées chez des seniors qui présentent des signes de déclin moteur. Cette erreur de jugement majorerait le risque de chute.

Le **cinquième chapitre** prolonge également les recueils en bord de rue. Il questionne dans une population âgée l'influence des ressentis corporels dans l'adoption d'une position d'attente spécifique, en l'occurrence le fait d'ouvrir davantage le pied gauche vers l'extérieur. Ce positionnement de pieds est comparé avec un positionnement de piétons jeunes, plus symétrique.

Le **sixième chapitre** se consacre à l'initiation de la traversée. Il teste l'impact de la survenue latérale d'une stimulation émotionnelle, modélisant notamment la découverte tardive d'un véhicule à l'approche sur la voie proximale. Une première étude explore uniquement le placement des pieds. Elle conclut que l'image émotionnelle induit un déplacement latéral qui augmente la distance entre l'écran et le placement du pied à l'issue des deux premiers pas. L'avancée en âge n'a pas modifié cet effet. Une deuxième étude s'était fixée pour objectif d'explorer dans un groupe d'étudiants les ajustements corporels susceptibles d'accompagner les ajustements latéraux des pieds. Or, le pattern initial de résultats n'est pas retrouvé. À l'issue du second pas, la distance à l'écran est réduite en cas de diapositives émotionnelles ; l'inversion d'effet serait explicable par des différences de timing entre les deux études.

Le **septième chapitre** offre une conclusion générale de l'ensemble du travail réalisé et en dégage des perspectives. Les principales portent sur l'inclusion d'une population à risque de chute. Est également projetée une étude en simulateur dont l'objectif serait d'étudier les conséquences sur la descente du trottoir des positionnements décrits en bord de rue. Enfin, l'intérêt de la tâche d'estimation de la longueur de pas dans un contexte clinique est questionné.

1. INTRODUCTION GÉNÉRALE

1.1. Le vieillissement de la population

En France, un quart de la population est âgé de 60 ans ou plus, soit 16 millions de personnes. Il est prévu une croissance de cette population vers une personne sur trois à l'horizon 2050 (Insee, 2016¹). L'augmentation de l'espérance de vie est la principale cause de ce vieillissement, à laquelle s'ajoute une baisse de la fécondité. L'espérance de vie à 60 ans était de 27,3 ans pour les femmes et de 22,9 ans pour les hommes en 2015 (dernières données disponibles). Entre 1980 et 2010, les Français ont gagné en moyenne 3 mois d'espérance de vie par an, puis un mois par an jusque 2014 ; les gains sont plus ténus depuis et les prévisions à long terme sont périlleuses (données Insee, 2016). Néanmoins, le vieillissement de la population est déjà une problématique sociétale majeure.

Si vivre longtemps est un souhait partagé par beaucoup, l'image associée au vieillissement est souvent négative. Elle renvoie en effet à diverses incapacités. La perte d'autonomie (capacité de gérer son existence par soi-même) ou d'indépendance (vue ici comme la capacité physique à effectuer des actions seul) est redoutée tant au niveau individuel (Teixeira, 2008) que sociétal. Le nombre de seniors dépendants ne cesse d'augmenter (2012 : 1,17 millions ; prévision 2060 : 2,3 millions ; Insee, 2014). À notre connaissance, les derniers chiffres estimaient le nombre de seniors dépendants (au sens de l'Allocation Personnalisée d'Autonomie) à 7,8 % des 60 ans ou plus (Dress, 2013). Le glissement dans la dépendance peut être progressif, comme sous l'effet du vieillissement physiologique ou en lien avec des maladies chroniques ; il peut aussi être plus soudain, comme par exemple suite à un accident vasculaire cérébral. La chute apparaît également comme un des principaux facteurs incapacitants (Centers for Disease Control and Prevention, 2016).

1.2. Les chutes des personnes âgées

L'Institut National de Veille Sanitaire (INVS) recense en France environ 450 000 chutes de personnes âgées chaque année. Le nombre des chutes croît avec l'avancée en âge (Figure 1, Horak, 2006 ; Vassallo et al., 2002 ; Menz et al., 2003 ; OMS, 2007 ; HSE, 2008 ; Cigolle et al., 2015) : elles représentent 71 % des accidents chez les 65-69 ans et atteignent 95 % chez les 90 ans et plus (Thélot et al., 2018). Au domicile, un tiers des personnes de plus de 65 ans et la moitié des plus de 85 ans chutent au moins une fois par an (Lord et al., 2006 ; OMS, 2008). Chez les seniors les plus autonomes, en meilleure santé et les moins âgés, entre 42 % et 50 % des chutes se produisent à l'extérieur (Campbell et al., 1990 ; Lord et al., 1993 ; Lord et al., 1994 ; O'Loughlin et al., 1994 ; Luukinen et al., 1995 ; Berg et al., 1997 ; Bath et Morgan, 1999 ;

¹ Projections de population 2005-2050, scénario central et les six variantes qui ne diffèrent du scénario central que pour une composante.

Hill et al., 1999 ; Mackensie et al., 2002 ; Li et al., 2006 ; Decullier et al., 2010 ; Kelsey et al., 2010, 2012a&b ; Milat et al., 2011). Basés sur des données d'hospitalisation et d'interventions de services d'urgence, Oxley et al. (2018) concluent que les piétons âgés sont surreprésentés parmi les blessés pour cause de chute.

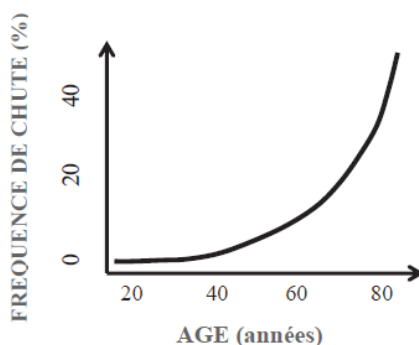


FIGURE 1 : FRÉQUENCE DE CHUTE EN FONCTION DE L'ÂGE SELON HORAK (2006)

L'augmentation de la fréquence de chute est de plus en plus importante au fur et à mesure de l'avancée en âge.

Chaque année, 9300 personnes âgées de plus de 65 ans décèdent en France métropolitaine des suites d'une chute (Inpes, 2014). Les chutes non fatales ont des conséquences multiples (Peel, 2011). Les relations entre la santé physique et fonctionnelle (perte d'autonomie) et les chutes sont incontestables (Stel et al., 2004 ; Harthold et al., 2011 ; Boyé et al., 2013). Sur ce plan physique, le type de traumatisme dépend de la manière dont la personne âgée chute (Nevitt & Cummings, 1993) ; les principales conséquences sont des fractures, des lacérations cutanées profondes, et des douleurs. Le tableau clinique est considéré comme particulièrement sévère dans 5 % des cas (Rubenstein, 2006) ; à noter un plus grand nombre de fractures ouvertes suite aux chutes survenant à l'extérieur du domicile (Cippendale et al., 2017). Les chutes peuvent également avoir des conséquences psychologiques (peur de chuter, dépression ; Tinetti et al., 1995 ; Boyd et al., 2009) et sociologiques (isolement, perte d'indépendance, dépenses financières ; Bloch et al., 2009 ; Court-Brown et al., 2011 ; Quah et al., 2011). De ce fait, la chute altère le bien-être subjectif (Simone et Haas, 2013) et limite l'indépendance fonctionnelle (Maden-Wilkinson et al., 2013). Pour les personnes âgées en bonne santé, la chute peut ainsi être le premier élément d'une spirale d'événements négatifs bien plus graves : 40 % des personnes âgées hospitalisées pour une chute sont orientées vers une institution (Beck et al., 2005). Cela explique que la chute ait fait l'objet d'une attention toute particulière dans la loi de santé publique qui fixait l'objectif « de réduire de 25 % le nombre annuel de chute des personnes âgées » entre 2003 et 2008 (DREES, 2011). Les conséquences des chutes sont majorées par l'avancée en âge (Rubenstein, 2006).

Les conséquences financières des chutes touchent l'individu mais également le système de santé. Les données disponibles ne semblent pas suffisantes pour calculer le coût réel de la prise en charge des chutes et de leurs conséquences médicales et sociales. En France, le coût direct dépassait le milliard d'euros en 1993 (Stephan et al., 1995) ; selon Dantoine (2016) son estimation actuelle est de 2 milliards d'euros et le coût moyen d'une chute varierait entre 2 000 et 8 000 euros. De telles dépenses s'ajoutent à d'autres pour rendre compte du fait que, dans son ensemble, le vieillissement majore les dépenses publiques. La Direction Générale du Trésor et de la Politique Économique (2009) considère légitime que le vieillissement détienne une place centrale dans le débat public sur l'évolution des dépenses de santé en raison de son ampleur et de son caractère prévisible. Une population qui vieillit va dépenser plus en soins et en biens médicaux (Joël, 2002). La consommation de soins et biens médicaux (CSBM) augmente d'années en années et représentait déjà 8,7 % du PIB en 2012 (DRESS). Dans le scénario de référence, à politique inchangée, la CSBM devrait représenter 11,5 % du PIB en 2060 (Direction Générale du Trésor, 2013). La prise en considération de ce processus de vieillissement de la population française est considérée comme une nécessité et un défi majeur pour l'action publique.

1.3. Vieillir sans incapacité

Face aux défis liés au coût sociétal du vieillissement, une des options est de prolonger le plus longtemps possible une bonne qualité de vie et un bon état de santé. Cette stratégie a été mise en avant par l'OMS (2015)² et par l'Union Européenne qui annonçait en 2012 l'objectif d'augmenter la durée de vie en bonne santé de 2 ans à l'horizon 2020 (Horizon 2020). L'idéal sous-jacent met en avant l'indépendance et l'autosuffisance de l'individu, ce qui exige le maintien de son autonomie fonctionnelle et cognitive (Markus et al., 1991). Dans la lignée de ces objectifs, se renforcent les idées de « bien-vieillir », de « vieillissement réussi », « vieillissement actif » ou de « vieillissement en santé ». Différents modèles théoriques intègrent ces concepts, dans des approches uni- ou multidimensionnelles (Lupien & Wan, 2004 ; Chapman, 2005 ; Rowe & Khan, 1998 ; Baltes & Baltes, 1990 ; Riley & Riley, 1990). Si les conceptions initiales se sont focalisées sur des composantes biomédicales, définissant le bien-vieillir par l'absence de maladie et d'incapacité (Rowe et Kahn, 1987), les conceptions ultérieures sont plus globales. Elles mettent non seulement l'accent sur les capacités physiques mais aussi sur les capacités cognitives et sur les interactions sociales. De fait, la thématique ne peut se cantonner à la sphère médicale. Si la France figure parmi les pays qui assurent à leurs habitants l'espérance de vie la plus longue (juste après l'Espagne et le Japon ; OCDE 2017), elle se place moins bien concernant l'espérance de vie en bonne santé, également appelée

² « Vieillir en bonne santé » est défini comme le processus de développement et de maintien des capacités fonctionnelles qui permet aux personnes âgées d'accéder au bien-être. *Rapport mondial de l'OMS sur le vieillissement et la santé*, publié le 1er octobre 2015.

espérance de vie sans incapacité (EVSI), qui augmente comparativement moins vite, voire stagne. Ainsi, la France se place au 7^{ème} rang pour les femmes et 13^{ème} pour les hommes au sein de l'union européenne³ (DREES, 2018) ; l'EVSI à la naissance ne représente respectivement que 80 et 76 % de l'espérance de vie totale. L'écart entre ces deux indicateurs augmente à lui seul les dépenses publiques de notre pays.

Pour prolonger la qualité de vie, un objectif toujours d'actualité est d'identifier les facteurs du maintien des activités et d'encourager les actions qui en découlent. Cet objectif ne se résume pas à rendre chacun responsable de son propre vieillissement dans une approche qui pourrait être qualifiée d'élitiste (Rowe & Khan, 1998). On ne saurait omettre le besoin d'une individualisation des conseils prodigués ni minimiser les effets positifs des dispositifs qui visent à accompagner les seniors dans des processus de sélection, optimisation et compensation (Baltes et Baltes, 1990).

1.4. La mobilité des personnes âgées

La mobilité peut être tout à la fois considérée comme une composante du bien vieillir et comme un facteur qui y contribue, notamment si elle permet des déplacements en dehors du domicile. Quelles que soient leurs modalités, les déplacements sont en effet nécessaires pour effectuer de multiples actions de la vie quotidienne dont la réalisation contribue à l'autonomie, renforce l'estime de soi et favorise les liens sociaux (Groessi et al., 2007 ; Yeom et al., 2008). En conséquence, rien d'étonnant à ce que les personnes âgées expriment leur souhait de rester mobiles le plus longtemps possible (ITF, 2012).

Le modèle de Weber et al. (2010 ; Figure 2) distingue cinq déterminants individuels de la mobilité : (a) le déterminant physique (état physique de la personne, capacité ou non à utiliser une aide à la marche en cas de difficulté), (b) le déterminant cognitif (état mental, mémoire, vitesse de traitement et fonctionnement exécutif), (c) le déterminant psycho-social (auto-efficacité, comportements d'adaptation, dépression, peur, relations sociales qui affectent les intérêts et la motivation à être mobile), (d) le déterminant environnemental (état de l'environnement dans lequel se déplace l'individu), et (e) le déterminant financier (l'aide à la mobilité peut se révéler onéreuse ; Shumway-Cook et al., 2005). Le modèle prend également en compte des influenceurs transversaux comme (a) le genre (les auteurs argumentent que les femmes ont des limitations plus importantes et un risque plus élevé d'incapacité de mobilité par rapport aux hommes), (b) la culture (son effet sur les relations sociales, sur les possibilités d'éducation, d'emploi et sur les habitudes d'activités physiques) et (c) l'histoire personnelle de l'individu.

3 Muriel Moisy (DREES), 2018, « Les Français vivent plus longtemps, mais leur espérance de vie en bonne santé reste stable », Études et Résultats, n°1046, Drees, janvier.

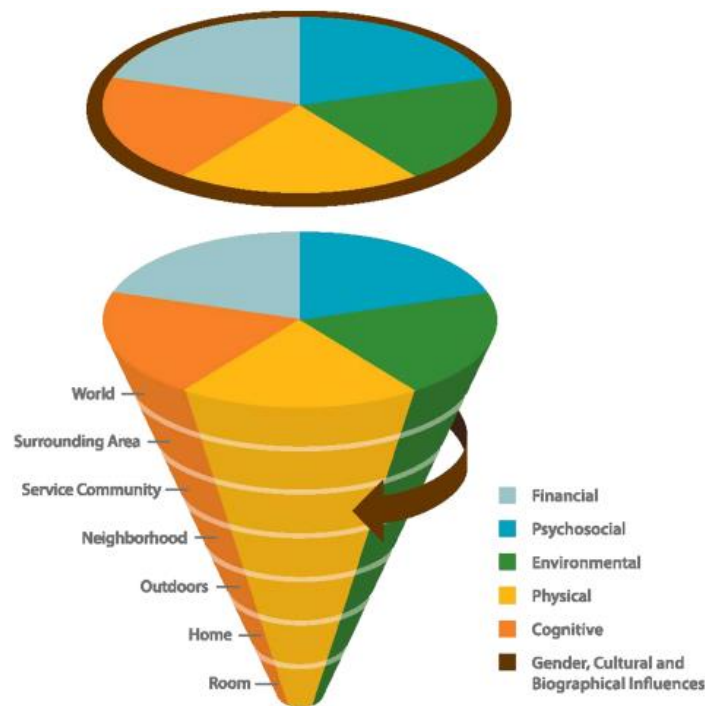


FIGURE 2 : MODÈLE DE MOBILITÉ DE WEBER ET AL. (2010)

Cette conceptualisation de la mobilité s'applique à tous les seniors, quelle que soit leur situation de vie ou leur capacité fonctionnelle. Toutes les formes de mouvement sont importantes et une mobilité réduite peut amener des limitations dans les différents espaces de vie.

Weber et al (2010) ne mentionnent pas l'âge en tant que déterminant de la mobilité mais celui-ci peut être mis en lien avec plusieurs des déterminants inclus dans le modèle. Avec l'avancée en âge, la mobilité, en termes de déplacements, tend à diminuer (Le Jeannic, 2010) ; les déplacements hors du domicile sont moins nombreux et se complexifient (OMNIL, 2013). Les seniors continuent de privilégier les véhicules personnels (Figure 3), le passage du conducteur au non-conducteur étant nécessaire pour certains (Oxley & Charlton 2009). Les transports en commun sont utilisés occasionnellement et selon l'offre. La marche, considérée comme un mode de transport actif, reste centrale pour la mobilité (America Walks, 2017) ; elle prédomine pour des courts trajets et permet de compléter les trajets en véhicules d'autant que le porte à porte devient difficile en voiture en ville (politiques anti-pollution limitant le stationnement, zones de rencontre - décret 2008-754 du 30 juillet 2008, zones bleues - décret 2007-1503 du 19 octobre 2007). L'incidence de ces restrictions est notable en l'île de France, avec 44 % des déplacements des seniors réalisés à pieds contre 40 % en voiture. Dans ce contexte, la marche est décrite comme un mode de transport dit « doux » car faible en coût économique et ne générant pas d'émissions polluantes (Thomas, 2010).

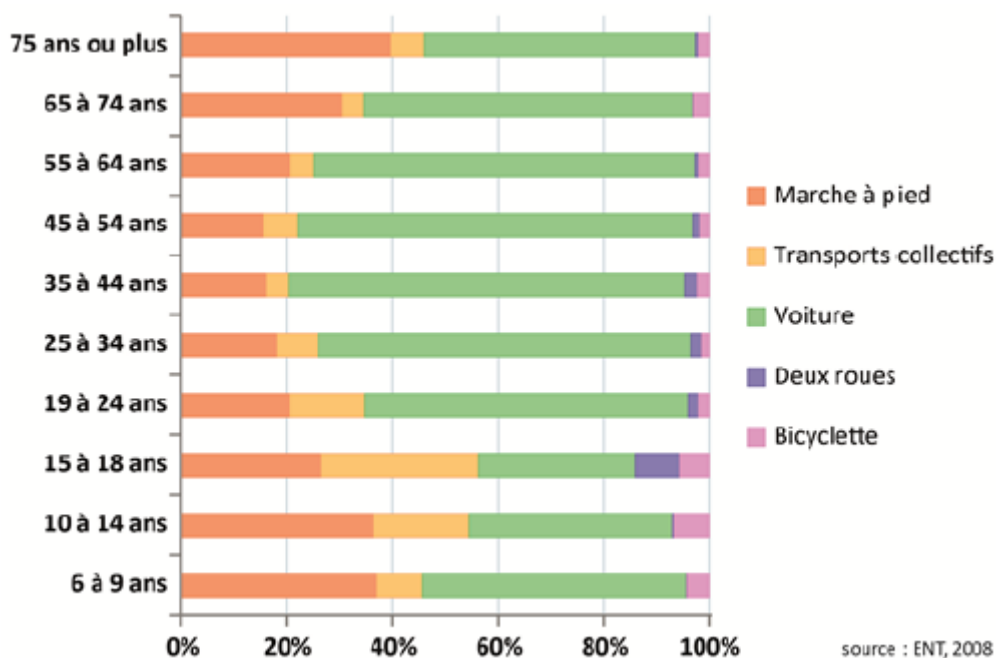


FIGURE 3 : LES MODES DE TRANSPORT EN FONCTION DE L'ÂGE
(ENQUÊTES NATIONALE DE TRANSPORT, 2008)

La marche à pied dans les pratiques de mobilité représente 35 % des déplacements des plus de 65 ans (contre 33 % chez les moins de 18 ans et 18 % chez les personnes de 19 à 64 ans). Parmi les plus âgés (75 ans et plus), près de 40 % des déplacements quotidiens sont réalisés à pied.

Les avantages d'une part accrue des transports actifs correspondent à des bénéfices sociaux, économiques et environnementaux (Garrard, 2009), mais aussi individuels. Outre les bénéfices généraux de la mobilité évoqués ci-avant (autonomie, relations sociales), l'engagement des seniors dans le transport actif et l'augmentation du temps d'activité physique sont liés à l'accroissement de l'espérance de vie et à une réduction des risques d'apparition de maladies chroniques, notamment les maladies cardiovasculaires et le diabète (OCDE, 2001). Un effet positif est également décrit sur la santé mentale et le fonctionnement cognitif (Binder et al., 2002 ; Garrard, 2009 ; Oxley et al. 2004). L'activité physique réduirait la survenue des maladies d'Alzheimer et de Parkinson (Hamer, 2008 ; Goodwin et al, 2008). En conséquence, une personne âgée qui pratique une activité physique comme la marche réduit son risque de dépendance par l'amélioration générale de sa santé (Gillespie et al., 2012). Mettant en avant ces bénéfices, les recommandations pour les personnes âgées préconisent une pratique modérée mais quotidienne ainsi que des exercices de coordination et un renforcement musculaire à l'aide du poids du corps uniquement (Centres for Disease Control, 2014). La marche reste l'activité physique la plus répandue dans cette classe d'âge. Si intuitivement, marcher peut apparaître comme une activité propice à la chute, sa pratique régulière permet d'améliorer significativement l'autonomie fonctionnelle, la qualité de vie, la résistance aérobie et l'humeur chez les personnes âgées (Fraga et al., 2011).

1.5. Les piétons âgés

Que les déplacements à pied des seniors soient motivés par des achats, divers rendez-vous (dont des rendez-vous médicaux) ou des activités de loisir (EMD – LMCU⁴, 2006), la marche s'inscrit le plus souvent dans un environnement urbain. Le concept de « piéton » ne décrit pas uniquement une personne qui se déplace à pied, mais est associé à l'idée d'usager de la route. Son domaine réservé est principalement le trottoir qu'il est tenu d'emprunter (article R 412-34) et les aires piétonnes. Il peut traverser les chaussées à tout endroit sauf en présence d'un passage piéton qu'il est tenu d'emprunter s'il se situe à moins de 50 mètres (article R 412-36). Dans l'environnement urbain, il côtoie d'autres piétons, et d'autres usagers de la route (conducteurs de véhicules). L'environnement est source de nombreuses stimulations visuelles et auditives (trafic, état de la voirie, mobilier urbain, publicités, klaxon...). Avec une augmentation du nombre et de la proportion de personnes âgées en tant que piéton, un besoin d'améliorer l'environnement piétonnier se fait sentir. La marche étant alors une activité située, il est en effet possible de questionner l'adéquation de cet environnement aux piétons seniors. Assurer une mobilité sécurisée implique de prendre en compte certaines caractéristiques environnementales (cf. Weber et al., 2010) : aménagement des trottoirs, des passages pour piétons, des intersections et gestion de la vitesse des véhicules (America Walks, 2017). Si ces caractéristiques externes sont mal adaptées ou défectueuses, elles peuvent majorer le risque de chutes (cf. ci-avant pour des statistiques relatives aux chutes en extérieur). Les chutes peuvent aussi être causées par des déterminants internes dont dépendent les comportements de marche comme se dépêcher ou ne pas prêter attention ; la fatigue est aussi un facteur de risque (Chippendale & Raveis, 2017 ; Clemson et al., 2003 ; cf. Chapitre 2).

Les piétons âgés seraient davantage impactés par toutes ces perturbations internes et externes. Ils sont ainsi considérés comme des usagers de la route vulnérables, soit pour causes de chutes, soit pour causes d'accident. Les risques encourus viendraient donc contrebalancer les avantages de la marche soulignés ci-avant. Les statistiques accidentologiques concluent en effet à une sur représentation des seniors parmi les piétons tués. Un accident de la route, appelé également accident sur la voie publique, correspond à la survenue d'un choc entre un véhicule et un élément et/ou une personne qui engendre des blessures humaines et/ou des dégâts matériels. En 2017, 3 684 personnes sont décédées sur les routes de France⁵ (ONISR, 2018) ; parmi elles, 484 étaient des piétons dont 232 étaient âgés de plus de 65 ans. Ces seniors représentent donc 49 % des piétons tués, alors qu'ils ne représentent que 19 % de la population française (ITF, 2012). Comparativement aux piétons plus jeunes, ils risquent davantage d'être sérieusement blessés dans des accidents de la route (Henary et al., 2006 ; Islam & Hossain,

⁴ Ancien nom donné à la Métropole Européenne de Lille (MEL).

⁵ La France se place au 12^{ème} rang de l'UE en termes de sécurité.

2015 ; Kim et al., 2008 ; Kim et al., 2010 ; Wang et al., 2017) et ce, en particulier pour les piétons de plus de 75 ans (Steve O'Hern et al., 2015). Les accidents à gravité égale provoquent chez les seniors une incapacité plus grande que chez des personnes plus jeunes mais aussi une hospitalisation plus longue, des périodes de réadaptation plus conséquentes, un risque plus important de devenir dépendant et un risque plus élevé de décès (Mitchell et al., 2010). Tout comme dans le cas des chutes, les accidents de piétons renvoient donc à des difficultés d'interaction avec l'environnement considéré au niveau statique (infrastructure) ou dynamique (trafic routier). Outre des symptômes de maladies dont la fréquence augmente avec l'âge, différents déclin ont été évoqués en tant que facteurs de risque chez le piéton âgé (Dommes et al., 2014 ; Dommes et Cavallo, 2011 ; Dommes et al., 2013 ; Gorrieta et al., 2008 ; Naveteur et al., 2013 ; Oxley et al., 1997 ; Oxley et al., 2005). Ils sont cognitifs (ex. réduction des capacités mnésiques, réduction de la capacité de traitement de l'information, troubles de la perception du temps), sensoriels (ex. baisse de l'acuité visuelle et auditive, difficultés dans la perception de la profondeur) ou moteurs.

Sur le plan moteur, une augmentation des temps de réaction peut être problématique chez le piéton âgé mais c'est essentiellement le ralentissement de la vitesse de marche qui préoccupe (Hoxie et Rubenstein, 1994). Le vieillissement induit aussi une réduction de la longueur de pas, de la cadence de marche (bien qu'une augmentation de cadence puisse compenser chez certains la diminution de la longueur de pas), une réduction du temps de double appui ainsi qu'une plus grande instabilité posturale (Viera et al., 2015 ; Zito et al., 2015). Une série d'études a souligné l'inadéquation entre les temps alloués par le feu piétons vert et le temps effectivement mis par des personnes âgées pour effectuer la traversée (ex. Duim et al., 2017 ; Hoxie & Rubenstein ; 1994) : le piéton doit généralement marcher à 120 cm / s (Oh-Park et al., 2010), alors que les seniors de plus de 70 ans en bonne santé ne se déplacent généralement qu'à 110 cm / s (Hollman et al., 2011) ; d'où une mise en danger causée par l'environnement. Il a aussi été montré que les seniors ne sont pas capables de parvenir à une vitesse et une longueur de foulée similaires à celles des jeunes lors du passage d'une marche à vitesse préférentielle à une marche rapide, notamment lorsque l'accélération doit se faire en peu de temps (Viera et al., 2015 ; Shkuratova et al., 2004). Néanmoins lorsqu'ils disposent de davantage de temps (ex. lors d'une traversée de rue simulée avec un impératif de 7 s et non plus de 3 s), des participants âgés de 73 ± 6 ans restent capables d'accroître leur vitesse et cadence de marche ainsi qu'augmenter leur longueur de pas (Viera et al., 2015).

Malgré ces facteurs de risque, les piétons âgés sont parfois décrits comme une population prudente (Granié, 2008). Ce sont des piétons qui agiraient conformément aux recommandations ; en termes de responsabilité dans les accidents, ils ne se distinguent pas des piétons d'âge moyen (Ulfarsson et al., 2010). Les seniors qui ont des difficultés à traverser la

rue seraient en capacité de modifier leurs comportements afin de réduire les risques, en privilégiant des espaces sécuritaires pour traverser (Dommes et al., 2014). Comme souligné par Tournier et al. (2016), le piéton âgé mettrait donc en place des stratégies de compensation des déclins en se donnant des marges de sécurités afin de ne pas courir à l'approche d'un véhicule, en regardant le sol avant de traverser (Avineri et al., 2012 ; Guo et al., 2011 ; Job et al., 1998 ; Ren et al., 2011) ou en respectant les feux de signalisation (Lipovac et al., 2012).

L'explication de ces paradoxes entre vulnérabilité et prudence pourrait renvoyer à une littérature qui insiste sur l'importance de ne plus considérer les seniors comme une catégorie homogène d'usagers (Alsnish et Hensher, 2003). Même si l'âge chronologique est une indication toute relative et si les dégénérescences physiologiques sont généralement graduelles, deux sous-catégories d'âge sont souvent distinguées : (a) les 65 (voire 60) - 75 ans et (b) les plus de 75 ans. Le risque de survenue d'un vieillissement pathologique, tant sensorimoteur que cognitif, est également majoré chez les plus âgés (Steffen et al., 2002 ; Waters et Mulroy, 1999). Il est alors possible que les contraintes de certaines situations rencontrées par les piétons soient trop fortes pour qu'ils puissent les gérer de façon sécuritaire compte tenu des différents déclins liés à l'âge et ce, même s'ils gardent l'intention d'être prudents. Les explications individuelles et contextuelles pourraient d'ailleurs être considérées conjointement sur un mode d'amplification réciproque des risques.

Au final, même si le nombre d'études consacrées aux piétons a notablement augmenté ces dernières années (cf. Kim et Ulfarsson, 2018 ; Tournier et al., 2016), elles sont loin d'avoir exploré l'ensemble de la problématique. Dans une démarche de sécurité active, en plus d'un focus sur l'environnement, il est nécessaire de s'intéresser davantage aux facteurs intrinsèques en identifiant les difficultés ou les comportements à risque chez les piétons seniors. L'adaptation ou la non-adaptation du comportement du piéton senior peuvent ainsi être analysées en référence à différentes séquences critiques, en particulier lors de la traversée de rue.

2. LES PIÉTONS SENIORS ET LA TRAVERSÉE DE RUE

2.1. Quels dangers pour les piétons âgés ?

Pour les personnes âgées, la traversée de rue constitue une situation tout à la fois accidentogène et propice aux chutes. Une traversée est une situation de double tâche. L'attention est partagée entre l'environnement et la marche, marche qui sollicite davantage de ressources cognitives avec l'avancée en âge (cf. Chapitre 4). Or, ce type de situations est aussi connu pour augmenter les risques de chutes (Hatfield & Murphy, 2007 ; Beauchet et al., 2009), avec une gravité de conséquences potentiellement majorée dans cet environnement (Viera et al 2015). Ainsi, la situation de traversée de rue est identifiée comme l'une des situations dans lesquelles les chutes en extérieur surviennent le plus souvent (Kelsey et al., 2012 ; Li et al., 2006 ; Nyman et al., 2013). La question de la négociation des dénivelés est aussi pertinente au regard des risques de chute ; elle sera traitée dans le Chapitre 3.

En référence au trafic, une traversée sécuritaire requiert une bonne gestion des paramètres spatio-temporels. Les piétons doivent déterminer le temps dont ils disposent entre le passage de deux véhicules. Pour qu'une fenêtre temporelle soit dite sécuritaire, l'intervalle disponible entre les deux véhicules doit laisser le temps au piéton de traverser l'ensemble de la route. Il a parfois été observé que les piétons les plus âgés privilégient des fenêtres temporelles plus larges que leurs homologues plus jeunes pour traverser entre deux véhicules dans une rue à sens unique (Lobjois et Cavallo, 2007, 2009). Chez des personnes âgées souffrant soit d'arthrose des hanches ou des genoux, soit de douleurs consécutives à des fractures, Naveteur et al. (2013) ont constaté une surestimation du temps requis pour parcourir 7 m, distance correspondant à la largeur moyenne d'une rue. Une telle surestimation peut contribuer à augmenter les marges de sécurité. Cet effet peut s'expliquer par une surcompensation de l'augmentation du temps de traversée chez les seniors (ou sous-estimation de la vitesse de marche) qui sont généralement ceux qui traversent la route le plus lentement (Avineri et al., 2012 ; Gates et al., 2006 ; Knoblauch et al., 1996 ; Stollof et al., 2007 ; cf. section 1.5).

À côté des quelques travaux illustrant un comportement de traversée prudent, la plupart des recherches publiées a tenté de mettre en évidence des erreurs décisionnelles. Les risques de collision avec des véhicules sont importants aux intersections sans signaux lumineux, qu'un passage piéton soit présent ou non (cf. Kim et Ulfarsson, 2018). Des déficits attentionnels sont alors généralement évoqués. Il peut toutefois s'agir dans un tel cas de l'engagement d'un piéton qui n'a pas prêté attention au trafic (ou a agi avec excès de confiance) mais aussi du fait d'un conducteur qui a insuffisamment prêté attention au piéton, les deux pouvant être ou non majorés par une visibilité insuffisante. En outre, beaucoup d'études se sont focalisées sur l'occurrence des initiations avec des fenêtres temporelles inadéquates, généralement dans des contextes de ligne droite. En simulateur, Dommes et al. (2014) ont observé que des participants

âgés (72-85 ans) ont pris des décisions de traversée conduisant à des collisions avec des véhicules à l'approche plus fréquemment que des seniors plus jeunes (62-71 ans) et que des jeunes (19-35 ans) ; voir aussi Dommes et al. (2013). Ces résultats obtenus avec une rue à double sens corroborent ceux obtenus pour des voies en sens unique (Dommes & Cavallo, 2011 ; Lobjois & Cavallo, 2007, 2009), ceux provenant de bases de données accidentologiques (Fontaine & Gourlet, 1997 ; Oxley et al., 1997) et des études conduites in-situ (Holland & Hill, 2010). Ces décisions critiques expliqueraient en partie les statistiques accidentologiques rapportées au Chapitre 1.

Dunbar et al. (2004) concluent que les piétons âgés s'attendent souvent à ce que les conducteurs s'adaptent à eux, et pour cause les conducteurs cèdent plus facilement le passage aux piétons seniors qu'aux jeunes adultes (Al-Kaisy et al. 2016). Il y aurait donc de la part des seniors une prise de risque intentionnelle. Alternativement, le déclin des fonctions cognitives lié à l'âge serait susceptible d'induire des décisions de traversée inappropriées et ce, principalement dans des conditions complexes de par les environnements routiers et les infrastructures. Les actions erronées seraient donc alors involontaires, assimilables à des ratés (« *slips* ») selon la terminologie de Reason (2013). Une analyse exhaustive des causes cognitives de mise en danger des seniors lors des traversées dépasserait les contraintes spatiales et temporelles du présent travail (pour une revue, voir Tournier et al., 2016). Néanmoins, un focus sur les erreurs dans les processus d'évaluation montre qu'elles peuvent concerner tant la vitesse de marche (cf. Chapitre 4) que les caractéristiques temporelles du trafic. Ainsi, possiblement sous l'effet des deux types d'erreurs (la surestimation de la vitesse de marche serait toutefois le meilleur prédicteur des collisions selon Dommes et al., 2013), plus la rue à traverser est large, plus les piétons âgés risquent des accidents (Islam et al., 2014). En outre, les rues à double sens sont plus accidentogènes que les rues à sens unique en lien avec une augmentation de la charge cognitive (Fontaine et Gourlet ; 1997 ; Oxley et al., 1997), sachant que la difficulté à traverser des rues larges ou des carrefours est amplifiée par des circulations rapides venant de diverses directions en même temps (Bernhoft et Carstensen, 2008). Dommes et al. (2012) signalent que les seniors adoptent des marges de sécurité insuffisantes lorsque les véhicules approchent à grande vitesse (voir également Lobjois & Cavallo, 2007 ; Oxley et al., 2005). Par exemple, davantage de décisions risquées sont observées avec des véhicules à l'approche roulant à 60 km/h plutôt qu'à 40 km/h (Dommes et al., 2013). Une explication serait que ces piétons basent davantage leur décision sur des paramètres de distance que sur des paramètres de temps. Des fenêtres temporelles basée sur la distance sont liées à une surestimation du temps disponible quand les véhicules sont plus rapides et donc à des comportements de traversée dangereux (Dommes et al., 2012). De façon générale, l'avancée en âge induit des difficultés d'estimation du délai d'arrivée des voitures à l'approche (Carthy et al., 1995 ; Schiff et al., 1992 ; Scialfa et al., 1991), difficultés également

retrouvées avec des procédures et du matériel plus abstraits de type temps de contact (« *time to contact* » ; Andersen & Enriquez, 2006 ; DeLucia et al., 2003).

Dans le cas de rues à double sens, sur quelle voie les piétons seniors sont-ils les plus vulnérables ? Les données de la littérature sont contradictoires. L'idée d'une plus grande occurrence d'accidents sur la voie distale est défendue par plusieurs auteurs, en accord avec l'idée que les seniors âgés ont tendance à traverser alors que seule la voie proximale est sûre. Comme le montrent Dommes et al. (2014) en simulateur, la marge de sécurité se révèle suffisante pour la voie proximale mais insuffisante pour la voie distale. Même si ces piétons s'en rendent compte au milieu de la traversée, aucune compensation ne pourrait être apportée par une accélération de la marche en raison entre autres, de la baisse de leur capacité motrice. Les chiffres rapportés par Oxley et al. (1997) suggèrent toutefois qu'environ la moitié des accidents se produisent au moment de la descente du trottoir et les données accidentologiques publiées par Fontaine et Gourlet (1997) font émerger une prédominance des accidents en milieu de rue (47 % contre 26 % en début de traversée et 27 % en fin). D'autres études aboutissent à la conclusion d'une plus grande dangerosité de la voie proximale. Dunbar et al. (2004) rapportent des données australiennes de 1999, selon lesquelles 41 % des accidents de piétons de 60 ans et plus ont lieu sur la voie proximale contre 35 % sur la voie distale. Carthy et al. (1995) distinguent un groupe de jeunes seniors (65-74) d'un groupe de seniors plus âgés. Dans les deux cas, un plus grand ratio d'accident est constaté sur la voie proximale, la seule exception étant une augmentation des accidents sur la voie distale chez les femmes de 75 ans ou plus. Dunbar (2012) présente des données de risques relatifs de chacune des voies sur un grand épannage d'âge. Les accidents sur la voie proximale restent prépondérants quel que soit l'âge mais leur fréquence prédomine nettement durant l'enfance avant de décroître progressivement puis une nouvelle augmentation est constatée chez les très âgés (85 ans ou plus). Une explication qui pourrait être avancée pour un bénéfice sécuritaire de la voie distale en situation réelle est que les conducteurs ont la possibilité d'anticiper les ajustements nécessaires pour éviter la collision avec un piéton aperçu en train de traverser sur la voie opposée (voie de gauche en cas de conduite à droite), ajustements que ne font pas les véhicules en simulateur. À noter enfin que le risque de collision avec un véhicule encouru par les piétons âgés est augmenté si le conducteur est lui-même âgé, ce qui explique en partie le fait que ces accidents surviennent préférentiellement lorsque les véhicules changent de voie puisque ces situations sont parfois plus complexes pour les conducteurs âgés (Kim et Ulfarsson, 2018).

Ce paragraphe a présenté différents risques associés à la traversée de rue chez le piéton âgé. Les chutes ou collisions avec un véhicule surviennent sur la chaussée, plus ou moins loin de l'emplacement sur le trottoir d'où la traversée a été initiée. Le piéton âgé peut être fragilisé par son déclin sensorimoteur et par des erreurs décisionnelles. Or, c'est sur le trottoir que se prend

la décision de traversée. Une première étape de la chaîne événementielle aboutissant à une traversée potentiellement risquée peut ainsi être identifiée plus en amont : elle concerne le choix d'un endroit adéquat pour traverser.

2.2. Le piéton senior avant la traversée

2.2.1. La sélection d'un endroit adéquat pour traverser

Sélectionner un endroit adéquat pour traverser est une des caractéristiques d'un comportement sécuritaire. Les passages piétons avec feux sont plus sécuritaires que les simples passages signalés (zébras ou autres) ; les seconds sont sources de comportements plus imprudents de la part des piétons mais également de moins d'arrêts des conducteurs (Harruff et al., 1998 ; Koepsell et al., 2002). Le rapport sur les villes qui développent des politiques en faveur des aînés (« age friendly » ; OMS, 2007) fait référence à des passages piétons accessibles, avec une surface plane et antidérapante. Des préconisations concernant des passages libres d'obstructions, soit sans bordure, sont également formulées. En effet, le système américain de surveillance électronique des blessures indiquait que, pour près d'un quart des blessés par une chute, une bordure était impliquée, sachant que les adultes de plus de 80 ans sont davantage susceptibles de chuter à cause d'une bordure que ceux de 65 ans (Naumann et al. 2011). De plus la hauteur des bordures joue un rôle dans la détection de celles-ci, avec des valeurs critiques pour des hauteurs inférieures à 6 cm (Thomas, 2011).

Des ajustements comportementaux en faveur des environnements les plus appropriés ont été décrits chez les piétons seniors. Comme déjà énoncé (cf. Chapitre 1), ils privilégient les intersections avec des feux de signalisation et les passages piétons (Bernhoft et Carstensen, 2008 ; Dommes et al. 2014). Ils optent même pour utiliser les passages piétons les plus courts, et apprécient les îlots centraux des rues larges (Kim et Ulfarsson, 2018). Néanmoins, quand la visibilité est bonne ou que la circulation est clairsemée, les piétons âgés évitent régulièrement de faire un détour pour traverser (Bernhoft et Carstensen, 2008) ; les déficiences physiques de certains peuvent aussi réduire leur capacité à atteindre un endroit sûr qui est loin. Ils décident alors de traverser là où il n'y a pas de passages pour piétons (« *jaywalk* ») et ce, même que celui-ci est parfois en vue.

2.2.2. L'exploration visuelle de l'environnement

Ses interactions avec l'environnement lors d'une traversée de rue (Shinar et Scheiber, 1991) amènent le piéton à construire des représentations cognitives de l'espace avec de nombreux processus mentaux dynamiques (Gärling et al., 1998 ; Golledge, 1999) puisque l'information est constamment mise à jour, complétée et améliorée à court et plus long terme. Pour ce faire, l'exploration visuelle est déterminante mais la perception visuelle est possiblement affectée par

les détériorations de l'acuité visuelle (Haegerstrom-Portnoy et al., 1999), de la sensibilité au contraste (Rubin et al., 1997) et de la perception du mouvement (Snowden et Kavanagh, 2006). La réduction du champ de vision peut aussi être évoquée (Johnson et Keltner, 1983). De manière générale, le déclin visuel pourrait donc amener à une plus grande probabilité de prise de décisions dangereuses lors de traversées.

Dans le cas d'une traversée avec feux de circulation, les explorations visuelles effectuées par les jeunes et les seniors ne diffèrent pas significativement (Dunbar et al., 2004). Que l'environnement soit réel ou simulé, le nombre total de mouvements de la tête semble équivalent chez les piétons jeunes et âgés (respectivement, Oxley et al., 1995 ; Dommes et al., 2014). Néanmoins, des effets de l'âge émergent. Contrairement aux jeunes qui considèrent les deux voies, Dommes et al (2014) constatent que les seniors explorent davantage (plus souvent et plus longtemps) la voie proximale que la voie distale ; cet effet soutient l'idée rapportée plus haut de décisions fondées sur la voie proximale et de la négligence de la voie distale. Tapiro et al. (2016) ont cherché à savoir où les piétons âgés posaient leurs regards avant d'initier une traversée. Par rapport aux jeunes, les seniors (65 ans ou plus) passent plus de temps focalisés sur la zone centrale de la rue, ce qui reflèterait davantage de concentration sur leur trajectoire de traversée que sur les voies de circulation. Un tel biais perdurerait une fois la traversée initiée : la peur de tomber (voir, Scheffer et al., 2008) et le besoin de garder l'équilibre (Woolacott & Tang, 1997) entraîneraient une focalisation plus grande de l'attention sur l'observation des pas (en regardant le sol) au détriment de l'observation du trafic (Avineri et al., 2012 ; Guo et al., 2011 ; Ren et al., 2011). Dans des cas d'intersections avec signalisation, Job et al. (1998) vont même jusqu'à mettre en évidence que des piétons seniors ne regardent pas du tout le trafic. Des explorations visuelles inadéquates ont également été partiellement observées pour des traversées d'intersections sans signalisation (Job et al., 1998).

Sur le trottoir, les piétons âgés s'arrêtent plus longtemps que les jeunes avant de traverser dans des rues à double sens (Oxley et al., 1997 ; Zhuang & Wu, 2011, 2012). Jang et al. (2016) illustrent également le fait que le temps d'attente des seniors augmente quand le temps séparant les véhicules à l'approche est plus long. Il a été constaté de façon répétée que l'occurrence de violations tel traverser au feu piéton rouge est plus fréquente quand les temps d'attente préalables sont plus longs mais cet effet, qui prévaut chez les jeunes surtout de sexe masculin, n'est pas observé chez les piétons de 60 ans ou plus (Brosseau et al., 2013). Ciblant plus spécifiquement le temps de prise de décision de traversée, Lobjois et Cavallo (2007) ont montré que, comparativement à des jeunes (20-30 ans), des seniors (60-80 ans) ont besoin de 230 ms en plus (sans contrainte de temps) et de 430 ms (avec contrainte de temps : traverser le plus rapidement possible), soit respectivement 26 % et 30 % de temps supplémentaires. Oxley et al (2005) aboutissent au même constat pour un groupe de seniors âgé de 75 ans par

rapport à deux groupes d'âges différents (30 - 45 ans et 60 - 69 ans) avec une prise de décision plus longue de 700 ms (soit 88 % de plus que les deux autres groupes). Cet effet s'expliquerait par des difficultés à traiter une quantité d'informations importantes simultanément, une difficulté à focaliser et à sélectionner les informations les plus pertinentes de l'environnement.

2.3. Conclusion

L'ensemble de ces études décrit chez les piétons seniors un comportement à risque mais résultant possiblement d'une hiérarchisation des priorités, parfois autant motivée par la peur de chuter que par la peur d'un accident. Il ressort que ces études ont principalement porté sur les processus décisionnels qu'ils soient stratégiques ou tactiques (sélection du lieu de traversée) ou opérationnels (décision d'initiation en fonction du trafic). Les processus les plus étudiés concernent les temporalités (« *mistiming* »; cf. Reason, 1990). Les aspects spatiaux pris en compte sont très globaux, situant le piéton dans un environnement routier au sens large (lieu de traversée). Une approche spatiale plus fine a concerné la perception des distances véhiculaires ; la question du positionnement du piéton par rapport au bord de rue n'a pas suffisamment retenu l'attention.

3. POSITIONNEMENT DES SENIORS EN BORD DE RUE AVANT UNE TRAVERSÉE

Ce chapitre présente le premier travail d'étude conduit dans le cadre de cette thèse.

Il s'est inscrit dans le prolongement de la thèse de Julie Delzenne (2013), évoquée ci-avant. Cette thèse a nécessité la création d'un simulateur de traversée de rue incluant différents matériels dont des plateformes de force. Afin d'insérer une plateforme dans le trottoir, il était nécessaire de savoir où se positionnent les piétons en attente de traversée et le constat d'une insuffisance de la littérature sur la question date de cette époque. Julie Delzenne a donc effectué une première collecte de données qui sera intégrée dans le présent chapitre, sachant qu'elle l'avait exploitée uniquement au regard de la distance au bord.

À ce jour, l'ensemble du travail sur ce thème a été valorisée dans une présentation de type poster (cf. Annexe 1) associée à une présentation orale :

Caffier D, Crémoux S, Barbier F, Dageons A & Naveteur J. Attente en bord de rue de piétons adultes avant une traversée : positionnement et ressenti en fonction de l'âge. Colloque COPIE (5^{ème} édition). Des piéton.nes et des villes : connaissances, enjeux, culture de la marche. Paris, 11-13 juillet 2016.

3.1. Introduction

À notre connaissance, une seule publication (Harrell, 1990) a concerné le positionnement d'attente sur le trottoir et, plus précisément, la position des pieds par rapport au bord. L'auteur a observé 696 piétons canadiens qui attendaient pour traverser une rue à quatre voies très fréquentée, au niveau d'un passage protégé avec feux de signalisation. Trois groupes d'âges ont été distingués : (a) les 30 ans et moins (groupe de jeunes), (b) les 31-50 ans (groupe d'âge intermédiaire) et (c) les 51 ans ou plus (groupe de seniors). Les piétons seniors se sont positionnés plus loin du bord de la route que les piétons jeunes et les piétons d'âge intermédiaire (respectivement, 52 ± 24 cm versus 48 ± 22 cm et 44 ± 20 cm, sans différence significative entre ces deux groupes). La position plus en arrière a été interprétée comme reflétant une plus grande prudence. Cet article de Harrell (1990) a retenu l'attention mais la plupart des citations ne portent que sur la conclusion et, pour autant que nous le sachions, les résultats n'ont pas été reproduits. Il y a cependant plusieurs raisons pour lesquelles la généralisabilité des résultats et les conclusions elles-mêmes devaient être renforcées, outre le contexte particulier du passage protégé. Premièrement, l'influence potentielle des autres piétons n'est pas contrôlée ; l'auteur a mentionné que les participants n'étaient inclus que s'ils se trouvaient dans la première rangée de piétons pendant le temps d'attente. On ne peut exclure que l'idée que les autres piétons à l'attente (en deuxième « rangée ») puissent biaiser les résultats en s'approchant des piétons plus jeunes qui les précèdent, les forçant ainsi à

s'approcher du bord, alors qu'ils hésiteraient à adopter un tel comportement si la personne devant eux est plus âgée. Deuxièmement, la précision des mesures était faible ; elles ont été effectuées en utilisant des morceaux de ruban adhésif collés sur le sol à intervalle de 1, 2 ou 3 pieds (soit environ 30,5, 61 et 91,5 cm), du trottoir. Troisièmement, il est mentionné dans l'article que les observateurs ont noté l'âge et le sexe des piétons, sans préciser si l'âge a été demandé ou juste estimé. La taille importante de l'échantillon (696 participants) pourrait néanmoins contrebalancer ces limites méthodologiques potentielles. Reste toutefois le fait que la conclusion selon laquelle les piétons les plus âgés étaient les plus prudents repose uniquement sur l'analyse de leur comportement ; aucune tentative n'a été faite pour lier directement cette prudence accrue à des facteurs sous-jacents. Enfin, la transférabilité de ce résultat à un milieu urbain avec une circulation moins dense et / ou à des rues plus étroites est discutable supposant que le sentiment de danger puisse y être différent.

La distance au bord du trottoir est le seul paramètre de positionnement des pieds retenu par Harrell (1990). D'autres mesures pourraient se révéler informatives. Dans une étude en laboratoire sur un sol plat (donc hors contexte de traversée de rue), McIlroy et Maki (1997) ont standardisé la position d'attente orthostatique de 262 participants âgés de 19 ans 97 ans. L'objectif de cette étude était de normaliser cette position dans un large panel d'âges dans le but de proposer une position standardisée des pieds (écart médio-latéral des talons, orientations des pieds) pour l'analyse de la posture orthostatique (Figure 4). Les résultats révèlent une variabilité de la position et des différences liées à l'avancée en âge. De plus, Maki et al (1991) montrent que certaines personnes âgées qui ont peur de chuter écartent davantage les pieds ; l'augmentation de la base de support qui en résulte limiterait les déplacements médio-latéraux du centre de pression (Kirby et al, 1987).

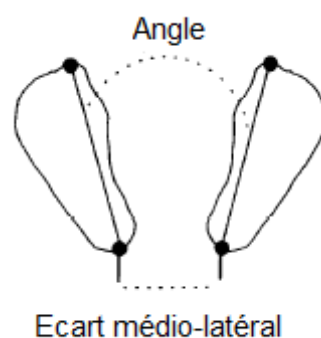


FIGURE 4 : PARAMÈTRES MESURÉS DANS L'ÉTUDE DE MCILROY ET MAKI (1997)
L'écart médio-latéral est pris entre les deux milieux de talons. L'angle est pris globalement entre les deux pieds.

Une approche comparative au bord de la route devrait être effectuée pour ces paramètres, sachant qu'ils pourraient être modifiés par les émotions possiblement provoquées en de telles circonstances. En effet, l'excitation émotionnelle est connue pour augmenter la fréquence de déplacement du centre de pression (Horslen & Carpenter, 2011), ce qui suggère une raideur posturale accrue (Azevedo et al., 2005). En retour, puisque la difficulté des personnes âgées à maintenir leur équilibre augmente lorsque leur base de support est réduite (Amiridis et al., 2003), on peut supposer que ceux qui écartent davantage les jambes en bord de rue peuvent se sentir plus en sécurité.

Sur le trottoir, les angles des pieds par rapport au droit-devant peuvent être influencés par l'exploration de la rue avant la traversée. Cette exploration est principalement réalisée en utilisant une combinaison de rotations du cou et du tronc, rotations qui sont limitées par le vieillissement (cf. Chapitre 5). Pour réduire ces rotations lors de la vérification de la circulation, les piétons plus âgés peuvent essayer d'ajuster leur position. Difficile toutefois d'optimiser simultanément l'exploration des voies proximale et distale. Les personnes âgées pourraient alors tourner les pieds vers la voie proximale (vers la voie de gauche), privilégiant ainsi l'exploration de la voie la plus proche (Dommes et al, 2014). Une telle hypothèse n'a pas encore été testée. Une préoccupation subsidiaire à cet égard est l'influence possible de la direction initiale de la marche le long de la route sur les positions de pied durant la phase d'attente avant la traversée (différence entre une arrivée avec la voie proximale dans le dos ou face au piéton). Observer une orientation des pieds vers la gauche, quand les piétons marchent dans la direction opposée des véhicules, renforcerait l'idée d'une intentionnalité dans la stratégie d'exploration.

Le sentiment de danger peut être considéré comme le principal facteur sous-jacent qui motive la prudence (Lazarus, 1991). Ce sentiment peut réguler la distance entre l'individu et l'emplacement de la menace réelle ou potentielle ; dans la situation de traversée, il s'agirait de la voie de circulation. Une stratégie d'adaptation consciente peut être mise en œuvre, mais la perception de la menace peut également activer un système de retrait plus automatique (Davidson, 1992). Cette idée est soutenue par des études de laboratoire portant sur l'influence des images émotionnelles sur les caractéristiques de la marche (Fawver et al., 2015 ; Naugle et al., 2010 ; Caffier et al., 2017 ; cf. Chapitre 6). Le sentiment de danger peut également influencer la perception de la distance, fortement malléable. Par exemple, Cole et al. (2013) ont signalé que des stimulus menaçants étaient perçus comme physiquement plus proches que les stimulus neutres. Cette proximité perçue pourrait augmenter de façon adaptative la propension à agir avec une plus grande marge de sécurité (pour une revue de la direction motivationnelle, cf. Balci et al., 2016).

En ce qui concerne à la fois la base de support et les positions des pieds par rapport au bord du trottoir, nous supposons que l'influence de la hauteur du trottoir, en elle-même, serait plutôt faible, du moins pour les personnes âgées sans troubles moteurs. D'une part, aucun effet lié à l'âge n'a été signalé pour 17 cm de hauteur dans une étude de laboratoire (Brown et al., 2006), et rien ne suggère que les personnes âgées fassent appel à davantage de ressources dans une telle situation (Brown et al., 2002). Toujours en laboratoire, Lythgo et al. (2007) n'ont pas observé de différence significative de l'âge sur la distance entre le pied le plus proche du bord et le bord avant que les participants aient à négocier un obstacle de 15 cm sans interrompre leur avancée. Étonnamment, cette absence d'effet sur la distance est survenue alors que les participants plus âgés ont adopté une stratégie opérationnelle (diminution de la longueur de pas) avant le changement de niveau et pendant sa négociation (voir aussi Chen et al., 1994). Cependant, ces données n'excluent pas un lien possible entre la réduction de la longueur du pas liée à l'âge (Winter et al., 1990 ; Schrager et al., 2008) et le positionnement des pieds quand les participants doivent arrêter leur marche avant un changement de hauteur, comme par exemple un bord de trottoir.

Même si les urbanistes mettent en place de plus en plus de trottoir abaissés, ces trottoirs ne sont pas forcément utilisés lors des traversées de rue (Bernhoft & Carstensen, 2008 ; cf. Chapitre 2). L'initiation de la traversée est rendue plus complexe par la négociation d'obstacles liée aux caniveaux et aux changements de niveau ou de surface. Par conséquent, la façon dont les piétons plus âgés se positionnent sur le trottoir avant l'initiation de la traversée mérite une plus grande attention, soit en tant que conséquence du déclin moteur lié à l'âge, soit en tant que source de danger potentiel. Conduite en rues réelles, l'étude décrite ci-dessous se situe dans cette perspective en collectant des mesures de positionnement des pieds avant une traversée. Les principales hypothèses sont que (1) le vieillissement peut influencer sur la distance entre le piéton et le bord trottoir, qui peut être influencé par le danger subjectif, (2) les adultes plus âgés orientent leurs pieds vers le côté gauche et (3) les seniors adoptent une base de soutien plus large, ce qui contribue à réduire leur danger perçu.

3.2. Méthode

3.2.1. Participants

Cette étude inclut 54 piétons seniors (19 hommes et 35 femmes) âgés de $69,9 \pm 7,1$ ans. Ces participants n'ont pas de problèmes évidents dans leur marche et se déplacent tous sans aide matérielle ou humaine. Ils sont répartis en 3 collectes (C1, C2 et C3). Les participants de C1 (thèse de Julie Delzenne, 2013) ont été abordés et recrutés dans la rue, alors que ceux de C2 et C3 ont été recrutés dans deux clubs d'âinés. Dans la dernière collecte, un groupe témoin de 20 participants sains plus jeunes est également inclus (GJ : Groupe des Jeunes ; GS : Groupe des

Seniors). Parmi ces participants jeunes, 12 ont été recrutés au préalable dans une population étudiante, alors que les autres ont été abordés dans la rue. Aucun participant ne porte de chaussures à talons hauts. Chaque participant est en mesure de comprendre les consignes.

3.2.2. Matériel

Pour C1 et C2, les mesures de distance sont effectuées à l'aide d'un mètre semi-flexible, auquel s'ajoute une équerre si besoin et, quand le positionnement s'y prête, avec un mètre laser utilisé pour les mesures morphométriques (en C2 uniquement). Les angles sont mesurés à l'aide un goniomètre. Pour C3, au cours de laquelle deux positionnements sont quantifiés par participant, un outil conçu au laboratoire (Figure 9) est utilisé pour effectuer les mesures de face plus rapidement ; il permet ainsi aux participants de rester le moins longtemps possible sur le bord du trottoir. L'outil est composé de deux tiges évidées et plates, fixées avec un écrou à ailettes sur une structure métallique carrée de 80 cm de long dans laquelle sont insérées deux vis. Les vis peuvent glisser le long de la structure. La structure est placée au bord du trottoir, et chaque tige plate est ajustée de manière à ce que l'une de ses extrémités touche la pointe du pied, et elle est orientée comme une extension du pied. Le serrage de l'écrou à ailettes permet de réaliser a posteriori (sans que le participant ne soit en place) les mesures sur l'outil. Pour C3, une chaise pliante permet aux participants de s'asseoir si besoin. De toute évidence, il n'est pas possible d'atteindre une qualité optimale dans des mesures prises dans la rue, néanmoins un test en laboratoire a été réalisé afin d'évaluer cette qualité et les résultats sont considérés comme satisfaisants⁶.

3.2.3. Caractéristiques des rues dans lesquelles se sont déroulées les collectes

Les trois collectes sont réalisées dans trois villes différentes, dans des rues à double sens. Les emplacements exacts sont caractérisés par des trottoirs surélevés sans aucun passage zébré. Pour chaque rue utilisée, la limitation de vitesse est de 30 km/h. C1, réalisée à Valenciennes, utilise différents emplacements situés non loin de la place Poterne avec une hauteur de trottoir comprise entre 8 et 15 cm. La densité du trafic et le flux des piétons ne sont pas mesurés, mais

6 Pour cela, six positionnements de pieds ont été mesurés (soit 12 essais) avec un système de capture de mouvement (Vicon Nexus; Oxford Metric Group; UK).

En ce qui concerne l'écart médio-latéral (distance entre les talons), l'ANOVA ne révèle aucune différence significative entre le mètre ruban et le Vicon [$t(22) = 0,09$, $p = 0,931$, d de cohen = $0,04$].

En ce qui concerne les angles, l'ANOVA ne révèle aucune différence significative entre le goniomètre, l'outil de laboratoire et le Vicon [$F(2, 22) = 1,50$, $p = 0,245$, $\eta^2p = 0,12$].

Concernant la distance au bord du trottoir (supérieure à 5 cm), l'ANOVA révèle une différence significative entre le mètre ruban, le mètre laser, l'outil de laboratoire et le Vicon [$F(3, 33) = 8,11$, $p < 0,001$, $\eta^2p = 0,42$]. Le post-hoc met en évidence une différence entre la prise de mesure avec l'outil de laboratoire et les autres méthodes [tous les $p < 0,01$], qui ne diffèrent pas entre elles [tous les $p > 0,13$]. Toutefois, l'erreur de l'outil est de 4,7 % de la distance au bord, soit 4,5 mm en moyenne (écart-type = 3,8 mm). Une telle erreur est apparue acceptable en bord de rue pour des mesures prises à la main, et n'induit pas d'erreur de type I en ce qui concerne les résultats rapportés.

ils sont sans aucun doute plus importants dans cette collecte que dans les deux autres. Le style architectural de ces différentes rues ressemble beaucoup à celui des rues utilisées dans C2 et C3 (Figure 5). Pour C2, réalisée à Wambrechies, la largeur de la rue est d'environ 6 m, le trottoir est recouvert de pavés et sa hauteur est d'environ 10 cm. Pour C3, réalisée à Hellemmes, la largeur de la rue est d'environ 7 m, il y a une place de parking d'environ 2,5 m du côté opposé ; la hauteur du trottoir d'asphalte est de 14 cm.

3.2.4. Procédure générale

Les trois collectes présentent des caractéristiques communes (Figure 5). Les expérimentations sont réalisées par beau temps (ni trop froid ni trop chaud). Elles sont conçues pour être aussi courtes que possible et de manière à minimiser la fatigue des participants. Avant de prendre part à l'expérience, les participants donnent leur consentement de participation. La tâche est simple : les participants sont invités à faire quelques pas sur le trottoir et à s'arrêter comme ils le font naturellement avant de traverser la route. Ensuite, les participants doivent maintenir leurs positions de pied aussi longtemps que nécessaire pour permettre à (aux) l'expérimentatrice(s) d'effectuer les mesures. Pour des raisons de sécurité, les participants sont invités à ne pas quitter le trottoir. Ils n'ont jamais observé un autre participant effectuant l'expérience, et aucun d'entre eux n'est accompagné d'un proche au moment de l'expérience.

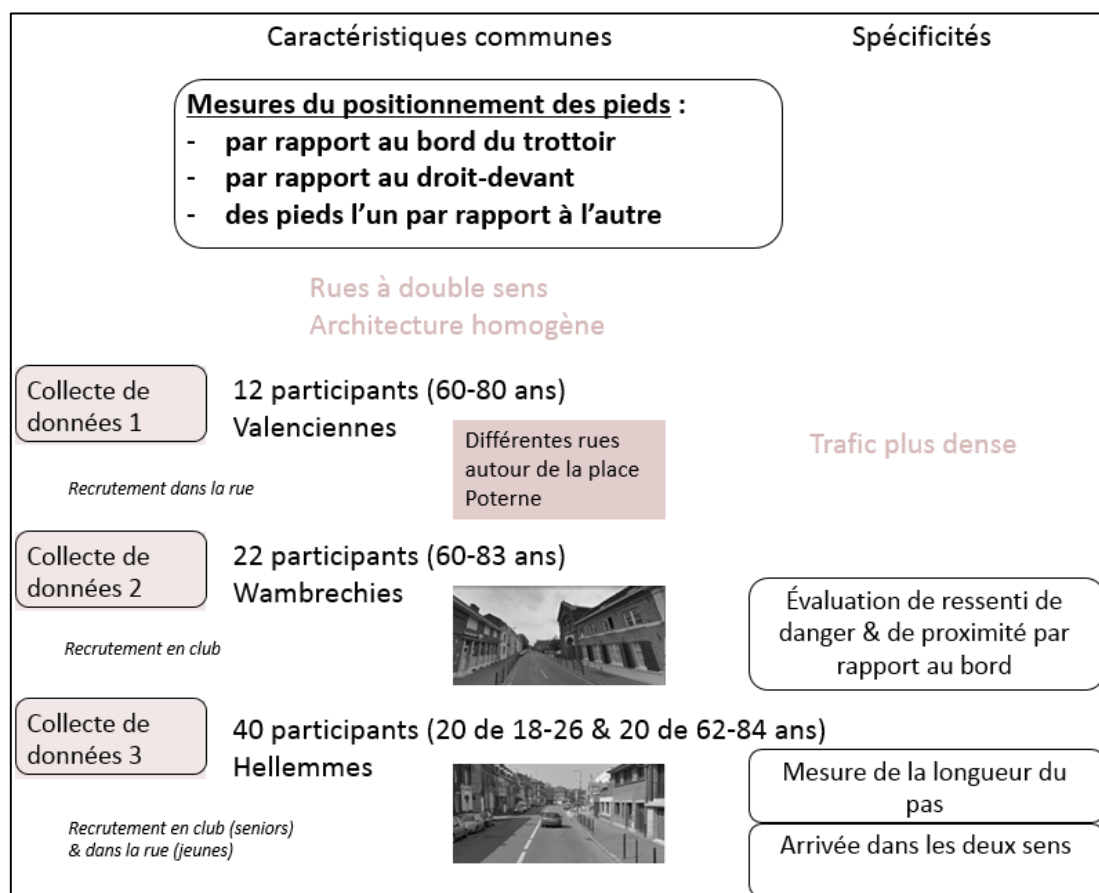


FIGURE 5 : CARACTÉRISTIQUES COMMUNES ET SPÉCIFICITÉS PROCÉDURALES DE CHAQUE COLLECTE
Les mesures prises du positionnement des pieds en bord de rue restent identiques entre les trois collectes de données.

3.2.5. Spécificités procédurales

3.2.5.1. Collecte C1 uniquement

Julie Delzenne (2013) a été la seule expérimentatrice. Le temps de passation est d'environ 3 minutes par participant.

3.2.5.2. Collectes C2 et C3

Avant le jour de l'expérimentation, les participants seniors sont informés par le personnel de leur club d'aînés de la possibilité de participer à l'expérience. La section de rue dans laquelle est réalisée le recueil de données est proche des clubs. Deux expérimentatrices sont impliquées. L'une des expérimentatrices amène les participants de leur club à la zone expérimentale. Une fois la passation terminée, elle les raccompagne ; à cette occasion, elle les encourage à ne pas parler de l'expérience avec les autres membres du club jusqu'à ce que tous les volontaires soient passés.

Avant le positionnement en bord de rue, les hauteurs des yeux et des hanches sont mesurées au moyen du mètre laser. Le pied dominant est évalué en demandant aux participants de donner un coup de pied dans une balle imaginaire (3 essais durant lequel le mouvement doit toujours être effectué avec le pied droit). Une fois que les participants se sont placés sur le bord du trottoir, une expérimentatrice prend les mesures du positionnement des pieds (C2) ou ajuste l'appareil de mesure (C3). Pendant ce temps, l'autre expérimentatrice prend l'écart médio-latéral des talons et demande ensuite aux participants de fournir une série d'informations comprenant leur date de naissance, une estimation de la durée de leur marche quotidienne hors du domicile quand le temps permet de sortir, et le plaisir et les difficultés qu'ils éprouvent pendant leur marche (cf. Annexe 2). Les participants seniors évaluent également l'importance de marcher pour leur autonomie.

3.2.5.3. Collecte C2 uniquement

Pendant que les participants se tiennent immobile sur le bord du trottoir, il leur est demandé d'évaluer leur proximité par rapport au bord du trottoir [« Par rapport au bord du trottoir, vous diriez que vous êtes ... »] en choisissant l'une des options suivantes : "très loin", "loin", "ni loin ni près", "proche" ou "très proche". Ils évaluent ensuite le danger qu'ils perçoivent [« Maintenant, évaluez le danger que vous encourez en étant comme ça sur le bord de la route »] en fournissant une note de 0 « aucun risque » à 10 « grand danger ». Ces questions

sont posées avant la série de questions déjà évoquées plus haut (cf. Annexe 3). La durée totale d'une passation sur le lieu de recueil est d'environ 6 minutes en C2.

3.2.5.4. Collecte C3 uniquement

Deux essais de positionnement sur le trottoir sont réalisés dans cette collecte, contre un seul en C1 et C2. Ces deux essais diffèrent par la direction de la marche initiale le long de la route avant d'atteindre la zone de traversée. En venant de la droite, les participants voient la voie proximale pendant leur marche. La moitié des participants dans les deux groupes d'âge commencent en venant de la droite et l'autre moitié en venant de la gauche. Comme indiqué ci-avant, les participants ont la possibilité de s'asseoir sur une chaise pliante entre les deux essais (cette option n'a été utilisée que par 3 participants).

En fin de passation, la longueur de pas est mesurée. Les participants ont pour consigne de se tenir debout sur le trottoir, perpendiculairement au bord et assez éloigné de celui-ci. Les expérimentatrices mettent un marqueur visuel derrière les deux talons du participant. La consigne qui leur est donnée est de réaliser une courte marche vers l'avant (Figure 6). Les deux expérimentatrices, accroupies de chaque côté du participant, regardent attentivement l'endroit de la pose du talon de leur côté et placent un marqueur à cet endroit (pose de chaque talon)⁷. Ensuite, les mesures entre les marqueurs successifs sont effectuées à l'aide d'un ruban semi-flexible. Les participants réalisent trois fois cette tâche, et les mesures sont moyennées. La durée totale d'une passation sur le lieu de recueil est d'environ 10 minutes en C3.

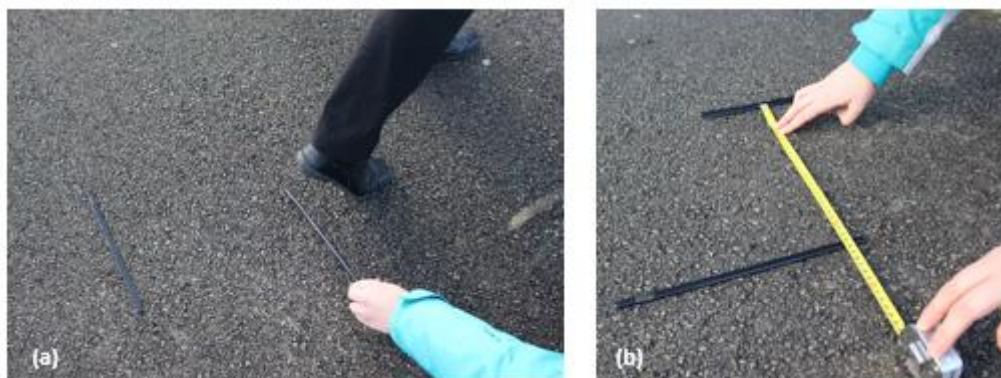


FIGURE 6 : MESURE DE LA LONGUEUR DU PAS

Le participant se déplace vers l'avant et un repère visuel est déposé chaque pose de talon (a), la longueur de pas est mesurée comme étant la distance perpendiculaire entre deux repères (b).

⁷ La tâche s'est révélée facile grâce aux granularités de l'asphalte du trottoir offrant de nombreux repères visuels.

3.2.6. Paramètres mesurés du positionnement des pieds

La prise de mesure inclut deux paramètres médio-latéraux et un paramètre antéropostérieur (Figure 7).

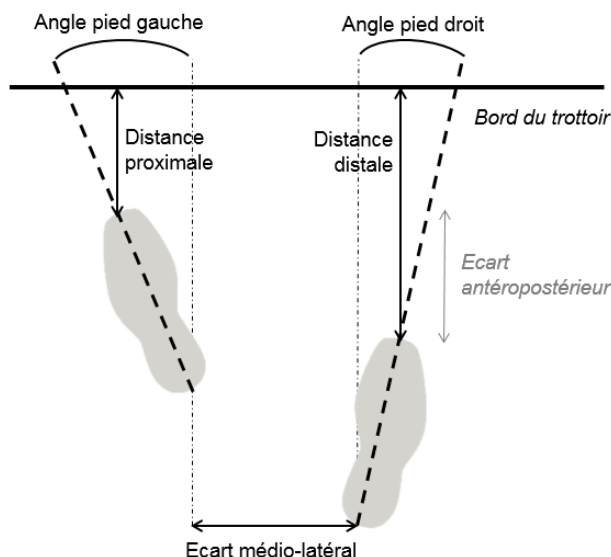


FIGURE 7 : PARAMÈTRES DE POSITIONNEMENT DES PIEDS EN BORD DE RUE

L'**écart médio-latéral (ML)** correspond à la distance qui sépare les deux talons. Cette distance ne tient pas compte du décalage antéropostérieur possible. Ces distances sont mesurées à 0,5 cm près. La Figure 8 illustre la prise de mesure de ce paramètre.



FIGURE 8 : MESURE DE L'ÉCART MÉDIO-LATÉRAL ENTRE LES TALONS

L'**angle entre le pied et l'axe longitudinal** a été mesuré en degrés, avec 0 correspondant à une position en ligne droite⁸. Une valeur positive a été donnée au pied pointé vers l'extérieur, soit vers la gauche pour le pied gauche et vers la droite pour le pied droit. Les angles sont mesurés à 1 ° près. Les Figures 9 et 10 illustrent la prise de mesure de ce paramètre selon la collecte.

⁸ La longueur du pas (en tant que mesure de distance) est considérée comme l'hypoténuse d'un triangle rectangle où l'autre grand côté est l'axe perpendiculaire au bord du trottoir.

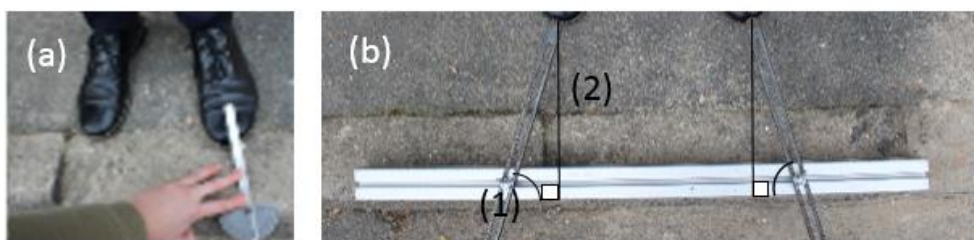


FIGURE 9 : PRISE DE MESURE DE L'ANGLE AVEC LE GONIOMETRE (a) ET DE L'ANGLE ET DE LA DISTANCE POUR L'OUTIL DE LABORATOIRE (b)

(1) angle pris à l'aide d'un rapporteur et (2) distance au bord pris à l'aide d'un mètre ruban

Concernant **la position des pieds par rapport au bord du trottoir**, la distance la plus courte correspondant au pied le plus proche du bord du trottoir est appelée distance proximale. La distance la plus longue correspondant au pied le plus loin du bord est appelée distance distale. Si un participant est à égale distance pour les deux pieds, la même valeur est assignée pour ces deux distances. La Figure 9b et 10 illustre la prise de mesure de ce paramètre.



FIGURE 10 : MESURE DE LA DISTANCE PAR RAPPORT AU BORD DU TROTTOIR

(a) distance au bord prise au mètre, (b) au mètre ruban et (c) au mètre ruban dans le cas d'un dépassement de la chaussure par rapport au bord du trottoir

3.2.7. Analyses statistiques

Les données suivent une loi normale sauf pour l'écart antéropostérieur et pour l'auto-évaluation de la proximité par rapport au bord du trottoir (réponses verbales transformées en échelle de cinq points) dans C2. Le test de Levene indique une non-homogénéité significative de la variance pour la distance par rapport au bord du trottoir dans les trois collectes.

Considérant conjointement l'ensemble des seniors recrutés, des comparaisons paramétriques entre les trois collectes ont été effectuées en utilisant soit une ANOVA à un facteur avec COLLECTE (C1, C2, C3) comme facteur inter-sujets, soit une ANOVA avec COLLECTE comme facteur inter-sujet et PIED (droit, gauche) comme facteur intra-sujet. Dans C3, les données de position du pied sont alors les valeurs moyennes des deux conditions différant selon le sens d'arrivée. La taille de l'effet est exprimée en η^2 partiel. Le test de Différence Significative Minimale (LSD) de Fisher est utilisé pour des analyses post hoc.

L'exploitation optimale des données de C3 se fait avec une ANOVA incluant le GROUPE D'ÂGE (groupe senior : GS, groupe jeune : GJ) comme facteur inter-sujet et PIED (gauche, droit) et SENS D'ARRIVÉE (de la droite, de la gauche) comme facteurs intra-sujets. Le t de Student a été utilisé pour tester l'effet de l'âge en C3 sur les autres variables ainsi que pour comparer les données de positionnement avec celles des expériences antérieures citées précédemment (Harrell, 1990, McIlroy et Maki, 1997). Le d de Cohen sera également présent dans les comparaisons. Les corrélations de Pearson (r) ou les corrélations de Spearman (ρ) sont utilisées pour tester les relations entre les variables selon la distribution des données. La différence entre deux proportions a été testée au moyen d'un score Z .

3.3. Résultats

3.3.1. Caractéristiques des participantes

Le Tableau 1 résume les principales caractéristiques pertinentes des trois groupes. Une ANOVA à un facteur révèle une tendance à l'augmentation de l'âge des participants entre les trois collectes [$F(2, 51) = 3,04, p = 0,057, \eta^2p = 0,11$].

Entre C2 et C3, il n'y a pas de différence significative dans les mesures morphométriques des participants (Tableau 1). Dans C3, la hauteur moyenne des yeux et celle des hanches entre les participants jeunes et seniors ne diffèrent pas significativement.

TABLEAU 1. CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DES PARTICIPANTS INCLUS DANS LES TROIS COLLECTES

Variables	C1 (N = 12)	C2 (N = 22)	C3 (GS) (N = 20)	C3 (GJ) (N = 20)
Age (ans)	66,5 ± 6,4 60 – 80	69,5 ± 7,1 60 – 83	72,5 ± 6,7 62 – 84	22,2 ± 2,3 18 – 26
Genre (F/H))	8 F/4 H	13 F/9 H	14 F/6 H	14 F/6
Hauteur des yeux (m)	Non mesurée	1,53 ± 0,08	1,53 ± 0,07	1,53 ± 0,07
Hauteur des hanches (m)	Non mesurée	0,99 ± 0,07	0,97 ± 0,08	1,01 ± 0,06
Pied dominant	Non demandé	16 D / 2 G / 4 N	15 D / 5 G	15 D / 5 G
Plaisir lors des déplacements (note/5)	Non demandé	3,4 ± 0,8	3,1 ± 1,1	3,8 ± 0,8

Note : C1 (collecte 1), C2 (collecte 2) et C3 (collecte). Pour le pied dominant : D (droit), N (non défini car pas de dominance claire entre le pied gauche et le pied droit), G (gauche). Le plaisir lors des déplacements a été mesuré à l'aide d'une échelle ordinale à 5 points allant de 1 « pas du tout de plaisir » à 10 « énormément de plaisir ».

La plupart des participants sont plutôt positifs au sujet de la marche : ils ont généralement plaisir à marcher (Tableau 1) et ils considèrent que la marche est importante pour leur autonomie. Ils nient toute difficulté à marcher et à descendre des trottoirs. Ils ne signalent pas de difficultés auditives (pour certains grâce à une prothèse auditive) ou visuelles (pour certains, grâce à des lunettes ou lentilles correctrices). Leur marche quotidienne dure moins de 10 min pour 4,8 % des participants, entre 10 et 30 minutes pour 45,2 % des participants, de 30 min à une heure pour 28,6 % des participants et plus d'une heure pour 21,4 % des participants. Sur la base d'une distinction entre ceux qui marchent 30 minutes ou moins et ceux qui marchent plus de 30 minutes, les deux groupes d'âge ne diffèrent [$X^2(1) = 0,4$, $p = 0,47$].

3.3.2. Écart médio-latéral entre les deux talons

En moyenne, l'écart entre les talons pour les participants seniors est de $15,8 \pm 4,1$ cm, sans effet significatif de la COLLECTE [$F(2, 51) = 0,080$, $p = 0,924$; $\eta^2_p = 0,003$]. La comparaison des données actuelles avec celles de McIlroy et Maki (1997), soit 16 ± 4 cm, est non significative [$t(223) = 0,32$, $p = 0,748$, d de Cohen = 0,05]. L'ANOVA dans C3 ne montre pas d'effet significatif sur l'ensemble des données recueillies [GROUPE D'ÂGE : $F(1, 38) = 0,04$, $p = 0,84$,

$\eta^2_p = 0,001$]. C2 révèle une corrélation significative entre l'écart médio-latéral et le score de risque subjectif [$r(20) = -0,54$, $p = 0,009$; score moyen de danger : $4,2 \pm 2,3 / 10$, empan des données : $0 - 8 / 10$] : ceux qui se tiennent avec leurs jambes plus écartées sont ceux qui rapportent un risque subjectif moins élevé.

3.3.3. Angle des pieds par rapport au droit-devant

L'analyse effectuée sur l'ensemble de la population des seniors révèle un effet principal du PIED [$F(1, 51) = 31,288$, $p < 0,001$, $\eta^2_p = 0,38$], indiquant que l'angle du pied gauche ($13,4 \pm 12^\circ$) est plus grand que l'angle du pied droit ($6,7 \pm 9^\circ$). La Figure 11 illustre également l'interaction significative PIED x COLLECTE [$F(2, 51) = 9,051$, $p < 0,001$, $\eta^2_p = 0,26$]. La différence d'angle entre le pied gauche et le pied droit est significative dans C1 ($p < 0,001$) et C3 ($p = 0,006$) et l'angle du pied gauche est plus petit dans C3 que dans C1 ($p = 0,039$). Aucune asymétrie n'est constatée dans C2 ($p = 0,636$). La Figure 12 représente une schématisation des données individuelles de C1, où l'asymétrie est maximale. McIlroy et Maki (1997) ont rapporté l'angle complet entre les deux pieds ($16,6 \pm 11,3^\circ$ pour les participants plus âgés), et la comparaison avec les données de nos seniors est significative pour C2 uniquement avec un angle total plus grand [$22,9 \pm 16,0^\circ$, $t(201) = 2,35$, $p = 0,020$, d de Cohen = $0,45$; comparaison avec C1 : $21,9 \pm 10,1^\circ$, $t(191) = 1,58$, $p = 0,115$, d de Cohen = $0,49$; comparaison avec C3 : $19,7 \pm 13,0^\circ$, $t(199) = 1,15$, $p = 0,253$, d de Cohen = $0,25$].

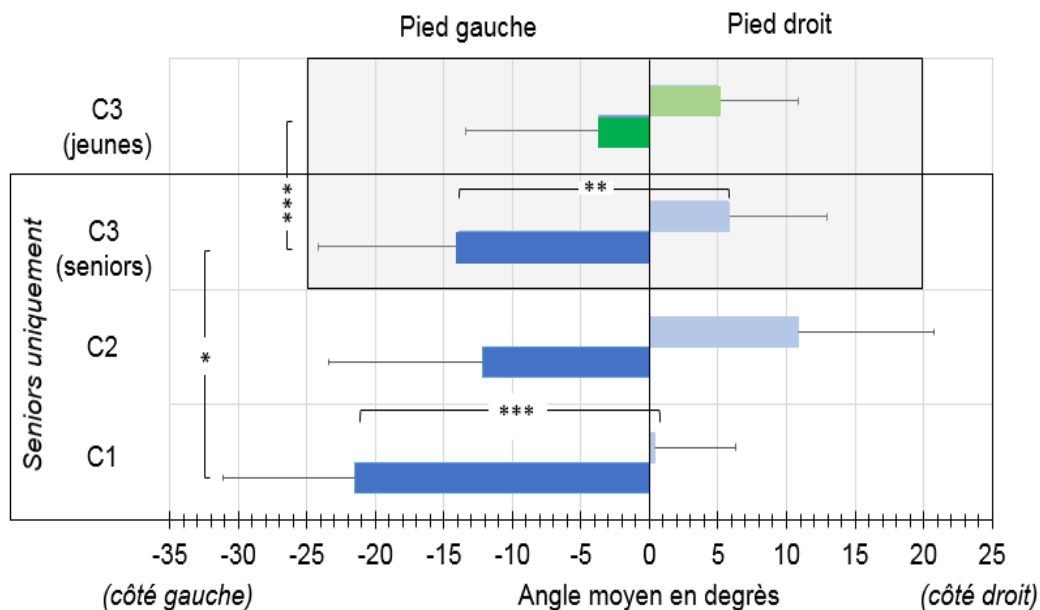


FIGURE 11 : ANGLES DES PIEDS PAR RAPPORT AU DROIT-DEVANT DANS LES TROIS COLLECTES

Note : l'écart médio-latéral au niveau des talons n'est pas représenté.

* : $p < 0.05$; ** : $p < 0.01$ et *** : $p < 0.001$

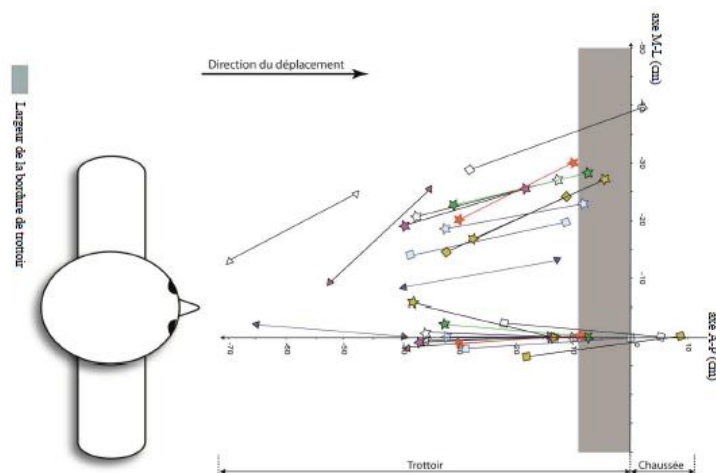


FIGURE 12 : SCHÉMATISATION DE LA POSITION DES PIEDS DE LA COLLECTE C1 (EXTRAITE DE LA THÈSE DE DELZENNE, 2013)

L'ANOVA réalisée sur l'ensemble des données recueillies dans C3 révèle un effet significatif du PIED [$F(1, 38) = 4,154$, $p = 0,0485$, $\eta^2p = 0,099$], ce qui corrobore l'asymétrie décrite ci-dessus. Ni l'interaction PIED x SENS D'ARRIVÉE, ni l'interaction d'ordre supérieur avec le GROUPE D'ÂGE n'atteint le seuil de significativité [respectivement : $F(1, 38) = 0,014$, $p = 0,906$; $F(1, 38) = 1,580$, $p = 0,216$]. En revanche, il y a un effet principal du GROUPE D'ÂGE [$F(1, 38) = 6,870$, $p = 0,013$, $\eta^2p = 0,153$]. Comparés aux jeunes, les pieds des seniors sont plus ouverts vers l'extérieur, mais l'interaction significative entre le PIED et le GROUPE D'ÂGE [$F(1, 38) = 5,630$, $p = 0,023$, $\eta^2p = 0,129$] révèle que la différence entre les deux groupes est

significative pour le pied gauche uniquement ($p = 0,001$; GJ : $3,8 \pm 9,7$; GS : $13,9 \pm 10,3$). Au final, comme le montre la Figure 11 (zone grisée), l'angle du pied gauche est plus grand que celui du pied droit chez les seniors uniquement ($p = 0,003$; GJ : $5,0 \pm 5,9$; GS : $5,7 \pm 7,2$).

Dans C2, aucun lien significatif n'émerge entre l'orientation du pied et l'auto-évaluation du danger ou l'évaluation de la distance par rapport au bord du trottoir [respectivement $r(20) = 0,17$, $p = 0,45$ et $\rho(20) = 0,08$, $p = 0,72$]

3.3.4. Positions des pieds par rapport au bord du trottoir

L'analyse effectuée sur l'ensemble des participants seniors révèle un effet principal de la COLLECTE (Figure 13) sur la distance proximale [$F(1, 51) = 8,60$, $p < 0,001$, $\eta^2p = 0,25$] avec des valeurs plus faibles dans C1 ($6,2 \pm 7,4$ cm) que dans les deux autres collectes (C2 : $27,1 \pm 20,8$ cm, $p < 0,001$; C3 : $29,7 \pm 14,7$ cm, $p < 0,001$), qui ne diffèrent pas entre elles ($p = 0,70$). Le même pattern apparaît pour la distance distale mais ces résultats ne sont pas détaillés par souci de concision ; l'écart antéropostérieur médian est de 3,4 cm (valeurs comprises entre 0 et 36 cm ; dernier quartile ≥ 9 cm). La distance proximale moyenne rapportée par Harrell (1990) était de $52,1 \pm 24,8$ cm, ce qui est significativement plus grand que les distances que nous obtenons, même limitées à C2 et C3 [$28,32 \pm 17,9$ cm, $t(115) = 5,59$, $p < 0,001$, d de Cohen = 0,99].

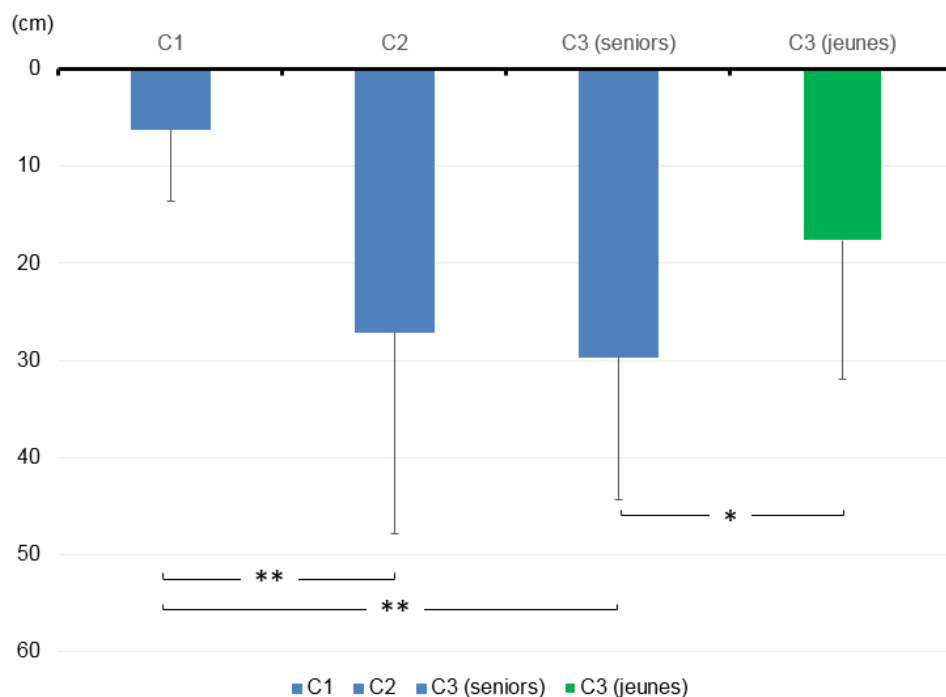


FIGURE 13 : DISTANCE PAR RAPPORT AU BORD DU TROTTOIR DANS LES TROIS COLLECTES

Note : * $> 0,05$; *** $> 0,001$

Le test de la dominance du pied effectué dans C2 et C3 montre que le pied le plus proche du trottoir est le pied non dominant pour 26 participants parmi les 38 qui présentent une latéralité nette du pied [C2 et C3 regroupées : 68,4 % $|Z| = 2,27 > 1,96$, $p = 0,023$; pied gauche le plus proche pour 20 d'entre eux]. Dans l'ensemble de la population des seniors, un placement du pied proximal dépassant le bord du trottoir est rarement observé (2 participants dans C1 et 1 dans C2) ; dans C3, cette position de pied n'est adoptée que par 4 des participants plus jeunes dans l'un de leurs deux essais.

L'analyse limitée à C3 révèle un effet significatif du GROUPE D'ÂGE [$t(38) = 2,63$, $p = 0,012$, d de Cohen = 0,83] : les participants seniors se positionnent plus loin de la route que les participants jeunes ($29,7 \pm 14,6$ cm versus $17,7 \pm 14,2$ cm). En revanche, dans les échantillons de seniors recrutés pour chacune des collectes, l'âge (sur un empan d'une vingtaine d'année) n'est jamais significativement lié à la distance par rapport au bord [C1 : $r(10) = -0,02$, $p = 0,95$; C2 : $r(20) = -0,01$, $p = 0,96$; C3 : $r(18) = 0,05$, $p = 0,83$].

C2 révèle une corrélation positive entre la distance proximale et l'auto-évaluation de la proximité par rapport au bord du trottoir [$\rho(20) = 0,57$, $p < 0,01$] : ceux qui sont les plus proches estiment qu'ils sont les plus proches. La distance proximale n'est pas significativement liée au risque subjectif [$r(20) = -0,28$; $p = 0,21$; score moyen de danger : $4,2 \pm 2,3 / 10$, empan des données : $0 - 8 / 10$], mais ce score de danger est négativement lié à l'évaluation de la proximité du bord [$\rho(20) = -0,45$, $p = 0,036$] : ceux qui se considèrent être plus en danger sont ceux qui estiment être plus près du bord. Dans C3, les participants seniors se disent plus loin du bord que les participants jeunes [respectivement : $2,6 / 5 \pm 0,6$ versus $2,1 / 5 \pm 0,9$, $t(38) = 2,08$, $p = 0,044$, d de Cohen = 0,654], ce qu'ils sont effectivement (cf. ci-avant).

Dans le groupe seniors recruté pour C3, la distance proximale est significativement liée à la longueur du pas ($r(18) = -0,55$, $p = 0,012$) : ceux qui se placent plus loin du bord sont ceux qui effectuent les plus petits pas (Figure 14). Puisque le pied plus en retrait peut être déplacé en premier lors de l'initiation de la marche (cf. positionnement du pied non dominant en avant décrit ci-dessus), il convient de mentionner ici que le lien avec la longueur du pas a également été observé pour la distance distale ($r(18) = -0,57$, $p = 0,009$). Dans le groupe des jeunes, les corrélations sont non significatives ($r(18) = -0,01$, $p = 0,967$). Le groupe des seniors présente un lien positif entre la longueur du pas et la taille des participants [hauteur de la hanche : $r(18) = 0,45$, $p = 0,046$; hauteur des yeux : $r(18) = 0,47$, $p = 0,037$], mais il est intéressant de souligner que la taille et la distance du bord ne sont pas significativement liées [hauteur de la hanche : $r(18) = 0,09$, $p = 0,71$; hauteur des yeux : $r(18) = -0,12$, $p = .61$]. La longueur moyenne des pas est de $54,1 \pm 9,6$ cm [empan des données : $35,8 - 73,0$ cm], et ce paramètre n'est pas significativement lié à l'âge des participants dans cette collecte [$r(18) = 0,05$, $p = 0,83$].

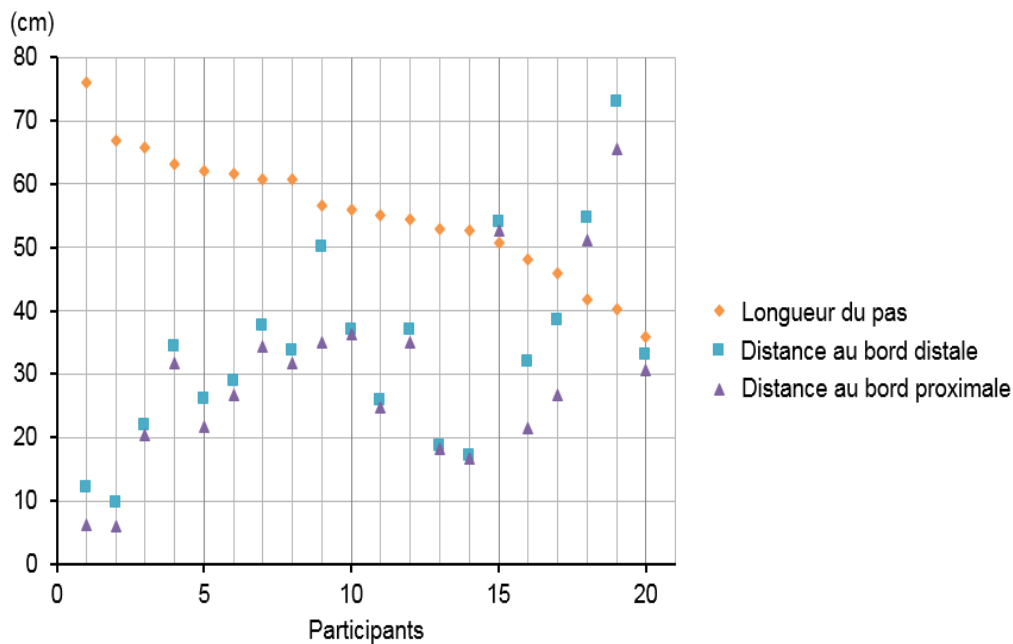


FIGURE 14 : LIEN ENTRE LA LONGUEUR DU PAS ET LA DISTANCE AU BORD DU TROTTOIR DANS LA COLLECTE 3

Les participants âgés sont ordonnés selon leur longueur de pas ; ceux qui effectuent les plus grands pas sont ceux qui se positionnent le plus près du bord du trottoir.

3.4. Discussion

L'objectif principal de cette recherche était de décrire comment les piétons d'une soixantaine d'années ou plus se positionnent sur le trottoir avant de traverser une rue. Les mesures du positionnement des pieds ont été effectuées dans trois contextes différents qui ont influencé les positionnements. Dans un centre-ville, ces piétons s'arrêtent plus près du bord du trottoir que dans les autres rues moins fréquentées et leur pied gauche est plus fortement ouvert vers l'extérieur que leur pied droit. Dans une rue moins fréquentée, il a été montré que les piétons seniors se tenaient plus loin de la bordure du trottoir que de jeunes adultes ; les seniors ont également pointé leur pied gauche vers l'extérieur, ce que n'ont pas fait les jeunes. Les résultats globaux ont conduit à la conclusion que l'angle du pied et la distance au bord du trottoir étaient soumis à l'influence du vieillissement de manière plutôt indépendante.

L'observation que les piétons plus âgés se positionnent plus en retrait que les jeunes est conforme aux résultats antérieurs de Harrell (1990), malgré des distances plus grandes dans cette étude que dans la nôtre. Une explication globale en termes de prudence des piétons plus âgés a été proposée par cet auteur, ce qui pourrait correspondre à une aversion au risque globalement accrue avec l'âge (Deakin et al., 2004). Cependant, des contre-arguments peuvent être notés. Premièrement, Rush et al. (2012) avec une procédure de commentaire de photo de la vie quotidienne (prises par les participants eux-mêmes), rapportent que leurs participants âgés ont estimé que le risque appelle parfois une prise de risque plutôt que l'évitement.

Deuxièmement, nos piétons plus âgés en centre-ville se sont placés plus près du bord que dans les rues moins fréquentées, remettant en question la comparaison avec Harrell (1990) en termes d'influence du trafic en bordure d'une quatre voies. Cette constatation paradoxale pourrait être liée soit à des piétons plus nombreux sur le trottoir, soit à la possibilité que, malgré le nombre plus important de véhicules traversant notre centre-ville, ils se déplacent à vitesse réduite par rapport aux deux autres zones. La théorie de l'homéostasie du risque (Wilde, 1982) pourrait également être pertinente. Si les piétons marchent souvent en centre-ville, ils sont régulièrement confrontés à un flux de circulation plus élevé (à noter aussi la présence d'une ligne de tram dans des rues adjacentes qui complexifient les traversées). Par conséquent, leur risque perçu lié au trafic serait réduit, et ils pourraient adopter une position considérée comme moins prudente mais qui correspond à leur niveau de risque cible.

Dans notre échantillon global, moins de 10% des participants ont placé la pointe de leur pied proximal dépassant du trottoir, alors qu'ils étaient 23 % dans l'étude de Lythgo et al. (2007) avec un franchissement en marche continue. Un tel placement amène un plus grand risque de tomber, en particulier pour les piétons plus âgés. Ne pas s'arrêter avant de traverser pourrait donc être une condition plus critique sur ce point, en plus d'une éventuelle réduction de la qualité de l'exploration visuelle préalable des voies de circulation. À l'inverse, ceux qui se tenaient plus loin étaient également possiblement en danger. Beaucoup d'entre eux étaient parmi ceux qui marchaient avec les plus petits pas (mais qui n'étaient pas nécessairement les plus petits participants). Ce résultat suggère deux commentaires. Tout d'abord, plusieurs participants auraient des difficultés à descendre le trottoir en effectuant un seul pas, ou du moins, ils le feraient avec un pas plus grand que leur pas habituel (pour la plupart d'entre eux, leur pied initialement déplacé n'était pas le dominant). Ainsi, leur risque de chute ou d'accident serait plus grand puisque leur descente sur le trottoir nécessiterait une plus grande quantité de ressources attentionnelles au détriment de la surveillance du trafic (Tapiro et al., 2016). Deuxièmement, étant donné que le vieillissement réduit la longueur du pas (ex. Winter et al., 1990, Schrager et al., 2008), ce paramètre pourrait être un indice de vieillissement fonctionnel plus puissant que l'âge réel pour prédire la position debout en bord de rue. Si cela est vrai, la conclusion de cet effet rejoint de nouveau la conclusion précitée de Harrell (1990). Cependant, en accord avec l'impact des émotions sur le comportement (Fawver et al., 2015, Naugle et al., 2010, Caffier et al., 2017) et nos données enregistrées en centre-ville, on ne peut exclure qu'une plus grande peur de la circulation soit un facteur causal initial qui a impacté le positionnement en dehors de toute stratégie consciente (Davidson, 1992). Le sentiment de danger réduit pourrait donc être un effet de second ordre, en partie renforcé par la constatation cognitive d'être loin du bord. Si cela est vrai, ce résultat ne renforce pas d'idée une plus grande prudence délibérée dans la population âgée en bonne santé.

L'angle entre le pied et l'axe longitudinal était plus petit chez les jeunes adultes que chez les participants plus âgés. Dans deux de nos collectes (C1 et C3), les angles entiers présentés par les seniors sur le bord du trottoir ne différaient pas significativement de ceux recueillis par McIlroy et Maki (1997) sur la surface plane d'un laboratoire chez des participants âgés de taille similaire. Dans l'autre collecte (C2), les angles que nous avons recueillis étaient comparativement plus larges, cependant, aucune asymétrie n'est apparue chez les seniors, comme c'était également le cas chez nos jeunes adultes (C3). Lorsqu'une asymétrie était observée chez les seniors, l'angle était significativement plus grand pour le pied gauche que pour le pied droit. L'explication probable de l'orientation du pied gauche était l'optimisation de l'exploration de la voie proximale, compte tenu d'une perte d'amplitude de mouvement de rotation du cou et du tronc (Doriot et Wang, 2006 ; cf. Chapitre 5). Le schéma asymétrique global peut être un compromis qui favorise l'exploration visuelle de la source immédiate de danger, sans trop nuire à l'exploration subséquente de la voie distale ou même de la descente du trottoir. Cette orientation asymétrique des pieds est survenue indépendamment de la façon dont les piétons plus âgés approchaient du bord du trottoir, ce qui suggère l'implication d'un ajustement comportemental intentionnel ou du moins un processus automatisé visant à réduire l'amplitude du mouvement du cou et du tronc.

McIlroy et Maki (1997) ont décrit une grande variabilité de la position préférée des pieds en laboratoire, et l'effet du vieillissement sur l'écart médio-latéral au niveau des talons était faible, ce que confirment nos données. Cependant, les seniors qui se tenaient avec leurs jambes plus écartées étaient ceux qui ont rapporté un risque subjectif moins élevé en bord de rue. Bien que la littérature biomécanique ait révélé une relation complexe entre l'équilibre et la base du support (Maki et al., 1994 ; King et al., 1994), l'avancée en âge diminue la base effective du support (King et al., 1994) qui correspond au rapport entre la surface décrite par le centre de pression et la surface de la base de support elle-même. Dans notre étude, la plus grande distance médio-latérale trouvée chez certains seniors a inévitablement augmenté leur base de support. Augmenter la base de support efficace serait donc une stratégie visant à pour finalement se sentir en sécurité (Maki et al., 2008). Il est toutefois difficilement concevable que les signaux corporels liés au balancement soient suffisants pour induire une sensation de danger (risque de chute), au moins dans la gamme que nous avons obtenue. De plus, la quantité de variance expliquée par ce lien est plutôt faible. L'explication la plus appropriée semble être que cette rétroaction corporelle s'intègre dans l'évaluation cognitive du risque lié au contexte de la rue et à l'action de franchissement subséquente à effectuer. Dans une telle condition, le jugement erroné affecte la façon dont les informations émotionnelles sont traitées. Même si seules des sensations corporelles subtiles sont en jeu, leur pertinence pour le traitement de la peur est soutenue au moins par deux séries de constatations : (1) l'apparition de mouvements corporels plus importants et plus rapides sous l'état modéré d'anxiété (Hainaut et al, 2011 ;

Bolmont et al., 2002 ; Ohno et al., 2004 ; Ishida et al., 2010), et (2) la peur accrue de tomber chez de nombreuses personnes âgées, dont certaines n'ont antérieurement jamais chuté (Legters, 2002).

3.4.1. Limites de l'étude

Certaines limites de l'approche doivent être soulignées. Premièrement, pour des raisons de sécurité, les participants n'ont pas été invités à traverser la route, et cette option a possiblement réduit à la fois la tendance à l'approche et la tendance au retrait. Deuxièmement, l'échantillon plus âgé n'a pas été testé pour un éventuel déclin cognitif. Ce dépistage aurait été impossible dans la collecte C1 et nous n'avons pas inclus de test dans les autres collectes pour ne pas décourager la participation (ce fut le cas lors d'une première tentative d'étude dans un autre club). Cette deuxième critique peut être en partie levée puisque le personnel des clubs a opéré une sélection avec la diplomatie, excluant les membres connus pour présenter un déclin cognitif ainsi que ceux dont les capacités motrices étaient insuffisantes. Troisièmement, les trois collectes comparées différaient par plusieurs composantes procédurales (le nombre d'expérimentatrices, l'âge des participants légèrement plus faible dans la première étude, la façon dont ils étaient inclus) ; la possibilité qu'elles expliquent certaines parties de la variance ne peut être complètement exclue même si leur influence sur les résultats est probablement faible. Quatrièmement, le trafic au moment où les participants ont effectué la tâche n'a pas été quantifié. Enfin, nous avons mesuré les positions initiales des pieds, mais rien ne garantit que des piétons l'auraient conservé spontanément pendant un temps d'attente plus long ; d'autres différences liées à l'âge pourraient survenir dans un tel cas.

3.4.2. Conclusion

La plupart des hypothèses formulées a priori ont été confirmées. En particulier, il a été montré que les piétons plus âgés différaient des adultes plus jeunes par la façon dont ils se positionnaient sur le trottoir avant de traverser. Cependant, les résultats suggèrent que les principaux paramètres, c'est-à-dire la distance au bord et les orientations des pieds, sont influencés à la fois par les facteurs internes et les caractéristiques environnementales. Des stratégies visant à compenser les déclinés liés à l'âge sont probablement mises en œuvre. En outre, l'approche psychologique met en évidence la pertinence des facteurs cognitifs et émotionnels, tels que le sentiment situationnel du danger associé à une augmentation plus généralisée de la prudence dans cette classe d'âge (Deakin et al., 2004). Même s'ils sont effectivement guidés par la prudence, certains placements observés pourraient toutefois entraîner des conséquences risquées, notamment en termes d'équilibre.

Par ailleurs, pour être efficace, une stratégie compensatoire doit être soutenue par une perception, voire une analyse, correcte de différentes composantes environnementales. Ainsi,

par exemple, les altérations de la vision peuvent fausser les évaluations des irrégularités du sol. Sugovic et Witt (2013) ont également montré que le déclin de la mobilité physique avec l'avancée en âge est une cause potentielle de distorsion dans la perception de certaines caractéristiques physiques de l'environnement, y compris des distances. Comparativement à des jeunes, les personnes âgées ont estimé que des cibles situées à des distances allant de 4 à 10 m étaient plus éloignées et les estimations fournies par les seniors étaient plus influencées par la marchabilité du sol. À notre connaissance, peu de données sont disponibles pour des distances plus courtes. Sakurai et al. (2016) ne rapportent pas de différences liées à l'âge dans un test de perception des hauteurs (cinq barres allant de 20 à 100 cm). Il n'est cependant pas exclu que des distorsions apparaissent dans des tâches plus en lien avec le mouvement, comme peut l'être l'estimation de la longueur de pas. Cette question est importante car, la distance par rapport au bord du trottoir, telle décrite dans le présent chapitre, est supposée en adéquation avec la longueur du pas des personnes lors de l'initiation de la marche. Qu'en est-il réellement ?

4. PERCEPTION DE LA LONGUEUR DU PAS CHEZ LA PERSONNE ÂGÉE

Ce chapitre présente la deuxième partie expérimentale de ce travail de thèse. Comme énoncé ci-avant, elle découle directement de la première phase de collecte de données. Le contexte appliqué est principalement celui rencontré par le piéton dans différentes situations tel le positionnement par rapport au bord du trottoir avant une traversée de rue, mais aussi toute situation dans laquelle une section de trottoir ou de rue doit être enjambée (trou dans l'asphalte, flaque d'eau...). Le piéton doit alors évaluer correctement sa longueur de pas pour ajuster efficacement son comportement.

Cette étude a été réalisée dans le laboratoire d'analyse du mouvement de l'hôpital de St-Amand-les-Eaux. La métacognition est abordée dans ce chapitre, avec une attention particulière sur les données corps entier et membres inférieurs.

À ce jour, cette partie est valorisée dans une présentation de type poster (cf. Annexe 4) qui a été récompensée par le prix Pierre Janet (jeune chercheur) de la Société Française de Psychologie (SFP) :

Caffier D, Luyat M, Crémoux S, Gillet C, Ghassan I, Barbier F & Naveteur J. Métacognition incarnée et risque de chutes chez les personnes âgées. Congrès annuel de la SFP (59^{ème} congrès). Psychologie, Santé et Société : de la théorie aux applications. Reims, 5-7 septembre 2018.

Un article a été soumis :

Caffier D, Luyat M, Crémoux S, Gillet C, Ghassan I, Barbier F & Naveteur J. (en soumission). Do older people accurately estimate the length of their first step during gait initiation? Experimental Aging Research

4.1. Introduction

La marche n'est plus considérée une tâche motrice simple et automatisée (Beauchet & Berrut, 2006 ; Hollman et al., 2011). Les fonctions cognitives sont impliquées dans sa régulation, y compris pour la marche de routine. La marche peut ainsi devenir une tâche cognitive complexe pour les seniors (Hausdorff et al., 2005). La métacognition qu'ont les personnes âgées de leurs propres caractéristiques de marche est donc une question centrale puisque des erreurs à ce niveau pourraient être une cause de chutes aux conséquences souvent particulièrement délétères chez les personnes âgées (cf. Chapitre 1). Cette étude porte sur l'estimation de la longueur de pas.

Même en l'absence de maladie spécifique, l'avancée en âge modifie la marche sur plusieurs aspects (Prince et al., 1997). Parmi eux, la longueur de pas usuel a été mesurée de façon répétée comme étant plus courte chez les seniors que chez les plus jeunes (pour une revue, voir

Aboutorabi et al., 2016). Elle l'est davantage chez les seniors chuteurs par rapport aux non chuteurs (Mbourou et al., 2003). Les chuteurs présentent également une variabilité plus grande de leur longueur de pas (Mbourou et al., 2003), alors que cette variabilité ne distingue pas clairement les seniors non chuteurs des jeunes (Gabell & Nayak, 1984 ; Grabiner et al., 2001 ; Mbourou et al., 2003 ; Helbostad et al., 2007). Par ailleurs, Medell et Alexander (2000) ont montré que la longueur maximale d'un pas (LMP ou fente avant maximale) diminue significativement avec l'avancée en âge chez les personnes âgées en bonne santé. La LMP est obtenue en demandant aux participants de réaliser un pas vers l'avant avec une jambe en gardant l'autre jambe dans sa position initiale. La LMP est positivement liée aux mesures d'équilibre clinique et négativement aux mesures du risque de chute (Cho et al., 2004 ; Lindemann et al., 2008; Fujimoto et al., 2015; Mendell & Alexander, 2000). Se demander si les personnes âgées estiment avec précision leur longueur de pas est conforme à l'idée qu'elles pourraient ne pas connaître ou pourraient sous-estimer les déclinés physiques induits chez elles par l'avancée en âge. D'un point de vue neurocognitif, il est généralement admis qu'avant d'effectuer une action, le cerveau simule les résultats et les conséquences possibles, sur la base de modèles d'actions internes (Jeannerod, 1994 ; Wolpert et al., 1995). Pour être efficaces chez les personnes âgées, les modèles d'action internes devraient tenir compte des diminutions des capacités physiques liées à l'avancée en âge. L'incapacité à mettre à jour les modèles d'actions internes pourrait expliquer la surestimation des performances motrices.

Des erreurs de jugement ont été constatées dans une série d'études (cf. Annexe 5) comparant la performance motrice estimée à la performance motrice effective (pour le chevauchement des réseaux neuronaux sous-jacents, voir Héту et al., 2016). Ce mémoire n'abordera pas les études limitées aux mouvements des membres supérieurs. Pour des mouvements du corps entier, une surestimation a été identifiée dans plusieurs tâches : estimation de la hauteur maximale pouvant être franchie (Noël et al., 2011; Lafargue et al., 2013, Sakurai et al., 2013; Sakurai et al., 2014; 2017a, 2017b), distance maximale atteignable avec la main sans perte d'équilibre (Lui-Ambrose et al., 2008; Okimoto et al., 2017; Robinovitch and Cronin, 1999), capacité à se placer sur un plan incliné (Lafargue et al., 2013). Une surestimation de la vitesse de marche a aussi été constatée, l'effet étant parfois limité aux seniors très âgés (Beauchet et al., 2010; Fujimoto et al., 2015; Naveteur et al., 2013; Sakamoto & Ohashi, 2016, 2017; Sakurai et al., 2016; Schott, 2012; Schott & Munzert, 2007; Zivotofsky et al., 2012). La surestimation est souvent décrite comme préoccupante chez les adultes plus âgés ayant des conditions physiques moins bonnes ou un mode de vie inactif (Sakurai et al., 2013 ; Sakurai et al., 2014). Un lien a aussi été suggéré entre l'erreur de jugement et la peur de tomber (Sakurai et al., 2016).

En ce qui concerne la précision dans l'estimation de la longueur de pas, deux expériences sont directement pertinentes. Klulft et al (2017) observent une surestimation fréquente dans leur condition expérimentale appelée « rivière », mais sans différence entre les participants jeunes

et les plus âgés. Dans cette condition, les participants devaient marcher le long d'un morceau de papier triangulaire de 12 m de long (supposé correspondre à la rivière) et le traverser là où ils pensaient pouvoir le faire en un seul pas sans marcher sur le papier. Les participants commençaient à l'extrémité la plus large et la largeur du papier à l'endroit où ils traversaient étaient supposée correspondre à leur longueur de pas perçue. La distance maximale réelle a été déterminée séparément en marchant à l'intérieur d'une cible rectangulaire ; la distance séparant les participants de la cible était augmentée jusqu'à ce qu'ils échouent deux fois à atteindre une même cible. L'absence d'effet de l'âge pourrait être liée à la taille insuffisante de l'échantillon (11 seniors et 5 jeunes) et on ne peut exclure que l'obligation de réaliser la tâche le plus rapidement possible ait influencé la décision de passage dans les deux groupes d'âge. Il faut également souligner que cette étude n'a pas réellement distingué, dans les mêmes conditions, une phase de mouvement imaginaire d'une phase d'action réelle (aucune information n'est d'ailleurs donnée sur le fait que les participants posaient ou non le pied sur le papier), comme cela a été fait dans l'autre expérience de ce type, réalisée par Fujimoto et al. (2015). Ces auteurs ont enregistré la LMP, dans deux grands échantillons d'adultes répartis selon l'occurrence ou non de chute(s) dans l'année, soit 33 chuteurs et 141 non-chuteurs. Les seniors qui avaient fait plusieurs chutes au cours de l'année sont caractérisés par des pas plus courts que les non chuteurs, et leur pas estimé était plus grand que leur pas réel. La surestimation de la LMP apparaît donc comme un prédicteur de chutes. Cependant, la question de l'exactitude de l'estimation de la longueur du pas avec l'âge avancé n'a pas été complètement résolue. Aucun groupe de contrôles jeunes n'a été inclus et une sous-estimation faible mais significative de la LMP était observée chez les non chuteurs.

Quelle que soit la procédure, la surestimation telle décrite ci-dessus est la conclusion la plus fréquente basée sur les échantillons entiers d'adultes âgés recrutés ou sur des sous-groupes, mais une sous-estimation a également été parfois observée comme déjà évoquée chez les non-chuteurs dans l'étude de Fujimoto et al. (2015). Ce fut également le cas à la fois pour la capacité de marcher et les estimations de temps de marche testées sur une petite largeur de chemin (Kluft et al., 2017; Personnier et al., 2011) et dans d'autres tâches telles que l'enjambement (Sakurai et al, 2013, 2014, 2017a, 2017b), ou dans un test d'atteinte fonctionnelle (Sakamoto & Ohashi, 2016). Une façon de donner un sens à l'ensemble des résultats malgré leur divergence est de considérer la performance en termes de précision (différence non signée). Cette approche a amené Saimpont et al. (2012) à conclure que les personnes âgées sont plus impactées lorsqu'elles doivent imaginer des contraintes ou des actions difficiles que pour des actions plus simples. Or, ces dernières ont rarement été testées. Dans le cas de mouvements du corps entier, les tâches les moins exigeantes physiquement sont les tâches chronométriques (Timed Up and Go ou traversée imaginée), mais elles nécessitent tout de même un traitement temporel en plus de l'imagerie spatiale (Naveteur et al., 2013).

Par conséquent, tester la précision de la représentation motrice dans des tâches moins exigeantes est encore nécessaire. Cela justifie l'étude de l'estimation de la longueur des pas dans des conditions écologiques de la marche avec l'inclusion d'un groupe contrôle d'adultes jeunes. Cela souligne également la pertinence d'inclure des conditions de marche qui peuvent être considérées comme plus ou moins habituelles.

La présente étude a examiné comment des personnes âgées et des jeunes évaluent la longueur de leur premier pas pendant l'initiation de la marche. Nous avons mesuré et comparé la longueur réelle et estimée du premier pas et ce, pour les deux types de marche : (1) initiation de la marche effectuée par les participantes avec leurs propres caractéristiques de marche préférée et (2) initiation de la marche avec les plus grands pas que les participantes peuvent effectuer sans se mettre en danger. Ce second type de marche est physiquement moins exigeant qu'une LMP. L'hypothèse principale est que les seniors sont comparativement moins précis que les jeunes, en particulier en surestimant leur pas. Une surestimation plus forte est attendue chez ceux qui présentent davantage de déclin moteur lié à l'âge. Pour étudier ce point, des tests moteurs ont été inclus pour le groupe des seniors. Le test de Tinetti (Tinetti, 1986) et le Timed Up and Go (Podsiadlo & Richardson, 1991) ont été utilisés pour déterminer la mobilité fonctionnelle. Des indicateurs du niveau de style de vie ont également été recueillis. Une tâche complémentaire d'estimation de taille d'objets a également été incluse afin de contrôler la perception visuelle de la distance.

4.2. Méthode

4.2.1. Participants

Au total, 41 participantes prennent part à l'étude : 22 femmes de 68 à 87 ans ($M = 74,88 \pm 5,36$ ans) forment le groupe des seniors (GS), et 19 femmes de 19 à 33 ans ($M = 25,16 \pm 3,55$ ans) forment le groupe des jeunes (GJ). Les participantes résident à St Amand les Eaux ou dans les alentours. La recherche des participantes a été effectuée auprès d'associations de loisirs de St Amand-les-Eaux pour les seniors, et auprès de composantes d'enseignement de l'UPHF (alors nommé Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis ; UVHC) et du service du personnel hospitalier pour les jeunes (aucun kinésithérapeute n'est inclus). Ces participantes n'ont pas de problèmes évidents dans leur marche et se déplacent tous sans aide matérielle ou humaines.

Les personnes intéressées sont rencontrées une première fois quelques jours avant la session expérimentale afin de vérifier qu'elles correspondent bien aux profils recherchés (cf. Annexe 11). Les volontaires sont interrogées sur leur état de santé. Toutes atteintes des membres inférieurs qui pourraient affecter la marche d'une façon considérée comme invalidante sont une cause d'exclusion. À noter que la présence de prothèses de hanche ou de genou n'est pas

rédhibitoire si la personne déclare avoir récupéré une mobilité satisfaisante ; il en est de même de tout autre problème antérieur décrit comme résolu. La présence rapportée d'une pathologie cardiaque est un autre critère d'exclusion, comme l'est le diabète, connu pour réduire l'interoception (Lord et al., 1993). Quel que soit leur âge, les participantes sont autonomes dans leur vie quotidienne et leurs déplacements. L'acuité visuelle de loin (vision binoculaire corrigée ou non) est évaluée en utilisant l'échelle de Monoyer (3 m) : une note supérieure ou égale à 6 / 10 et une absence de différence bilatérale marquée est un critère d'admissibilité. Les participantes doivent identifier leur pied dominant en donnant un coup de pied dans une balle imaginaire (3 essais durant lesquels le mouvement doit toujours être effectué par le même pied ; des volontaires qui changent de pied ne sont pas retenus). Pour les seniors, un Mini Mental State Examination (MMSE ; Folstein et al., 1975) est réalisé ; un score inférieur à 27 est un critère d'exclusion.

4.2.2. Matériel

La zone expérimentale est délimitée par une bande de linoléum blanc posé au sol. Cette bande sert d'écran de projection pour un vidéoprojecteur (LG PB60G-JE) fixé au plafond. La zone de projection mesure 165 cm de long et 103 cm de large. L'élément projeté est une trace de pas qui se déplace à la vitesse de 3 cm / s. Le programme informatique utilisé permet également de déplacer manuellement la trace de pas, chaque clic produisant un déplacement de 1 cm de la trace. La trace de pas⁹ est ajustée à la taille de la chaussure de chaque participante (Figure 15).

⁹ La trace de pas représente soit un pied gauche soit un pied droit selon la dominance de la participante.

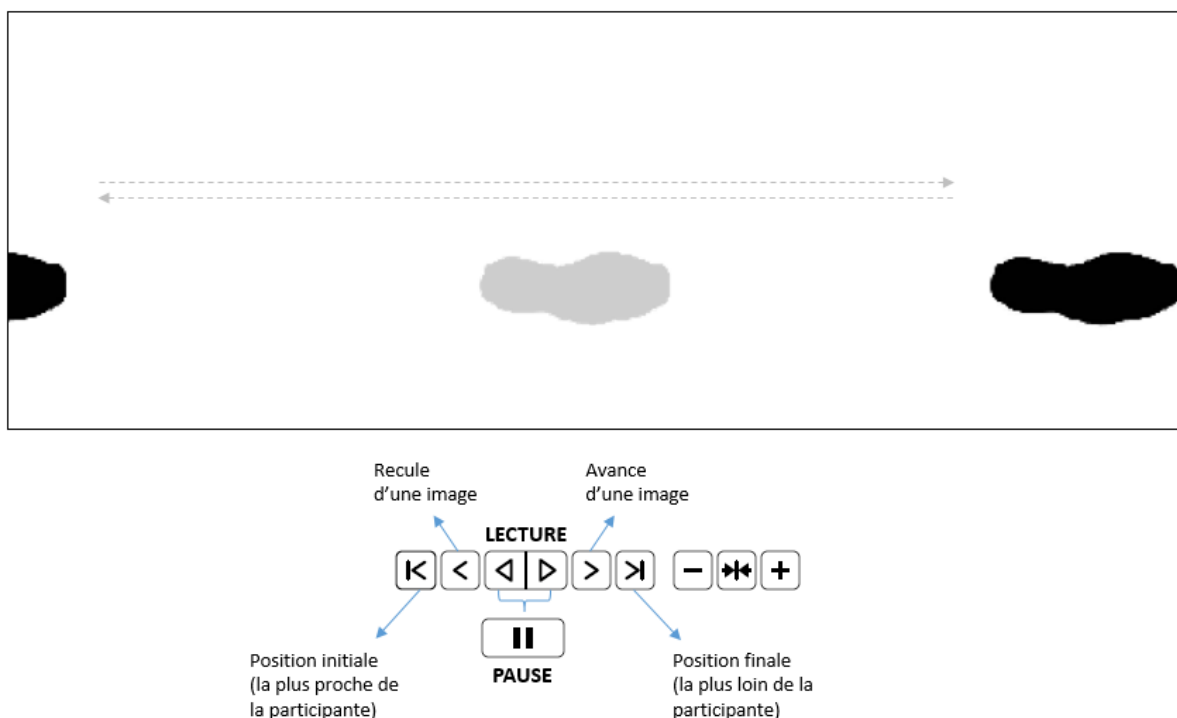


FIGURE 15 : INTERFACE UTILISÉE PAR L'EXPÉRIMENTATRICE

Un système opto-électronique d'analyse du mouvement VICON muni de 6 caméras infrarouges fonctionnant avec le logiciel Vicon Nexus 1.6.1 (Société Oxford Metrics, Royaume-Uni) est utilisé pour mesurer les caractéristiques cinématiques des tâches de réalisation et d'estimation. La résolution des caméras enregistrant le mouvement des marqueurs réfléchissants est de 2 mégapixels. Une procédure de calibration permet de localiser les marqueurs dans l'espace d'enregistrement ainsi délimité, à la condition que ceux-ci soient visibles simultanément par au moins deux caméras. Les positions des marqueurs permettent d'alimenter un modèle biomécanique d'analyse du mouvement de la participante. La fréquence d'acquisition du système a été fixée à 100 Hz. Les six caméras infrarouges du Vicon Nexus sont disposées en hauteur, fixées au mur. La modélisation utilisée pour cette expérience est de 4 marqueurs rétro-réfléchissants au niveau de la tête, soit un au niveau du front, un au niveau du lobe temporal gauche, un au niveau du lobe temporal droit et un juste devant ce dernier (servant à différencier les côtés gauche et droit de la tête) ; ces marqueurs sont fixés sur un bandeau à l'aide d'un scotch adhésif double face. Un marqueur sur la cuisse droite sert également à différencier le côté gauche du côté droit. Trois marqueurs sont positionnés sur chaque pied à l'aide d'un scotch adhésif double face hypoallergénique, soit un au niveau du talon, un au niveau du 3ème métatarse sur la chaussure et un dernier au niveau de la malléole externe. Ce modèle permet de calculer le paramètre cinématique du mouvement des pieds qui nous intéresse, à savoir la longueur du premier pas. Un marqueur supplémentaire est utilisé pour mesurer la longueur du pas estimée pendant la tâche d'estimation de la longueur du pas (voir

ci-dessous). Deux ordinateurs sont nécessaires pour cette étude. Le premier ordinateur est assigné à l'enregistrement des données liées à l'analyse du mouvement fournies par le système Vicon et ses marqueurs rétro-réfléchissants. Le second ordinateur permet de gérer l'apparition de la trace au sol ainsi son déplacement (automatique versus manuel et s'éloignant versus se rapprochant de la participante).

4.2.3. Questionnaires et tests

Le Timed Up and Go (Podsiadlo & Richardson, 1991) et le test Tinetti (Tinetti, 1986) ont été utilisés afin d'évaluer les capacités de marche et d'équilibre des participantes seniors. L'objectif est de les classer en deux sous-groupes : participantes avec risque de chute (ARC) et participantes sans risque de chute (SRC). Les seniors complétaient également la FES-I (Mourey et al., 2009) qui évalue la peur de chuter. Dans le but d'avoir une approche plus globale du comportement des participantes, tout âge confondu, plusieurs questions supplémentaires ont été posées portant sur l'âge perçu et sur les habitudes de déplacement.

4.2.4. Procédure

Les passations sont individuelles. La session expérimentale se déroule quelques jours après la première rencontre au cours de laquelle il avait été demandé aux participantes de venir avec une paire de chaussures de marche habituelle et avec un vêtement pour les membres inférieurs qui permet d'accéder à la cheville (elles peuvent les porter ou non pour venir ; si pas, elles savent qu'elles pourront se changer avant l'expérimentation). Elles étaient également prévenues qu'elles pouvaient reporter leur rendez-vous si elles ne se sentent pas bien ce jour-là.

À leur arrivée au laboratoire, les participantes sont questionnées sur leur état de santé actuel pour vérifier qu'elles peuvent passer l'expérience dans de bonnes conditions (aucune participante n'a posé problème à ce niveau). Les participantes signent ensuite un formulaire de consentement éclairé avant de répondre aux questions concernant leurs habitudes de déplacements (cf. Annexe 12). Celles qui ne sont pas encore en tenue sont invitées à se changer dans un vestiaire. Il est également demandé aux participantes de retirer leurs bijoux (montre, collier, bagues...) puis elles sont équipées des marqueurs réfléchissants.

Au début de chaque essai, les participantes sont debout dans une position confortable pour elles. La position initiale des pieds n'est toutefois que partiellement auto-sélectionnée car les deux pointes doivent toucher un repère projeté sur le sol, repère qui n'autorise pas d'écart antéropostérieur ; le positionnement est réalisé sous la supervision de l'expérimentatrice. La tâche d'estimation de la longueur du pas est effectuée avant la tâche de réalisation. Chacune de

ces tâches comprend 12 essais. Les participantes ne reçoivent aucun feedback concernant l'exactitude de leurs jugements.

Concernant **la tâche d'estimation**, la consigne principale donnée aux participantes pour les six premiers essais est d'estimer la longueur de leur premier pas habituel lors d'une initiation de la marche. (Pas Usuel ; PU). La consigne pour les six essais suivants est d'estimer la longueur de leur premier pas dans le cas d'une initiation à la marche avec des grands pas, sans que ceux-ci n'induisent de risque en termes d'équilibre ou de douleur (Grand Pas : GP). Lors de chaque essai, les participantes doivent regarder la trace de pas se déplacer soit vers l'avant (s'éloigner de la participante) soit vers l'arrière (se rapprocher de la participante). Pour chaque type de pas (PU et GP), trois essais sont effectués avec la trace s'éloignant de la participante et trois autres essais avec la trace s'avancant vers la participante (un déplacement de la trace illustre les consignes). Dans le premier essai, la trace s'éloigne. Les essais suivants sont ensuite alternés entre les deux directions. Ce changement est mis en place afin d'éviter que les jugements ne soient biaisés par le traitement d'informations temporelles qui peuvent être facilement accessibles si la trace s'éloigne uniquement de la participante. Les participantes doivent dire « stop » lorsque la trace atteint l'endroit où elles pensent qu'elles poseraient leur pied lors d'une véritable initiation de marche (Figure 16). Après ce « stop », les participantes peuvent encore ajuster le positionnement de la trace en demandant à l'expérimentatrice de déplacer légèrement la trace dans la direction qu'elles souhaitent. Chaque essai se termine lorsque les participantes sont pleinement satisfaites par la position de la trace. Suite à cela, l'expérimentatrice place soigneusement un marqueur rétro-réfléchissant sur la pointe de la trace. Cette manœuvre permet au système d'analyse du mouvement d'enregistrer précisément le positionnement de la pointe estimée. L'expérimentatrice calcule a posteriori la longueur du pas estimé, en faisant la différence entre le marqueur de la pointe du pied dominant et le marqueur de la pointe de la trace. Cette stratégie est choisie car elle évite d'effectuer des mesures devant la participante. Dans son ensemble, la procédure fournit des positions de trace « instantanées » avec un protocole inspiré à la fois par la méthode psychophysique des limites et la méthode d'ajustement contrôlée par un expérimentateur.



FIGURE 16 : PHOTO D'UNE PARTICIPANTE EFFECTUANT LA TÂCHE D'ESTIMATION DE LA LONGUEUR DE PAS

La trace de pied s'éloigne (distance qui augmente) et la participante dit « stop » quand elle pense que la trace est positionnée là où selon elle, elle poserait le pied en initiant sa marche.

Au cours de **la tâche de marche réelle**, le positionnement initial des pieds de chaque participante est le même que dans la tâche d'estimation. Les participantes effectuent des initiations de marche vers l'avant afin de mesurer la longueur de leur premier pas (Figure 17). Elles le font avec des pas usuels puis avec des grands pas (six essais pour chaque type de pas). Les participantes sont libres d'initier leur pas quand elles le veulent après être autorisés à le faire par l'expérimentatrice. Chaque participante marche à son propre rythme en revenant à la position initiale à la fin de chaque essai.



FIGURE 17 : PHOTO D'UNE PARTICIPANTE EFFECTUANT LA TÂCHE DE MARCHE RÉELLE

Suite à son positionnement auto-sélectionné, la participante est autorisée à se déplacer vers l'avant (marche avec des pas usuels ou avec des grands pas selon la consigne) en commençant par son pied dominant

Entre la tâche d'estimation et la tâche de marche réelle, les participantes réalisent **une tâche d'estimation de taille**. L'approche discriminative est choisie car elle ne nécessite pas le recours à une unité internationale de mesure. La méthode constante est utilisée. Les participantes doivent décider si deux barres sont de la même taille ou non. Plus précisément, les participantes sont assises confortablement face à deux barres placées verticalement dans le même alignement, respectivement à 2 m et 4 m de la participante (Figure 18). La barre la plus proche, dite « barre étalon », mesure 30 cm de haut. L'autre barre, « barre stimulus », peut être de 7 tailles différentes (20, 25, 27, 30, 33, 35 ou 40 cm). Avant chaque essai, les participantes ferment les yeux, tandis que l'expérimentatrice change la barre stimulus. L'ordre de présentation des barres est semi-randomisé. Chaque barre stimulus est présentée 4 fois. La tâche comprend donc un total de 28 essais. La consigne donnée est de dire si la barre stimulus est plus petite, égale ou plus grande que la barre étalon.



FIGURE 18 : PHOTO D'UNE PARTICIPANTE EFFECTUANT LA TÂCHE D'ESTIMATION DE LA TAILLE
La participante doit dire si la barre positionnée le plus loin d'elle est plus grande, plus petite ou de même taille que celle positionnée le plus près d'elle

À la fin de l'expérimentation, les participantes sont invitées à commenter librement l'expérimentation. Chaque participante reçoit un cadeau en remerciement de sa participation (une tasse ou un verre). La durée d'une session complète est d'environ une heure pour une participante senior et de trente minutes pour une participante jeune.

4.2.5. Analyses statistiques

Considérant qu'il existe un lien positif entre les valeurs réelles et la taille de l'erreur d'estimation, les analyses sont effectuées sur un paramètre relatif exprimé en (%) et qualifié par la suite d'« Erreur de Jugement » (EdJ). Il est calculé comme suit :

$$\text{EdJ} = (\text{Longueur de pas estimée} - \text{Longueur de pas réel}) / \text{Longueur de pas réel} * 100$$

Une valeur positive correspond à une erreur de surestimation et une valeur négative à une erreur de sous-estimation. Une conclusion en ces termes repose toutefois ultimement sur le résultat d'une comparaison à la valeur « 0 » qui représente l'estimation parfaite. Une telle comparaison est effectuée au moyen d'un test *t* de Student à un échantillon, autorisé par la normalité des distributions pour les deux types de pas. La normalité des distributions est testée pour toutes les variables en utilisant le test de Kolmogorov Smirnov dans les deux groupes d'âge. Le non-rejet de l'hypothèse nulle est obtenu sauf pour le score au test de Tinetti (1986). Les valeurs descriptives sont exprimées en tant que moyenne $\pm$ écart type ou en tant que médiane avec intervalle interquartile en fonction de la distribution. La comparaison entre les groupes est effectuée avec le test *t* de Student ou le test *t* de Welch (lorsque l'égalité des variances n'est pas respectée selon le test de Levene) ou le U de Mann-Whitney (données non paramétriques). La comparaison intra-groupe est faite avec le test de Wilcoxon. Les corrélations sont évaluées en utilisant la méthode de Pearson ou de Spearman en fonction de la distribution. Pour les quelques analyses statistiques moins motivées par des hypothèses, une

correction du taux de fausses découvertes est appliquée en utilisant la méthode de Benjamini et Hochberg (1995).

4.3. Résultats

4.3.1. Caractéristiques des participantes

L'ensemble des résultats concernant la taille des participantes¹⁰, leur pointure et leur IMC est représenté dans le Tableau 2.

La majorité des participantes (sauf 4 seniors et 1 jeune) pratiquent des activités sportives (marche, gymnastique, sports collectifs) au moins une heure par semaine. Les participantes jeunes sont 79 % à dire qu'elles peuvent marcher environ une heure ou plus sans fatigue. Chez les seniors, elles sont 73 % [$|Z_{obs}| = 0,4625$, $p = 0,645$; aucune participante ne signale de fatigue en marchant moins de 10 min]. Elles rapportent des déplacements à l'extérieur en moyenne de 17 ± 12 h par semaine en dehors de leur maison et de leur jardin. Tout âge confondu, elles déclarent pratiquer la marche en extérieur tous les jours. Toutefois, la durée de déplacement (en heures) des seniors est inférieure à celle des jeunes [$3,3 \pm 5$ h versus 6 ± 3 h, $t(39) = 2,14$, $p = 0,038$, d de Cohen = $0,65$]. Les participantes, sans différence significative entre les GROUPES D'ÂGE, déclarent qu'elles perçoivent la marche positivement ($8,1 \pm 1,7 / 10$) et que celle-ci contribue à leur autonomie ($8,9 \pm 1,7 / 10$). De plus, elles rapportent quelques sensations de vulnérabilité ($4,0 \pm 3,5 / 10$). Néanmoins, les GROUPES D'ÂGE diffèrent sur le sentiment d'anxiété dans les rues, avec une sensation plus importante chez les seniors [GJ : Med = $0 / 10$, IQR = 1 versus GS : Med = $2 / 10$, IQR = 8, $U = 121$, $Z = 2,30$, $p = 0,013$, $r = 0,3$].

¹⁰ Un meilleur appariement de ces paramètres était souhaité, mais il n'a pas été possible d'atteindre cet objectif dans le laps de temps de l'expérience.

TABLEAU 2. COMPARAISON ENTRE LE GROUPE DES JEUNES (GJ) ET LE GROUPE DES SENIORS (GS)
POUR LES CARACTÉRISTIQUES MORPHOMÉTRIQUES.

Variabiles	GJ	GS	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Taille (m)	1,66 (0,05)	1,58 (0,06)	4,60	<,001	1,49
Hauteur des hanches (m)	1,01 (0,05)	0,95 (0,07)	2,71	,009	1,57
Hauteur des yeux (m)	1,58 (0,04)	1,48 (0,07)	4,96	<,001	1,58
Longueur des chaussures (cm)	26,5 (1)	25,7(1)	2,48	,018	0,80
IMC	24,3 (3,99)	28,3 (5)	2,83	<,001	0,89
Pied dominant	14 D / 5 G	19 D / 3 G	//	//	//

Note : le tableau affiche les valeurs moyennes (et l'écart-type) et les résultats des analyses statistiques (ddl = 39). La taille de l'effet est calculée en utilisant le d de Cohen.

Dans le groupe des seniors, la Fes-I moyenne est de $26,09 \pm 8,68$ avec des valeurs allant de 17 à 56 / 64, avec une peur de chuter faible, modérée et élevée pour respectivement 6, 8 et 8 participantes (classification selon Delbaere et al., 2010). Elles déclarent se sentir plus jeunes que leur âge réel en ce qui concerne leurs activités quotidiennes (âge estimé : $65,73 \pm 8,47$, âge réel : $75,14 \pm 5,53$; $t(42) = 4,36$, $p < 0,001$; 5 participantes déclarent se sentir en âge réel et aucune d'entre elle ne déclare se sentir plus âgées)

4.3.2. Tâche d'estimation de la taille

Le seuil différentiel (Sd) correspond à la différence minimale de la taille de baguettes perceptible par une participante. Il est calculé comme suit :

$$\text{Sd} = (\text{Médiane des réponses « plus grandes »} - \text{Médiane des réponses « plus petites »}) / 2.$$

Il n'y a pas de différence significative entre les deux groupes d'âge pour cette variable [GJ : $1,74 \pm 0,95$ cm versus GS : $1,98 \pm 0,86$ cm, $t(39) = 0,84$, $p = 0,406$, d de Cohen = 0,27].

4.3.3. Longueurs des pas réels

Les seniors réalisent des pas plus petits que les jeunes [PU : $42,5 \pm 12,5$ cm versus $58,5 \pm 7,2$ cm, $t(39) = 4,94$, $p < 0,001$, d de Cohen = 1,57 ; GP : $64,6 \pm 15,0$ cm versus $90,1 \pm 11,5$ cm ; $t(39) = 6,03$, $p < 0,001$, d de Cohen = 1,91 ; Tableau 3]. Ces différences significatives persistent lorsque les longueurs sont ajustées pour la taille des participantes (tous les $p < 0,001$). Dans les deux groupes, les longueurs des PU et des GP sont corrélées [GS : $r(20) = 0,87$, $p < 0,001$; GJ : $r(17) = 0,62$, $p = 0,005$].

TABLEAU 3. COMPARAISON ENTRE LE GROUPE DES JEUNES (GJ) ET LE GROUPE DES SENIORS (GS) POUR LES LONGUEURS DE PAS RÉEL (PAS USUEL : PU ; GRAND PAS : GP)

Variables		GJ	GS	<i>T</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Longueur réelle (cm)	PU	58,5 (7,2)	42,5 (12,5)	4,94	<,001	1,57
Longueur réelle (cm)	GP	90,1 (11,5)	64,6 (15)	6,03	<,001	1,91

Note : le tableau affiche les valeurs moyennes (et l'écart-type) et les résultats des analyses statistiques (ddl = 39). La taille de l'effet est calculée en utilisant le d de Cohen.

4.3.4. Estimation de la longueur des pas

L'égalité des variances n'est pas respectée pour les comparaisons entre les deux groupes d'âge [PU : $F(1,39) = 17,73$, $p = 0,0001$, GP : $F(1,39) = 8,20$, $p = 0,0067$]. Pour les pas usuels, l'EdJ est plus grande chez les seniors que chez les jeunes [$30,11 \pm 42,98$ % versus $-9,39 \pm 14,39$ % ; t de Welch(26,29) = 4,55, $p = 0,001$, delta de Glass = 0,919]. Les résultats montrent une surestimation de la longueur du pas pour les seniors et une sous-estimation pour les jeunes (Tableau 4). Si on compare l'EdJ à la valeur « zéro » qui représente l'estimation parfaite, les différences sont significatives dans les deux groupes [GS : $t(21) = 3,29$; $p = 0,004$; GJ : $t(18) = 2,84$; $p = 0,011$; Figure 19]. Pour les grands pas, l'effet de l'âge est significatif [GS : $9,14 \pm 18,09$ % versus GJ : $-4,44 \pm 9,83$ % ; t de Welch(33,28) = 3,04, $p = 0,0046$, delta de Glass = 0,751] : les seniors sont moins exactes que les jeunes. La comparaison à « zéro » confirme uniquement une surestimation chez les seniors [$t(21) = 2,37$, $p = 0,027$; YG : $t(18) = 1,97$; $p = 0,064$; Figure 19]. Les comparaisons intra-groupe montrent que les estimations sont moins bonnes pour les pas usuels que pour les grands pas quel que soit l'âge [GJ : $T = 42$, $Z = 2,13$, $p = 0,033$, $r = 0,49$; GS : $T = 49$, $Z = 2,52$, $p = 0,012$, $r = 0,54$].

TABLEAU 4. COMPARAISON ENTRE LE GROUPE PLUS JEUNE (GJ) ET LE GROUPE PLUS ÂGÉ (GS) POUR LES ERREURS D'ESTIMATION DE LONGUEUR DE PAS.

Pas	GJ	GS	t(26.29)	p	delta
Usuel (%)	-9,4 (14,4)	30,1 (42,9)	4,55	<0,001	0,92
Grand (%)	-4,4 (9,8)	9,1 (18,1)	3,04	0,005	0,75

Note : les valeurs moyennes (et écart-type), les résultats de la comparaison entre groupes (test de Welch) et la taille de l'effet (Glass delta) sont affichés.

4.3.5. Estimation de longueur de pas par les seniors avec et sans risque de chute

Malgré le fait que toutes les participantes seniors soient des personnes autonomes vivant à domicile, les tests de mobilité standardisés révèlent des difficultés pour neuf d'entre elles avec un risque de chute possible. Parmi ces participantes, deux obtiennent un score Tinetti égal à 26 ou 27, quatre mettent plus de 12 s pour réaliser le TUG et trois ont des performances de cet ordre aux deux tests. Parmi elles, cinq participantes ont une prothèse de hanche ou de genou (contre trois dans le groupe sans risque de chute) et ont chuté une fois au cours de l'année. En divisant *a posteriori* le groupe senior en deux sous-groupes, il est possible de comparer ces 9 seniors avec risque de chute (ARC) aux 13 seniors sans risque de chute (SRC).

Concernant les pas usuels, l'égalité des variances n'est pas respectée pour les comparaisons entre les deux sous-groupes [PU : $F(1,20) = 8,92$, $p = 0,007$]. L'EdJ est plus grande dans le sous-groupe avec risque de chute [$64,91 \pm 41,71\%$ versus $6,02 \pm 22,87\%$; t de Welch(11,35) = 3,85, $p = 0,003$, delta de Glass = 1,412]. Les données suggèrent une surestimation de la longueur de pas dans les deux groupes. Toutefois, la comparaison de l'EdJ à la valeur « zéro » n'est significative que pour les seniors à risque de chute [$t(8) = 4,67$, $p = 0,002$; GS-SRC : $t(12) = 0,95$, $p = 0,361$].

Pour les grands pas, un effet similaire apparaît [$t(20) = 2,90$, $p = 0,009$; d de Cohen = 1,20] : les estimations des participantes à risque de chute sont moins bonnes que celles de leurs homologues sans risque de chute [$20,71 \pm 19,34$ % versus $1,13 \pm 12,38$ %]. La comparaison de l'EdJ à la valeur « zéro » ne révèle une surestimation significative que pour les seniors à risque de chute [$t(8) = 3,21$, $p = 0,012$, sous-groupe SRC : $t(12) = 0,33$, $p = 0,747$]. Les comparaisons dans chaque sous-groupe révèlent de meilleures estimations chez les participantes à risque de chute pour les grands pas que pour les pas usuels [$T = 3$, $Z = 2,31$, $p = 0,021$, $r = 0,77$; GS-SRC : $T = 31$, $Z = 1,01$, $p = 0,311$, $r = 0,28$]. Les effets sont résumés dans le Tableau 5 et la Figure 19.

TABLEAU 5. COMPARAISON ENTRE LES PARTICIPANTES DU GROUPE LE PLUS ÂGÉ (GS) AVEC ET SANS RISQUE ACCRU DE CHUTE (ARC CONTRE SRC) POUR LES ERREURS D'ESTIMATION DE LA LONGUEUR DU PAS.

Pas	SRC	ARC	t	p	d
Usuel (%)	6,0 (22,9)	65,0 (41,7)	3,85	,002	1,41
Grand (%)	1,1 (12,4)	20,7 (19,3)	29,04	,009	1.20

Note : les valeurs moyennes (et l'écart-type), les résultats de la comparaison entre les groupes et la taille de l'effet sont affichés. Les tailles d'effets ont été calculées avec le d de Cohen.

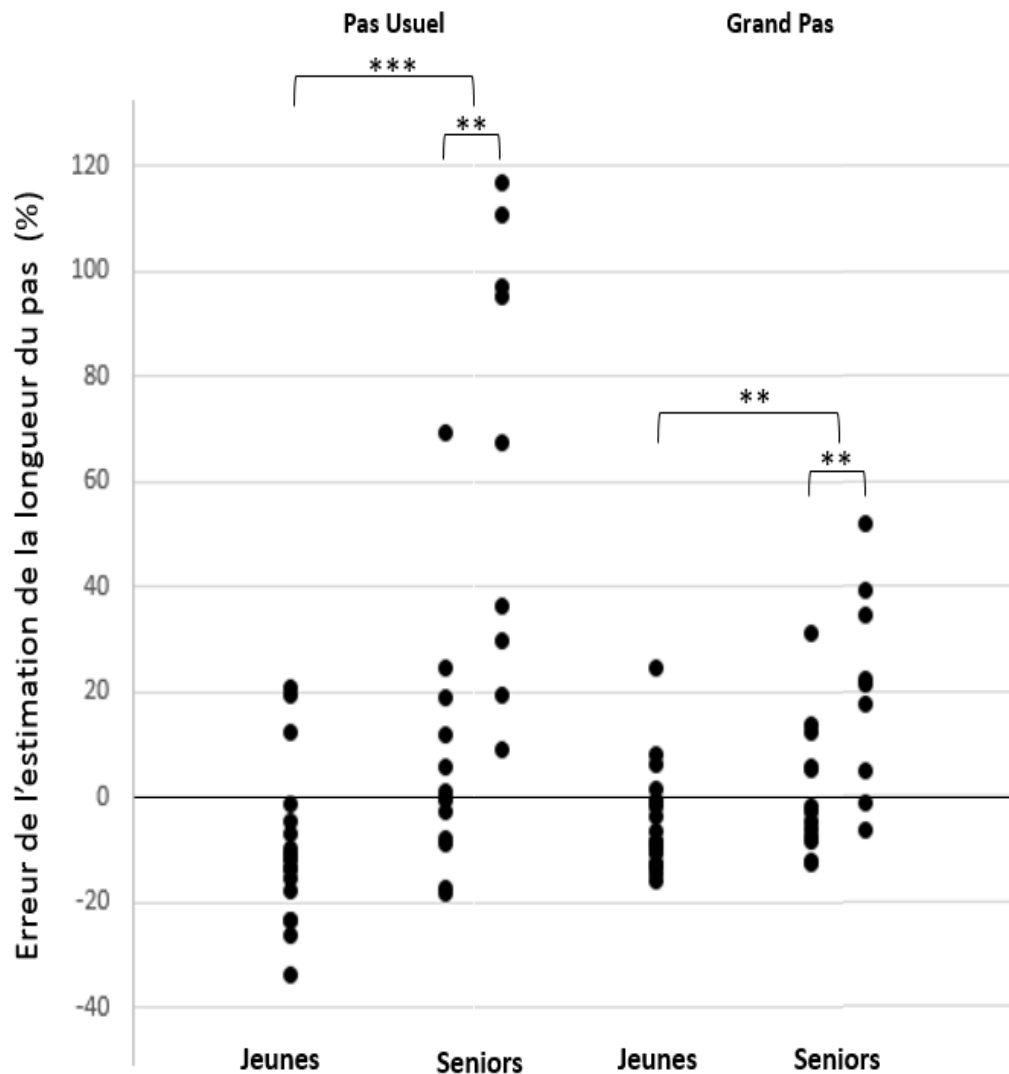


FIGURE 19 : ERREURS DE JUGEMENT DANS L'ESTIMATION DE LA LONGUEUR DU PAS

La valeur « 0 » représente un jugement correct, soit une absence de différence entre la longueur de pas estimé et la longueur de pas réelle. Une valeur négative correspond à une sous-estimation de la longueur de pas et une valeur positive à une surestimation.

Les jeunes sous-estiment leur longueur de pas et les seniors la surestiment, surtout s'ils sont à risque de chute. Quel que soit le groupe d'âge, l'estimation du grand pas est plus précise que celle du pas usuel.

4.3.6. Autres comparaisons entre seniors avec et sans risque de chute

Le Tableau 6 résume les résultats. Seule la hauteur des yeux est incluse ici comme paramètre de taille étant donné la forte corrélation entre les différents paramètres morphométriques de taille [$r(20) > 0,70$]. Les seniors avec risque de chute réalisent des pas plus petits que celles sans risque de chute que ce soit pour les pas usuels [d de Cohen = 1,71] ou pour les grands pas [d de Cohen = 1,36]. Elles ont un score au MMSE comparativement plus faible [d de Cohen = 1,17] et sont également plus âgées [d de Cohen = 1,18]. Le ratio de participantes capables de

marcher environ une heure ou plus sans fatigue était respectivement de 55,6 % dans le sous-groupe avec risque de chute et de 84,6 % dans le sous-groupe sans risque de chute, mais cette différence n'atteint pas le seuil de significativité [$|Z_{obs}| = 1,504$, $p = 0,134$].

TABLEAU 6. COMPARAISON ENTRE LES PARTICIPANTES SANS RISQUE DE CHUTE (SRC) ET LES PARTICIPANTES PRÉSENTANT UN RISQUE DE CHUTE (ARC) POUR CHAQUE VARIABLE DÉPENDANTE.

Variables	SRC	ARC	<i>T</i>	ddl	p	FDR-p
Longueur du pas usuel (cm)	49,1	32,9	3,890	20	0,001	0,004
Longueur du pas large (cm)	71,7	54,4	3,215	20	0,004	0,008
MMSE	29,2	28,1	2,816	20	0,011	0,013
Age réel (ans)	72,8	78,4	-2,647	20	0,015	0,017
Temps passé à l'extérieur (h/semaine)	22,0	10,8	2,337	20	0,030	0,021
Hauteur des yeux (m)	1,50	1,45	1,951	20	0,065	0,025
FES-I	23,77	29,44	-1,558	20	0,135	0,029
Anxiété liée à la marche (/10)	2,69	5,11	-1,492	20	0,151	0,033
Age ressenti (ans)	63,7	68,7	-1,384	20	0,182	0,038
Seuil différentiel	2,17	1,71	1,262	20	0,221	0,042
IMC	27,26	29,93	-1,251	11,33	0,236	0,046
Plaisir lié à la marche (/10)	8	8	0	20	1,000	0,050

Note : les seniors sans risque de chute (SRC) sont comparés à ceux avec risque de chute (ARC). Le temps passé à l'extérieur correspond au temps passé chaque semaine hors de la maison et du jardin. L'anxiété liée à la marche correspond à l'anxiété globale en ce qui concerne la marche en tant que piéton. Le seuil différentiel est obtenu dans la tâche d'estimation de la taille visuelle. Le ddl des tests test égal à 20. Pour l'IMC, le ddl est égal à 11,33, en raison de la non égalité des variances, calculé avec le test t de Welch, La taille de l'effet est calculée avec le d de Cohen et le Glass'delta pour l'IMC, Les comparaisons en italique n'ont pas atteint le seuil de significativité.

En outre, un lien significatif apparaît entre la longueur du pas et l'EdJ correspondante pour les pas usuels [$r(20) = -0,82$, $p = 0,001$, FDR $p = 0,008$] et pour les grands pas [$r(20) = -0,73$, $p = 0,001$, FDR $p = 0,016$]. Il existe également un lien entre l'EdJ et le score MMSE pour les pas usuels [$r(20) = -6,14$, $p = 0,002$, FDR $p = 0,025$] et pour les grands pas [$r(20) = -0,534$, $p = 0,010$, FDR $p = 0,033$]. Les corrélations entre l'EdJ et l'âge ne sont pas significatives [PU : $r(20) = 0,37$, $p = 0,08$, GP : $r(20) = 0,11$, $p = 0,61$], plusieurs participantes parmi les plus âgées fournissant de bonnes estimations. La Figure 20 illustre ces liens pour le pas usuel dans l'ensemble de l'échantillon des participantes seniors, en distinguant celles avec et sans risque de chute.

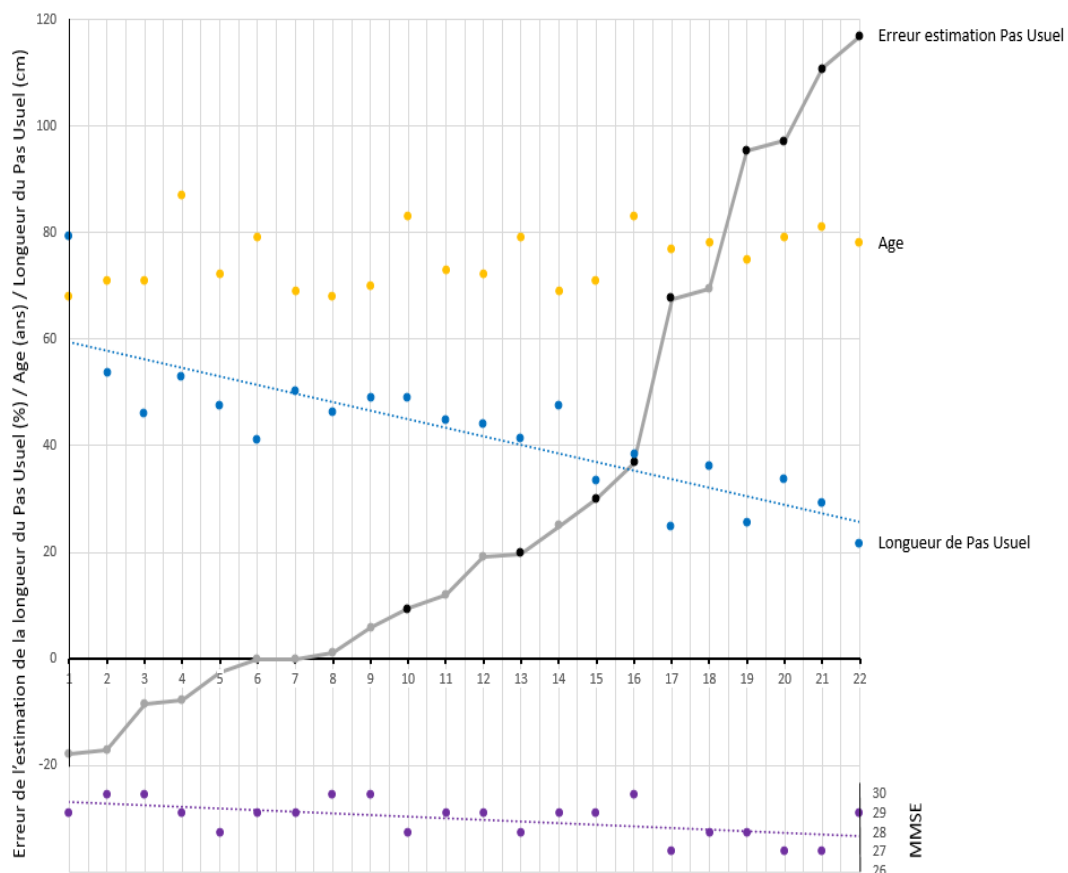


FIGURE 20 : DÉTERMINANTS DE LA SURESTIMATION POUR LES PAS USUELS CHEZ LES SENIORS

Les participantes seniors ont été ordonnées selon leur erreur de jugement (courbe grise), allant d'un jugement plutôt correct (à gauche) à une surestimation (à droite). Les participantes en points noirs sont celles à risque de chute. La surestimation de la longueur de pas est associée à une diminution de la longueur du pas usuel (en bleu) et à un score MMSE faible bien que non pathologique (en violet).

4.4. Discussion

La présente étude a montré que, lorsque des participantes âgées doivent estimer la longueur du premier pas qu'elles effectuent au cours d'une initiation de marche, elles le jugent plus

grand qu'il ne l'est en réalité. Cependant, considérer que l'effet concerne toutes les personnes âgées serait non étayé. Même si les participantes se déplacent de manière autonome, certaines d'entre elles présentent un léger déclin moteur comme suggéré par leurs performances moins bonnes au test TUG ou Tinetti. Ces participantes font aussi partie de celles qui font les pas plus courts, caractéristique également considérée comme une composante du déclin lié à l'âge (Aboutorabi et al., 2016). Il s'avère que ces participantes sont spécifiquement celles qui ont surestimé leur longueur de pas. Bien que la puissance du TUG et du test Tinetti pour prédire le risque de chute a parfois été considérée comme modeste (Lin et al., 2004), nous postulons un risque accru de chute dans ce sous-groupe tenant compte de données antérieures ayant décrit des surestimations motrices compatibles chez les chuteurs. Sont à rappeler ici la surestimation observée par Fujimoto et al., (2015) chez les chuteurs qui devaient juger la longueur de leur pas maximale, ainsi que des effets compatibles avec d'autres procédures telles que la chronométrie mentale (TUG : Beauchet et al., 2010, Fujimoto et al., 2015), la marche avec obstacle (Sakamoto & Ohashi, 2016) ou du franchissement d'obstacle (Sakurai et al., 2013). Par conséquent, nos résultats corroborent l'hypothèse précédente d'un rôle clé de la métacognition, en particulier la surestimation des capacités physique dans le risque de chute.

Comme dans la présente étude, la surestimation est le résultat le plus fréquent dans la littérature ou celui sur lequel l'attention est concentrée dans le cas de résultats mixtes et ce, en raison de ses conséquences potentiellement plus graves sur l'équilibre. Cependant, une sous-estimation des capacités motrices est également parfois constatée chez les personnes âgées. Par conséquent, l'incapacité à mettre à jour le modèle d'action interne est une explication insuffisante pour couvrir l'ensemble de cette littérature. La difficulté des tâches a été proposée pour expliquer les discordances (Sakamoto & Ohashi, 2016), mais le lien possible avec les modèles d'action interne mériterait d'être renforcé. Le modèle transactionnel de coping (Lazarus, 1991) semble utile pour ce faire, en supposant qu'il soit pertinent dans l'imagerie motrice. L'évaluation primaire identifie une tâche comme étant plus ou moins difficile (complexe et / ou physiquement exigeante) basée sur des facteurs externes et internes, parmi lesquels probablement les modèles internes de l'action. Si la tâche semble difficile, l'étape suivante de l'évaluation, soit l'évaluation secondaire (« Comment faire face au défi ? »), pourrait imposer une certaine prudence. L'idée que nous défendons est que les personnes peuvent parfois se comporter plus prudemment dans l'imagerie motrice que lorsqu'elles exécutent réellement l'action. L'action réelle peut en effet fournir une rétroaction possiblement rassurante étant donné la répétition des essais et la limitation éthique de la mise en danger dans les contextes expérimentaux. De telles rétroactions ne sont pas disponibles dans l'imagerie motrice qui est, de plus, généralement effectuée avant la tâche réelle pour éviter le transfert immédiat dans l'imagerie d'une prise de repères spatiaux ou temporels. En définitive,

la différence qui en résulte entre actions imaginées et réelles conduit à une sous-estimation des performances.

Alternativement, il peut arriver qu'aucune difficulté ne soit a priori identifiée dans une tâche, ce qui peut notamment survenir si l'évaluation primaire reste superficielle. Il est probable que plus une tâche semble facile et habituelle, moins l'action imaginée intégrera d'hésitation ou de ralentissement. Ceci risque fort de conduire à une surestimation si les modèles d'action interne ne sont pas mis à jour, comme supposé chez les chuteurs. Contre intuitivement, des tâches faciles pourraient donc être plus à même de mettre en évidence une surestimation chez ceux qui ne reconnaissent pas pleinement les limites que leur impose l'avancée en âge. Nous considérons que c'est le cas quand il suffit d'effectuer quelques pas en avant. Enfin, pour les participantes jeunes et les seniors à risque de chute, la performance d'estimation est moins bonne pour le pas usuel que pour le grand pas. Pour les grands pas, cet effet est compatible avec l'explication développée ci-dessus en référence à Lazarus (1991) : le résultat de l'évaluation primaire pourrait être comparativement moins rassurant ; le processus d'estimation intégrerait alors davantage de prudence ce qui compenserait partiellement la mise à jour insuffisante du modèle d'action interne. La sous-estimation dans le groupe plus jeune est plus difficile à expliquer. Une imprécision des modèles d'action motrice, pas encore entièrement ajustés à la croissante corporelle, n'est pas écartée, étant donné la sous-estimation de la hauteur des yeux constatée par Marcilly et Luyat (2008) chez des adultes d'une petite vingtaine d'année. Cependant, dans un tel cas, l'estimation plus précise du grand pas reste non résolue. Globalement, la cooccurrence de sous-estimation chez des jeunes et une surestimation chez des seniors a rarement été rapportée (Robinovitch et Cronin, 1999), suggérant un effet dépendant de la tâche. Ainsi, un présupposé à une explication alternative est que, par rapport aux pas « usuels » effectués en laboratoire, les pas usuels des jeunes dans la vie courante pourraient être plus grands et plus rapides en raison de l'accélération globale qui se produit dans toutes les sphères de leur vie (Leccardi, 2007). C'est sur les seconds que se seraient façonnés leur modèle interne de pas, d'où la surestimation des pas effectués en laboratoire. Un tel biais n'est pas soupçonné pour les plus grands pas qui sont à la fois plus proches des limitations physiques et moins souvent exécutées en routine.

Les scores MMSE de nos seniors restent dans la norme. Néanmoins, ce score au MMSE est négativement lié au degré d'erreur de jugement de la longueur du pas et il est plus faible chez les seniors qui surestiment, en l'occurrence ceux également caractérisés par un risque de chute accrue. Même si la prudence est requise (sachant que même la valeur prédictive de scores MMSE assez élevés a parfois été questionnée ; cf. Spencer et al., 2013 ; Jensen et al., 2003), cet effet peut prendre du sens en s'associant avec des résultats antérieurs rapprochant les troubles du fonctionnement cognitif et l'imagerie motrice (Beauchet et al., 2010, Schott 2012). Ainsi,

les prochaines études devraient couvrir un éventail plus large de scores au MMSE, tant que les consignes restent compréhensibles. Il est à souligner que dans le présent échantillon, aucun problème de compréhension n'a été détecté. La tâche d'estimation de la longueur du pas a été bien acceptée, plusieurs participantes l'ayant même qualifiée d'amusante (« marrante »).

4.1. Limites de l'étude

La présente étude a plusieurs limites. La première est la petite taille de l'échantillon. Cependant, étant donné que les effets principaux ont émergé avec de grandes tailles d'effet et étant donné la cohérence des résultats, il est tentant de considérer la tâche d'estimation de la longueur du pas comme une procédure puissante pour révéler une erreur de jugement. Cependant, sachant seulement trois participantes désignées « à risque de chute » ont chuté au cours de la dernière année, le besoin d'un effectif plus grand ne peut être nié, avec des enquêtes rétrospectives et prospectives sur les chutes. Un échantillon important fournirait également l'occasion d'étudier davantage les personnes octogénaires qui évaluent encore correctement leur longueur de pas. Cette approche positive est motivée par le fait que l'âge en soi ne semble pas être un prédicteur significatif de l'erreur de jugement, même si les surestimations ont prévalu parmi les plus âgées. Toujours concernant la taille de l'échantillon, il est possible de soupçonner une puissance insuffisante pour révéler un lien entre l'erreur de jugement et la peur de chuter ou le niveau d'activité. D'une part, aucune corrélation n'est obtenue pour la FES-I, alors qu'un lien positif a été rapporté par Sakurai et al. (2016). D'autre part, chez celles qui passent le moins de temps à l'extérieur, seule une tendance à plus de surestimation est constatée alors que des surestimations ont été décrites par Sakurai et al. (2014) comme plus nombreuses chez des personnes qui se déplacent moins à l'extérieur. Deuxièmement, seules les femmes ont participé. Vu le ratio global plus élevé de femmes dans la population âgée, elles sont souvent recrutées en plus grand nombre dans cette littérature, et des effets liés au genre sont rarement rapportés. Toutefois, Bridenbaugh et al. (2013) ont constaté que les femmes étaient plus susceptibles de fournir de mauvaises estimations dans un TUG chronométré. Une généralisation de nos résultats aux hommes devrait donc faire l'objet d'une vérification préalable. Troisièmement, les participantes plus jeunes étaient plus grandes que les participantes plus âgées. Il est toutefois peu probable que cette différence fausse les résultats étant donné que les analyses ont été effectuées sur l'erreur relative. Il est aussi possible d'ajouter que des analyses effectuées sur les angles visuels ne changent pas le profil des résultats ; elles ne sont pas présentées ici par souci de concision et parce que leur compréhension est moins intuitive.

4.2. Conclusion

En résumé, cette expérience a mis en œuvre une procédure d'auto-estimation de longueur du pas. Elle a révélé une sous-estimation de la longueur du pas usuel par les adultes jeunes, une estimation correcte par seniors sans risque de chute, et une surestimation par les seniors avec un déclin moteur suggérant un risque de chute accru. Quand des grands pas sont testés, seule une surestimation par celles avec un risque de chute est constatée. L'erreur de jugement dans la population âgée est mise en lien avec l'intérêt croissant pour l'incidence des facteurs cognitifs dans l'étiologie du risque de chute. La surestimation résulterait d'une évaluation primaire erronée, basée sur l'actualisation insuffisante des modèles d'action motrice.

5. RESENTIS CORPORELS EN POSITION D'ATTENTE

Tout comme l'étude présentée au chapitre précédent, il s'agit ici d'un prolongement de l'étude en bord de rue. L'approche est expérimentale et vise à décrire les ressentis corporels (sur le corps entier) dans deux types de positions de pieds observés in situ lors de l'étude antérieure (cf. Chapitre 3).

5.1. Introduction

En position d'attente statique en bord de rue, nous avons constaté que les pieds sont le plus souvent orientés vers l'extérieur. Dans deux de nos trois contextes, cette ouverture s'est révélée plus importante pour le pied gauche (pointe vers la gauche) que pour le pied droit chez les seniors. Le sens d'arrivée relativement au sens de circulation ne modifie pas l'asymétrie. Cette absence d'interaction plaide en faveur d'un ajustement intentionnel puisque, dans le cas où les participants marchent initialement dans le sens des véhicules sur la voie proximale, l'ouverture du pied gauche requiert une rotation du corps et non un simple arrêt du déplacement. Il a été conclu que cette orientation favorise l'observation de la voie proximale, première source de danger dans l'initiation d'une traversée. La stratégie mise en œuvre s'inscrirait donc dans le registre de l'attention visuelle endogène (volontaire) explicite (ajustements corporels), avec une allocation des ressources attentionnelles en des endroits sélectionnés, vers des stimulations pertinentes (Mesulman, 1999). De façon compatible, Averini et al. (2012) considèrent les mouvements de tête des piétons comme de bons indicateurs de l'attention visuelle et cognitive ; les auteurs précisent que les éléments de trafic et autres dangers de la route peuvent se situer au-delà de l'empan oculomoteur (soit environ $\pm 55^\circ$), et leur détection requiert donc des mouvements latéraux vers la cible.

Nous avons suggéré que l'asymétrie du positionnement des pieds est une stratégie qui compenserait les restrictions de rotation cervicale liées au vieillissement, limitations mises en lien avec une augmentation de la cyphose thoracique, une diminution de la lordose cervicale ou l'apparition d'arthrose cervicale (Ilhanli et al., 2016 ; Kuhlman 1993). Par exemple, Doriot et Wang (2006) ont mis en évidence, chez des personnes de 65 à 80 ans, une réduction dans l'amplitude maximale des mouvements articulaires volontaires effectués en position assise. Les mouvements de rotation axiale de la tête/cou (relativement au thorax) et du tronc (relativement au pelvis) figurent parmi ceux qui sont les plus impactés (cou : rotations moyennes comprises entre 50 et 62° pour les seniors versus 75 - 84° pour des adultes de 20 à 35 ans ; tronc : 50-58° versus 61-67°). En comparant des personnes de 70 à 90 ans à des personnes de 20 à 30 ans, Kuhlman (1993) avait constaté 25% de réduction de la rotation du cou en position couchée, soit des proportions assez proches de celles rapportées par Doriot et Wang (2006). Schenkman et al. (1996) ont sollicité des rotations rapides, avec un blocage du pelvis sur une chaise, dans une population divisée en trois groupes d'âges : des jeunes (20 - 40

ans), des seniors jeunes (65 - 74 ans) et plus âgés (75 ans ou plus) ; il est apparu une réduction de la rotation cervicale sous l'effet du vieillissement (moyennes respectives des trois groupes d'âge : 79°, 62° et 49°) mais la différence entre les jeunes et les seniors jeunes n'a pas atteint le seuil de significativité. Des résultats nuancés ont été rapportés par Baird et Van Emmerik (2009) ; ces auteurs ont comparé des jeunes de 22 à 26 ans et des seniors de 65 à 83 ans dans une tâche de pointage de cibles, à l'aide d'un pointeur laser fixé sur la tête ; tous étaient en position debout, pieds fixes, chaque pied sur une plateforme de force dans une position apparemment auto-sélectionnée, et ils devaient regarder par-dessus leur épaule. Même si l'empan total de rotation était similaire pour les jeunes et les seniors (respectivement $138 \pm 2^\circ$ et $137 \pm 1^\circ$), les seniors ont présenté une moindre rotation du segment tête/cou relativement au thorax ($66 \pm 5^\circ$ versus $75 \pm 3^\circ$) et une plus grande rotation du tronc relativement au pelvis ($18 \pm 3^\circ$ versus $14 \pm 2^\circ$) ; la rotation du pelvis n'a pas différé selon le groupe d'âge (jeunes : $49 \pm 4^\circ$; seniors : $52 \pm 7^\circ$). Les auteurs ont conclu que les seniors compensent la réduction de leur rotation de la tête relativement au tronc en augmentant la rotation du tronc relativement au pelvis ; les seniors ont également effectué davantage de flexion des genoux et d'extension du tronc dans cette tâche.

Si de telles données soutiennent notre interprétation biomécanique du fait que des seniors abandonnent parfois le positionnement symétrique adopté par les jeunes, elles ne permettent pas de préciser si les positionnements s'accompagnent d'un ressenti corporel différentiel, susceptible d'influencer en retour le choix de la posture. Les angles de rotation rapportés ci-avant montrent qu'il est peu probable que la surveillance du trafic en bord du trottoir ait conduit les piétons de notre étude jusqu'à leurs limites de rotation, d'autant qu'ils peuvent pour cela combiner les mouvements des yeux, de la tête et du tronc (cf. Baird et Van Emmerik, 2009 ; pour la description d'une coordination - et non une simple addition - des rotations du cou et du tronc lorsque de larges saccades sont requises dans des activités de la vie quotidienne ; voir également. Land, 2004). La question de l'impact du ressenti corporel se pose doublement sachant que celui-ci est possiblement réduit par l'avancée en âge. La presbyopie, soit l'incapacité du système proprioceptif à identifier précisément la position des segments corporels, a été illustrée avec différents protocoles tant sur le plan statique (procédures telles la reproduction différée de la position d'un membre ou la reproduction contralatérale simultanée ; ex. Adamo et al., 2007) que sur le plan dynamique (reproduction de mouvements ; ex. Xu et al., 2004). La presbyopie pourrait ne pas être l'unique conséquence d'une réduction des afférences puisqu'un déficit de traitement cortical a également été rapporté (Pitulainen et al., 2018). L'anticipation d'une traversée pouvant induire un partage des ressources attentionnelles entre les ressentis proprioceptifs et l'exploration visuelle de la rue, il est intéressant de souligner que les déficits proprioceptifs sont particulièrement saillants en situation de double tâche (Boisgontier et al., 2012).

L'objectif de la présente étude conduite en laboratoire est de décrire le ressenti corporel des seniors dans une situation d'orientation vers la gauche pouvant correspondre à celle d'une observation de rue par un piéton. Une approche qualitative et quantitative des ressentis est développée, avec une démarche inspirée d'une procédure d'étude des sensations spontanées manuelles (Michael & Naveteur, 2011) et de l'étude topographique des sensations corporelles de Nummenmaa et al. (2014). Deux positionnements des pieds sont sollicités. L'un correspond à un pattern prototypique observé en bord de rue chez les seniors qui ont présenté le positionnement le plus asymétrique (appelé ci-dessous « position ouverte ») et l'autre correspond à un positionnement plus symétrique (appelé ci-dessous « position fermée »). L'orientation du corps est induite par une tâche de pointage, effectuée sans autre contrainte que le positionnement fixe des pieds. La procédure impose donc une double-tâche puisque la tâche intéroceptive est associée à la tâche de pointage. Il est attendu que le positionnement influence significativement les ressentis, avec une majoration des sensations cervicales en position fermée et davantage de sensations au niveau thoracique en position ouverte. L'impact des positionnements sur la stabilité et le confort sera également évalué. Dans une démarche exploratoire, des liens seront ultimement recherchés entre les ressentis et le comportement auto-rapporté d'exploration des rues avant une traversée.

5.2. Méthode

5.2.1. Participants

Au total, 20 participants prennent part à l'étude soit 10 femmes et 10 hommes¹¹ âgées de 65 à 84 ans ($72,3 \pm 5,2$ ans). Tous résident en milieu urbain, majoritairement à Valenciennes. Les participants sont autonomes dans leur vie quotidienne et leurs déplacements. Le recrutement a été réalisé en deux temps : la recherche de volontaires puis vérification de l'adéquation des profils aux critères d'inclusion et d'exclusion lors d'une rencontre préalable (cf. questionnaire en Annexe 13). Les participants doivent être âgés de 65 ans ou plus et ne doivent pas avoir chuté durant les 6 mois précédents. Les participantes doivent avoir un pied dominant droit, identifié en leur demandant de donner un coup de pied dans une balle imaginaire (3 essais durant lesquels le mouvement doit toujours être effectué avec le pied droit). Le port de prothèse aux hanches ou aux membres inférieurs, la nécessité d'utiliser une aide à la marche, toutes formes de douleurs musculo-squelettiques temporaires ou chroniques donnent aussi lieu à exclusion. Les personnes diabétiques ne sont pas retenues en raison d'une réduction possible de l'intéroception (Lord et al., 1993). Compte tenu des données morphométriques des piétons âgés recrutés en bord de rue, une hauteur de hanche supérieure à 1 m était a priori

¹¹ La variable sexe n'a pas significativement influencé les effets rapportés ci-dessous. En conséquence, ce facteur ne sera plus évoqué.

considérée comme un critère d'exclusion, mais le timing des collectes de données a conduit à assouplir ce critère en acceptant l'inclusion de 3 participants avec une hauteur de hanche de 1,02 m ($1,68 \pm 0,04$). Deux autres femmes ont participé mais n'ont pas été incluses car elles n'ont rapporté aucune sensation.

5.2.2. Matériel

Deux feuilles A3 en format paysage sont utilisées pour chaque participant. Chacune porte des indications permettant de positionner les pieds dans un essai donné. Les deux positionnements des pieds sont issus de l'étude précédente en bord de rue. Concrètement, chaque feuille porte deux marques correspondant à la position des talons : l'écart antéropostérieur est de 3,5 cm. L'écart médio-latéral est de 14 cm en position fermée, ce qui correspond à la valeur moyenne obtenue en bord de rue chez les 8 seniors (dans les collectes C2 ou C3) qui ont présenté une asymétrie inférieure à 3° dans l'orientation des pieds ; l'écart médio-latéral était de 19 cm en position ouverte, ce qui correspond à l'écart moyen des 19 seniors qui ont présenté en bordure de rue une ouverture du pied gauche supérieure ou égale à 20° (avec exclusion d'un participant atteignant ce critère mais avec une asymétrie en faveur du pied droit). À partir de chacune de ces marques, une ligne droite est tracée pour préciser l'orientation que doit prendre chaque pied. Sur la base des données des deux sous-groupes décrit ci-dessus, les angles retenus ont été 11° en position fermée et, en position ouverte, 27° d'ouverture pour le pied gauche et 5° pour le pied droit.

Une autre feuille A3 en format paysage est fixée sur un mur à hauteur des yeux des participants, plus précisément, à 5 m de celui-ci et à 50° à gauche du droit-devant axé sur la base de support. Au milieu de cette feuille est imprimée une ligne verticale de couleur noire d'une largeur de 10 cm qui sert de cible vers laquelle le participant doit s'orienter. Il s'agit d'une orientation qui peut correspondre à l'observation de la voie proximale par un piéton. C'est en l'occurrence celle qui paraît bien adapté dans le contexte représenté sur la Figure 21, à savoir une rue en sens unique rectiligne avec une bonne visibilité située dans le centre-ville d'Anzin. Une photo (format A4) de cette rue est présentée lors des consignes pour contextualiser les essais.



FIGURE 21 : IMAGE DE CONTEXTUALISATION PRÉSENTÉE AVEC LES CONSIGNES

Le matériel comprend également un casque ajustable à la taille de la tête des participants ; ce casque est équipé d'une boussole (en bas à l'arrière) et d'un pointeur laser (à l'avant). Durant les essais, le faisceau doit être orienté vers la cible et la boussole permet de connaître l'angle exact qui est adopté pour ce faire (Figure 22).

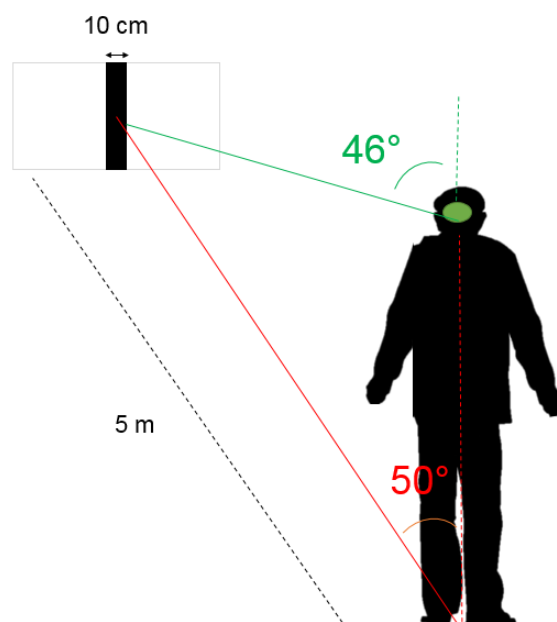


FIGURE 22 : SCHÉMATISATION SPATIALE DE LA TÂCHE DE POINTAGE VERS LA CIBLE

L'angle de 50 ° correspond au positionnement de la cible par rapport au milieu de la base de support et celui du 46° à celui relevé sur la boussole lors que le participant pointait la cible à l'aide du mètre laser.

Enfin, pour chaque essai, une feuille A4 est placée en format paysage sur une planchette à pince. Sur chaque moitié de cette feuille est dessinée une silhouette de corps, face avant à gauche et face arrière à droite. La posture de la silhouette correspond à celle induite par le positionnement des pieds dans l'essai (Figure 23). Un feutre est mis à disposition du participant pour qu'il remplisse la feuille selon les consignes (Cf. 5.2.3. procédure). Le dernier élément matériel est une liste de qualificatifs décrivant des sensations qui est disponible sur une feuille A4 plastifiée (Figure 24).

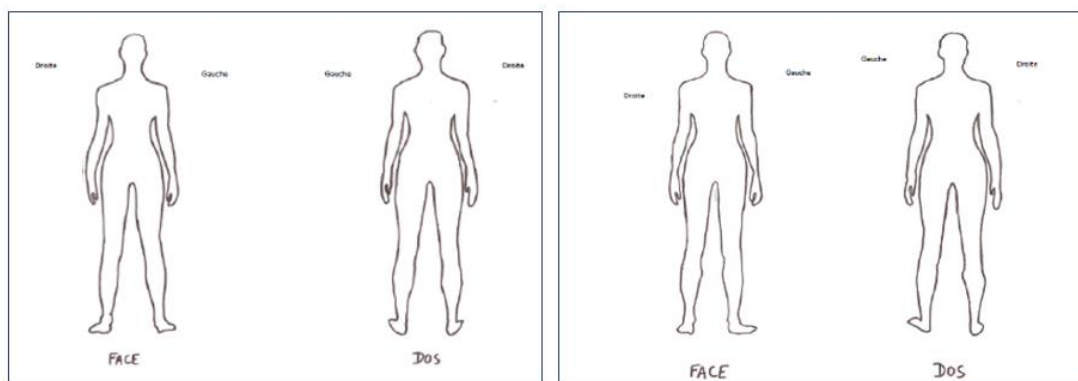


FIGURE 23 : CARTES CORPORELLES

La carte de gauche correspond à la position fermée et celle de droite à la position ouverte.

Réchauffement	Raideur
Refroidissement	Tension
	Tremblement
Picotement	
Engourdissement	Pression
Fourmillement	Pincement
Décharge électrique	Blocage articulaire
Etirement	Lourdeur
Contraction	Pulsation
	Battement

FIGURE 24 : LISTE DES ADJECTIFS PROPOSÉE AUX PARTICIPANTS

5.2.3. Procédure

Lors de la rencontre préalable, il était demandé aux participants de revenir avec leurs chaussures de marche habituelles. Ils étaient également prévenus qu'ils pouvaient reporter le rendez-vous s'ils ne se sentaient pas bien ce jour-là. La session expérimentale se déroule quelques jours après la première rencontre. Les passations sont individuelles. À leur arrivée, les participants sont questionnés sur leur état de santé actuel pour vérifier qu'ils peuvent passer l'expérience dans de bonnes conditions (aucune participante n'a posé de problème à ce niveau). La session débute par la signature d'un formulaire de consentement éclairé, puis les participants complètent un questionnaire sur les habitudes de déplacements, visant notamment à préciser le comportement d'exploration des voies. Ainsi, avec une réponse en 5 points de type « jamais », « rarement », « parfois », « souvent » et « très souvent », les participants doivent traiter les items suivants : « Avant de traverser, vous regardez des deux

côtés de la rue : » et « Avant de traverser, vous regardez : (1) en tournant uniquement la tête, (2) en tournant le haut du corps, et (3) en tournant le corps entier, en adaptant la position de vos pieds » (cf. Annexe 14).

La session inclut deux essais expérimentaux. Pour chaque essai, les participants se placent debout dans la position de pieds définie par la feuille sur laquelle ils se trouvent et ce, sous la supervision de l'expérimentatrice ou expérimentateur. Dans un premier temps, ils regardent droit devant eux puis ils doivent pointer avec le laser la cible située à gauche (cf. matériel). À l'aide de la boussole, l'expérimentatrice prend note de l'angle de la tête (différence entre la position indiquée pour le droit-devant et la position indiquée lorsque le participant pointe la cible). La distance entre le participant et la cible (de 10 cm) étant de 5 m (Figure 22). L'angle moyen obtenu, lors de la vérification en début d'essais était de $46,4 \pm 5,1$ avec une absence de différence selon les positions [$t(38) = 1,10$ $p = 0,280$, d de Cohen = $0,35$].

Pendant que les participants pointent la cible, ils doivent se concentrer sur leurs ressentis corporels. Le temps de fixation de la cible est laissé libre, soit jusqu'à ce que les participants estiment ne plus détecter de nouvelles sensations et en évitant toute sensation de gêne musculo-squelettique. Si les participants ne ressentent rien, il est prévu d'arrêter l'essai au bout de 30 s (seules les 2 participantes non incluses ont été dans ce cas). À l'issue d'un essai, la planchette portant les silhouettes de corps est apportée et les participants doivent colorier chaque zone qui a été source de sensation(s). Pour chaque zone colorée, ils précisent le type de sensation (la liste de qualificatifs est fournie à titre indicatif mais les participants sont libres d'utiliser d'autres termes) ainsi que son intensité sur échelle allant de 1 « peu de sensation » à 10 « beaucoup de sensation ». À la fin de l'essai, l'expérimentatrice pose ensuite des questions pour préciser le ressenti global en termes de stabilité. Le sujet est initialement abordé sur une échelle en trois points « plutôt stable » ou « plutôt instable » ou « ni l'un ni l'autre » ; si la réponse du participant est orientée, l'expérimentatrice demande ensuite une quantification plus fine au moyen d'une échelle allant de 1 « peu de stabilité/instabilité » à 10 « beaucoup de stabilité/instabilité ». La même quantification est utilisée pour évaluer le confort / inconfort (cf. Annexe 15).

La moitié des participants de chaque sexe commence par l'essai en position ouverte et l'autre en position fermée. Entre les deux essais, les participants sont incités à se déplacer et bouger un peu afin de se détendre. À la fin de l'expérimentation, les participants indiquent si leur position d'attente en bord de rue ressemble plus à la position ouverte ou à la position fermée. Ils sont ensuite invités à commenter librement l'expérimentation et ils reçoivent davantage d'information sur ses objectifs. La durée d'une session complète est d'environ vingt minutes par participant.

5.2.4. Analyses statistiques

La coloration des silhouettes a été traitée sur la base d'une distinction en 4 zones : tête et cou (sachant que dans ce cas, les sensations sont majoritairement localisées au niveau du cou), membres supérieurs, tronc et membres inférieurs. Pour les items relatifs au comportement exploratoire en bord de rue, l'échelle fréquentielle ordinale en une échelle d'intervalle en 5 points.

Les variables dépendantes qui suivent une loi normale (test de Shapiro Wilk) sont : le confort en position fermée, l'intensité des sensations au niveau tête/cou en position ouverte et fermée ainsi que l'intensité des sensations au niveau du tronc en position ouverte.

Les quatre zones sont initialement comparées à l'aide d'une ANOVA de Friedman, puis l'incidence de la position dans chacune des zones est analysée à l'aide d'un T de Wilcoxon renvoyant à une valeur Z, compte tenu d'une taille d'effectif supérieure à 15. Concernant l'intensité des sensations, il est ensuite procédé à une ANOVA paramétrique incluant les facteurs intra-sujets ZONE (tête versus tronc) et POSITION (ouverte versus fermée). L'influence de la POSITION sur scores de stabilité et de confort est testée à l'aide du U de Mann – Whitney. Le rho de Spearman est utilisé pour tester les corrélations. Les tableaux de contingence sont analysés à l'aide d'un Chi carré ou d'un test de Fischer en cas de petits effectifs de cellule ($n < 5$),

5.3. Résultats

5.3.1. Type de sensations

Pour décrire leurs sensations, les participants ont employé 8 des 17 descripteurs proposés, dont 5 sont plus directement en lien avec l'activité du système musculo-squelettique (« torsion », « contraction », « étirement », « tension » et « raideur ») que les 3 autres (« fourmillement », « réchauffement » et « engourdissement »). Le nombre de descripteurs employés dans une même ZONE varie entre 0 et 3 lors d'un même essai. Une ANOVA de Friedman montre que, toutes positions confondues, le nombre de descripteurs utilisés au cours d'un même essai varie en fonction de la ZONE [ANOVA du $\chi^2(N=20, ddl=3) = 9,35, p = 0,025$; position fermée : ANOVA du $\chi^2(N=20, ddl=3) = 9,57, p = 0,023$; position ouverte : ANOVA du $\chi^2(N=20, ddl=3) = 7,54, p = 0,057$] : chaque participant utilise plus de descripteurs différents au niveau tête/cou qu'au niveau des membres supérieurs [$Z = 2,69, p = 0,007$; tête/cou versus tronc : $Z = 1,49, p = 0,136$; tête/cou versus membres inférieurs : $Z = 1,91, p = 0,056$; les autres zones ne diffèrent pas entre elles : tous les $p > 0,084$]. Comme le montre la Figure 25, les sensations rapportées au niveau tête/cou sont principalement « étirement », « tension » et « raideur », avec 10 occurrences ou plus chacune. La sensation « étirement » prévaut au niveau du tronc.

Les fourmillements caractérisent les membres supérieurs (principalement au niveau des mains, avec quelques colorations s'étendant sur les poignets). Sur les membres inférieurs, les descripteurs sont plus diversifiés (7 des 8 items sont utilisés) mais aucun n'est fréquemment utilisé.

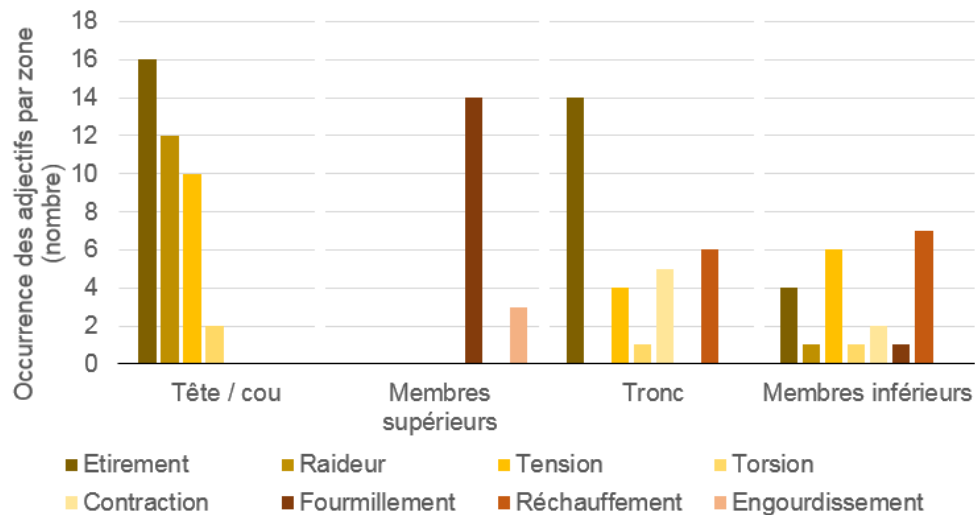


FIGURE 25 : NOMBRE TOTAL D'OCCURRENCE DE CHAQUE DESCRIPTEUR DANS CHACUNE DES 4 ZONES CORPORELLES

Globalement, le nombre de descripteurs différents rapportés dans un essai n'est pas significativement influencé par la POSITION [$Z = 0,178$, $p = 0,859$]. La Figure 26a illustre le nombre total d'occurrence de chaque descripteur selon la POSITION. Une représentation croisée regroupant les sensations musculo-squelettiques et les autres sensations (Figure 26b), suggère l'occurrence de sensiblement plus de sensations musculo-squelettiques en position fermée alors que les autres sensations semblent prévaloir en position ouverte mais cette conclusion n'est pas soutenue statistiquement [$\chi^2(1) = 3,392$, $p = 0,122$]. Une analyse de l'occurrence de l'ensemble des sensations musculo-squelettiques en fonction à la fois de la POSITION et de la ZONE (tête/cou versus tronc) ne produit pas de résultat significatif [$\chi^2(1) = 1,26$, $p = 0,262$], mais l'analyse de la distribution de chacune des cinq sensations musculo-squelettique selon la position suggère une distribution non aléatoire, majoritairement explicable une surreprésentation de « tension » en position fermée [Fischer 2*5 : $p < 0,001$].

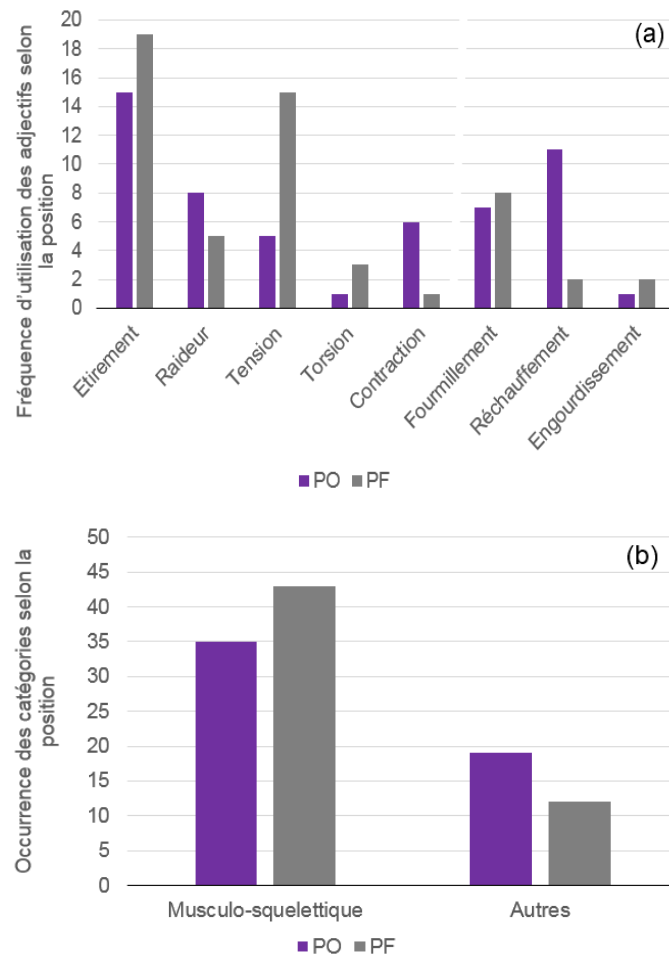


FIGURE 26. NOMBRE TOTAL D'OCCURRENCE DE CHAQUE DESCRIPTEUR EN POSITION OUVERTE (PO) ET EN POSITION FERMÉE (PF)

(b) Les ressentis musculo-squelettiques correspondent à « étirement », « raideur », « tension », « torsion » et « contraction » et les autres correspondent à « fourmillement », « réchauffement » et « engourdissement ».

5.3.2. Intensité des sensations

Une ANOVA de Friedman sur le facteur ZONE montre que, toutes positions confondues, l'intensité des sensations ne dépend pas significativement de la ZONE [ANOVA du $\chi^2(N = 20, ddl = 3) = 6,00, p = 0,111$]. En revanche, un résultat significatif est produit par l'analyse restreinte à la position fermée [ANOVA du $\chi^2(N = 20, ddl = 3) = 13,52, p = 0,004$; position ouverte : ANOVA du $\chi^2(N = 20, ddl = 3) = 4,38, p = 0,223$]. En position fermée, les sensations sont significativement plus intenses au niveau tête/cou qu'au niveau du tronc ou des membres inférieurs [respectivement, $Z = 3,22, p = 0,001$ et $Z = 2,66, p = 0,008$; les différences avec les membres supérieurs n'atteignent pas le seuil de significativité [tous les $p > 0,07$].

La comparaison des POSITIONS fermée et ouverte atteint le seuil de significativité pour la zone tête/cou [$Z = 3,01, p = 0,003$] et pour le tronc [$Z = 2,76, p = 0,006$; membres supérieurs : $Z =$

0,52, $p = 0,600$; membres inférieurs : $Z = 0,93$, $p = 0,353$], avec des sensations plus intenses en position fermée au niveau tête/cou et en position ouverte au niveau du tronc. Une ANOVA paramétrique incluant les facteurs POSITION (ouverte, fermée) et ZONE (tête/cou et tronc, uniquement ; données normales) étaye cette conclusion par une interaction significative ZONE x POSITION [$F(1, 19) = 23,44$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,55$, Figure 27] qui module l'effet principal de la ZONE [$F(1, 19) = 5,15$, $p = 0,035$, $\eta_p^2 = 0,21$] ; les comparaisons partielles sont significatives à l'exception de la comparaison tête/cou versus tronc en position ouverte [$p = 0,664$] : tête versus tronc en position fermée [$p < 0,001$], tête en position ouverte versus position fermée [$p < 0,001$], tronc en position ouverte versus position fermée [$p = 0,007$].

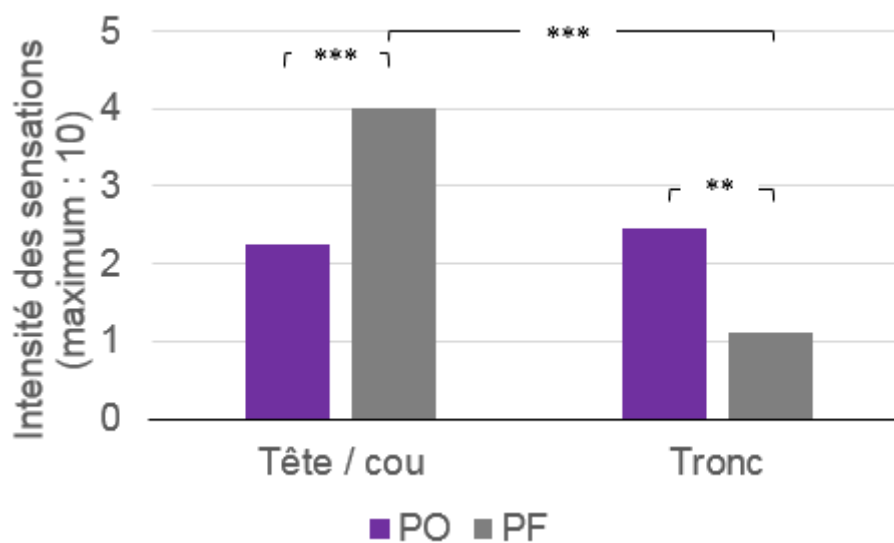


FIGURE 27 : INTENSITÉ DES SENSATIONS AUX NIVEAUX TÊTE / COU ET TRONC EN EN POSITION OUVERTE (PO) ET EN POSITION FERMÉE (PF)

Not : ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$

5.3.3. Stabilité et confort

La POSITION influence significativement les scores de stabilité [$Z = 2,64$, $p = 0,008$] : les participants se sentent plus stables en position ouverte qu'en position fermée, position dans ils sont d'ailleurs plus nombreux à se déclarer instables (Figure 28). Une tendance, de même sens, est obtenue pour le score de confort [$Z = 1,72$, $p = 0,085$]. Les scores de confort et de stabilité sont significativement reliés en position fermée [$\rho(18) = 0,487$, $p < 0,05$] mais pas en position « ouverte » [$\rho(18) = 0,345$, ns].

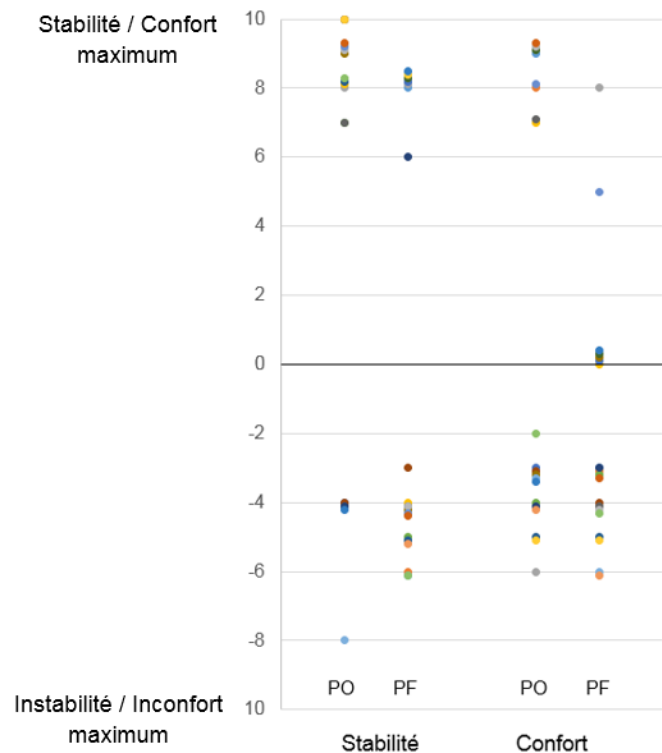


FIGURE 28 : SENSATION DE STABILITÉ ET DE CONFORT POUR CHACUN DES PARTICIPANTS EN POSITION OUVERTE (PO) ET EN POSITION FERMÉE (PF)

5.3.4. Ressentis et comportement auto-rapporté d'exploration des voies de circulation

Le lien supposé entre les ressentis au niveau du cou et le comportement piétonnier se confirme pour la fréquence auto-rapportée d'observation des deux voies avant une traversée. Seules les réponses « souvent » et « très souvent » ayant été fournies, il est possible de constituer deux groupes a posteriori sur la base de cette dichotomie, avec un effectif respectif de 9 et 11 participants. Une ANOVA incluant ce facteur de groupe et POSITION (ouverte, fermée) en tant que facteur intra-sujet, retrouve l'effet de la POSITION [$F(1, 18) = 19,91, p < 0,001, \eta_p^2 = 0,53$; cf. ci-avant] et révèle un effet significatif du GROUPE [$F(1, 18) = 9,46, p = 0,007, \eta_p^2 = 0,34$] : ceux qui ont répondu regarder « souvent » les deux voies rapportent des sensations significativement plus intenses au niveau tête/cou que ceux qui ont répondu « très souvent ». L'interaction entre les deux facteurs n'est pas significative [$F(1, 18) = 1,72, p = 0,206, \eta_p^2 = 0,08$]. La Figure 29 résume ces données.

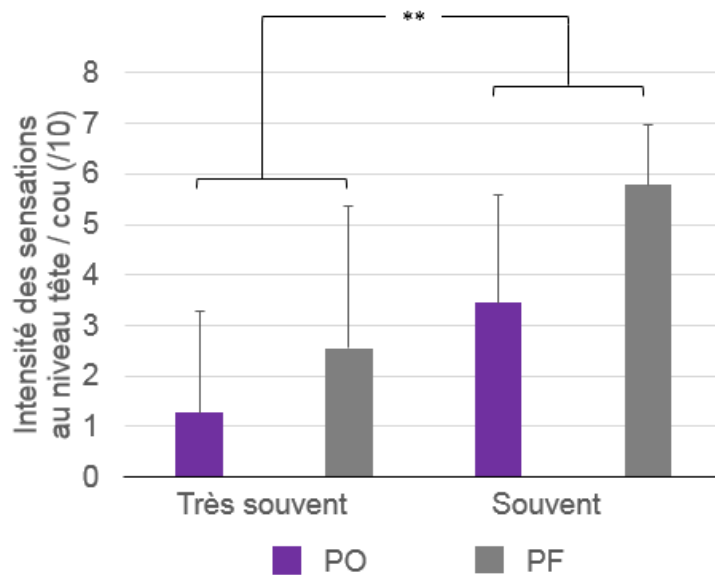


FIGURE 29. INTENSITÉ DES SENSATIONS AU NIVEAU DU COU EN POSITION OUVERTE (PO) ET EN POSITION FERMÉE (PF) SELON LA FRÉQUENCE AUTO-RAPPORTÉE D'OBSERVATION DES DEUX VOIES AVANT UNE TRAVERSÉE DE RUE

Note : ** : $p < 0,01$.

Les items visant à préciser les postures préférentiellement adoptées lors de comportements exploratoires en bord de rue (rotation de la tête, du tronc ou du corps entier) ont fait l'objet d'une analyse corrélacionnelle. Il était attendu que les participants rapportant le plus de sensation au niveau du cou en position fermée déclarent adopter moins fréquemment une posture exploratoire impliquant la rotation de ce segment et davantage les deux autres postures mais aucun des trois coefficients n'atteint le seuil de significativité [les valeurs de rho sont respectivement -0,132, 0,178 et -0,185, tous les $p > 0,58$]. De façon générale, les réponses concernant la fréquence d'adoption de chacune des trois postures d'exploration des voies sont significativement différentes [ANOVA du $\chi^2(N = 20, ddl = 2) = 9,67, p = 0,008$] : la rotation « corps entier » est décrite comme moins fréquente que les deux autres [corps entier versus rotation de la tête : $Z = 2,61, p = 0,009$; corps entier versus rotation du tronc : $Z = 2,13, p = 0,033$] qui ne diffèrent pas entre elles [$Z = 1,07, p = 0,286$]. Enfin, lorsqu'ils doivent indiquer à l'issue des deux essais expérimentaux, si la position qu'ils adoptent le plus souvent avant de traverser ressemble davantage à la position fermée ou ouverte, 9 participants privilégient la position fermée et 11 la position ouverte [45,0 % $|Z| = 0,45 < 1,96, p = 0,655$].

5.4. Discussion

Lorsqu'ils ont adopté des postures correspondant à celles prises en bord de rue par des piétons de leur classe d'âge, la grande majorité des seniors qui ont participé à la présente recherche a rapporté des sensations corporelles. Sans aucune difficulté, ils ont été en mesure de les dénommer, de les localiser et de préciser leur intensité. Ce constat n'exclut pas une possible

presbyopie (Adamo et al., 2007 ; Boisgontier et al., 2012 ; Pitulainen et al., 2018 ; Xu et al., 2004), à laquelle peut s'ajouter une réduction de la sensibilité de la plante des pieds (Cruz-Almeida et al., 2014), mais il en relativise l'impact.

Les hypothèses concernaient principalement le cou et le tronc, mais l'approche globale sur la base d'une silhouette corporelle à l'avantage de ne pas orienter intentionnellement l'attention des participants sur ces deux régions. Ce faisant, il a été possible de constater que les membres supérieurs, et en particulier les mains, sont source de sensations dont surtout des fourmillements. Ces ressentis ont été fréquemment rapportés dans les études intéroceptives des mains (Michael and Naveteur, 2011 ; Michael et al., 2012 ; Michael et al., 2015 ; Naveteur et al., 2015) ; ils pourraient avoir une origine autant centrale que périphérique et contribueraient à délimiter les frontières corporelles. Dans ces études, seules les mains étaient prises en compte et l'émergence des sensations était potentialisée par la focalisation de l'attention sur la main testée. Les présents résultats montrent toutefois que ces sensations, tout autant que les sensations musculo-squelettiques, peuvent émerger dans le champ de conscience alors que l'attention se déplace librement sur l'ensemble du corps et qu'elle doit se diviser entre la tâche sensorielle et la tâche de pointage.

Comme attendu, les sensations qui ont été affectées par le positionnement concernent principalement le segment tête/cou et le tronc. Il s'agit surtout de sensations musculo-squelettiques : « étirement », « tension » et « raideur » principalement au niveau du cou et « étirement » au niveau du tronc. Outre le fait que les sensations différentes rapportées par une même personne ont été plus nombreuses au niveau cou, les analyses quantitatives sont peu concluantes à l'exception d'une prévalence globale de « tension » en position fermée. En outre, au niveau tête/cou, les sensations musculo-squelettiques sont plus intenses en position fermée qu'en position ouverte, alors que l'effet inverse émerge au niveau du tronc. Les ressentis suggèrent donc que la position ouverte réduit la rotation du cou au prix d'une augmentation de la rotation du tronc. Cette interprétation demande à être confirmée par des enregistrements directs des rotations de ces segments corporels et leur mise en lien avec les ressentis dans les deux positionnements ; il serait également intéressant de disposer des valeurs individuelles maximales de rotations en tant que possible covariable. Il semble toutefois légitime de penser que (1) l'orientation demandée dans la présente étude n'impose pas des rotations maximales, d'autant que la présence de sensations du tronc en position fermée suggère une certaine rotation de ce segment (cf. Baird et Van Emmerik, 2009), et (2) les ressentis musculo-squelettiques s'intensifient progressivement quand la rotation s'accroît. Ces données seraient donc en accord avec l'idée que les piétons seniors en bord de rue compensent leur moindre rotation de tête relativement au tronc en augmentant la rotation du tronc relativement au pelvis (Baird et Van Emmerik, 2009). Les sensations au niveau du tronc en

position ouverte n'atteignent toutefois pas l'intensité de celles du cou en position fermée. Ceci pourrait contribuer au fait que plus d'inconfort (ou pour certains moins de confort) émerge tendanciellement en position fermée comparativement à la position ouverte mais l'approche corrélationnelle ne soutient pas cette idée ; un manque de puissance pourrait être suspecté ou encore le fait que les sensations aux zones en rotation ne sont pas l'unique source de confort/inconfort. Ainsi, l'instabilité majorée en position fermée par réduction de la taille du polygone de sustentation, contribuerait aussi à l'inconfort, la corrélation positive entre ces deux facteurs pouvant être interprétée en ce sens.

Si le positionnement asymétrique (ouverture accentuée du pied gauche) est celui qui a prévalu en bord de rue, des seniors amenés à prendre cette position en laboratoire mais aussi une position plus symétrique (également observée in situ, mais moins souvent) sont quasiment moitié à déclarer adopter préférentiellement l'une ou préférentiellement l'autre. Interrogés sur leur positionnement en bord de rue, ces participants décrivent la position impliquant une rotation du « corps entier » comme étant celle qu'ils prennent le moins fréquemment lorsqu'ils explorent visuellement les voies de circulation. Il y a là d'évidentes contradictions avec les observations in situ et les données de sensorimétriques. Une explication serait l'ambiguïté de la question portant sur la rotation « corps entier » qui évoquerait une position non perpendiculaire au bord de rue pour les deux pieds et évitant toute rotation (du cou et du tronc). Cette position n'apparaissant quasiment jamais dans nos données en bord de rue¹², ces réponses refléteraient bien la réalité. Une autre explication est que, par manque d'actualisation des modèles internes de l'action (cf. Chapitre 4), certains participants ne tiennent pas compte des restrictions de la rotation du cou ou des ajustements compensatoires qu'ils développent. Cette interprétation semble toutefois contredite par le fait qu'une exploration moins systématique des voies avant de traverser est rapportée par ceux dont sensations cervicales sont plus intenses¹³.

5.4.1. Limites de l'étude

Cette recherche rencontre plusieurs limites, outre celles déjà évoquées ci-avant. Même si l'attention est partagée et diffuse, les participants savaient a priori qu'ils allaient être questionnés sur leurs sensations corporelles, ce qui a possiblement majoré les ressentis. Pour cette même raison, le maintien en position fixe de l'orientation vers la cible a sans doute été plus long que ce que feraient des piétons avant de traverser. L'absence de données temporelles est une autre réserve. La durée du maintien des orientations était laissée libre pour ne pas

¹² Deux cas sur les trois collectes avec toutefois une asymétrie en faveur du pied gauche de respectivement 18° et 28°.

¹³ Le fait que seules les réponses « souvent » et « très souvent » soient choisies n'a rien de surprenant, tant pour des raisons sécuritaires (cf. la description des seniors comme des piétons prudents) que pour des raisons de désirabilité sociale.

contraindre les participants à prolonger une posture qui deviendrait par trop inconfortable. Il était prévu de pouvoir récupérer cette durée en filmant la feuille sur laquelle est dirigé le faisceau laser mais un problème technique n'a pas permis de récupérer ce matériel.

5.4.2. Conclusion

En conclusion, cette étude est exploratoire. Si elle apporte des résultats compatibles avec l'idée que les ressentis corporels pourraient influencer sur les postures que prennent les piétons seniors en bord de rue, elle n'en apporte pas pour autant une démonstration à toute épreuve. Elle mérite d'être répliquée avec un dispositif de capture de mouvement pour recueillir de façon précise à la fois les données de rotations effectives et les paramètres temporels. Les difficultés de recrutement de personnes âgées s'intensifient toutefois quand l'étude impose de se dévêtir, et un environnement hospitalier serait donc souhaitable. Un recueil de données complémentaires est aussi prévu chez des jeunes, avec possiblement l'angle de fixation initial mais aussi un angle rapporté à leur propre orientation maximale ; les comparaisons intergroupes permettraient notamment de tester un possible effet de presbyopie.

6. SURVENUE LATÉRALE D'UNE STIMULATION ÉMOTIONNELLE LORS DE L'INITIATION DE LA MARCHE

Ce chapitre comprend deux études expérimentales réalisées en laboratoire. Elles s'intéressent, toutes deux, à l'impact de la survenue latérale d'une stimulation émotionnelle sur le déplacement du corps lors de l'initiation de la marche. Le contexte appliqué est celui de la traversée de rue, avec la découverte tardive d'un véhicule à l'approche. La première étude est focalisée sur le déplacement des pieds. Pour tester un effet potentiel du vieillissement, elle inclut un groupe de jeunes étudiantes et un groupe de seniors actives. La deuxième étude met à l'épreuve les résultats de la précédente ; son objectif initial est de savoir si les déviations observées au niveau du placement des pieds s'accompagnent d'ajustements d'autres segments corporels. Elle inclut uniquement une population jeune.

La première étude a été valorisée dans une présentation orale :

Caffier D, Gillet C, Heurley L & Naveteur J (2015) Incidence de la survenue de stimulations émotionnelles sur la dynamique d'initiation d'une traversée de rue chez le piéton âgé. In N. Bonnardel, L. Pellegrin & H. Chaudet (Eds). Actes du Huitième colloque de psychologie ergonomique EPIQUE 2015, Paris : Arpege science Publishing, Aix en Provence, pp. 367-372, juillet.

et dans une publication :

Caffier, D., Gillet, C., Heurley, L. P., Bourrelly, A., Barbier, F., & Naveteur, J. (2017). Initiation of forward gait with lateral occurrence of emotional stimuli: general findings and relevance for pedestrians crossing roads. *Experimental brain research*, 235(3), 777-785. [IF=2.057].

6.1. Introduction

Le lien entre l'action et les émotions est une thématique centrale en Psychologie. Les études initiales ont concerné des mouvements segmentaires des membres supérieurs, essentiellement des temps de réaction manuelle qui, pour des raisons de concision, ne sont pas détaillés dans le cadre de ce mémoire (le lecteur pourra se référer à la revue de synthèse de Phaf et al., 2014). Ce lien action-émotion est aussi de plus en plus souvent abordé sur le corps entier, notamment sur la marche (ajustements posturaux anticipatoires, initiation de la marche, modification de trajectoire, changement de rythme), créant un rapprochement avec les Sciences du mouvement, dont la Biomécanique. Notre travail s'inscrit dans ce courant.

Les émotions correspondent à une réaction comportementale, physiologique et subjective à une stimulation. L'évaluation des émotions comprend classiquement trois composantes distinctes : (1) une composante physiologique essentiellement liée à l'activation des systèmes endocriniens et nerveux végétatif, (2) une composante subjective, soit l'évaluation que le sujet

fait de son propre état émotionnel et (3) une composante expressive et comportementale qui représente les expressions faciales, les modifications de posture et la tonalité de la voix. Pour évaluer la composante physiologique de l'émotion, les scientifiques se basent sur les indices mesurables tels que la réponse électrodermale, la fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire ou l'électroencéphalographie. L'évaluation de la composante subjective est faite à partir d'échelles d'auto-évaluation. De manière consciente, l'individu va donc évaluer ses ressentis. Dans les approches factorielles, trois dimensions indépendantes et bipolaires peuvent être quantifiées : la valence (plaisir / déplaisir), l'activation (intensité) et la dominance (je domine / je suis dominé). La mesure des émotions discrètes (approche catégorielle) se fait en présentant à l'individu des labels émotionnels (adjectifs ou phrases) et il devra évaluer, à l'aide d'échelles, le degré avec lequel il ressent l'émotion proposée. Les deux principales échelles émotionnelles sont la SAM (Self –Assessment Manikin de Bradley et Lang, 1994 ; échelle non-verbale des trois dimensions émotionnelles) et la PANAS (Positive and Negative Affect Scale de Watson et al., 1988 ; échelle discrète de 20 mots positifs ou négatifs où l'individu doit juger à quel point il ressent l'émotion auquel le mot présenté fait référence). Les approches de la composante comportementale sont diverses.

Les émotions vont stimuler des comportements différents selon leur valence (positive ou négative). L'étymologie « e movere » marque le lien étroit entre les émotions et l'action, dans un but soit d'approche (comportement de consommation ou d'attaque), soit de retrait (fuite, d'échappement ou d'évitement). La perception d'une stimulation appétitive active un comportement d'approche alors que la perception d'une menace active soit un système de retrait (Davidson, 1992), soit un système d'inhibition comportementale (Gray et McNaughton, 2003). Le comportement d'approche ou de retrait est décrit comme une régulation qui a pour fonction de diminuer ou d'augmenter la distance entre l'individu et l'emplacement de la stimulation émotionnelle (cf. Eder et Rothermund, 2008 ; Koch et al., 2009). Selon Frijda (2009), la volonté d'agir est au cœur des processus émotionnels. La phénoménologie de l'expérience émotionnelle varie selon le niveau de conscience et selon la direction et le mode d'attention. Si un événement est évalué comme pertinent en lien avec un objectif important, l'émotion donne la priorité aux actions dictées par la stimulation (urgence) et elle peut interrompre ou compléter une action en cours. En référence à Hull (1943), c'est essentiellement à la fonction directionnelle (gouvernail du comportement) de la motivation qu'il est fait référence ici, plutôt qu'à la fonction énergisante (moteur du comportement).

Des études ont sollicité des mouvements des membres inférieurs en lien avec des déplacements allant de la simple initiation de la marche à une classification des stimulations (agréables contre désagréables) grâce à des pas en avant ou en arrière (cf. Annexe 17 ; Gélat et al., 2011 ; Stins et Beek, 2011; Stins et al., 2011, 2014, 2015 ; Fawver et al., 2014 ; Bouman et al., 2015;

Yiou et al., 2014 ; Gélât and Chapus, 2015). Ces procédures soutiennent l'idée que les stimulations appétitives (agréables) favorisent le mouvement vers l'avant alors que les stimulations aversives (désagréables) favorisent le mouvement vers l'arrière ou une immobilisation (comportement de « freezing »). En revanche, les démonstrations sont moins probantes pour les ajustements posturaux anticipatoires (APA). Les paragraphes suivants résument notre analyse de l'ensemble de ces recherches en fonction des différentes variables dépendantes.

Dans ce contexte, le **temps de réaction** (TR) est défini comme le délai entre le déclenchement du mouvement et un changement perçu au niveau du centre de pression ou du centre de masse. Lorsque seul un pas vers l'avant est requis suite à la survenue d'une stimulation, le TR se révèle plus court pour les stimulations visuelles agréables que pour les stimulations désagréables (Gélât et al., 2011 ; Stins et Beek, 2011; Stins et al., 2011, 2014, 2015 ; Yiou et al., 2014 ; Gélât et Chapus, 2015). L'approche des stimulations agréable serait donc favorisée.

En ce qui concerne l'exécution du pas lui-même, les auteurs ont principalement mesuré la **longueur du pas**. Moins de résultats significatifs ont été rapportés (Stins et al., 2015 ; Fawver et al., 2014 ; Bouman et al., 2015). Il est donc suggéré que lorsque le pas a été lancé, l'action est réalisée de manière stéréotypée et ne peut donc plus être influencée par des stimulations (Stins et al., 2011 ; Yiou et al., 2014). D'autres explications sont toutefois envisageables. En effet, des influences opposées pourraient être soupçonnées et s'annuler en cas de contenu négatif (désagréable). Ainsi, un contenu provoquant de la colère (si elle est associée à une tendance agressive ; Fawver et al., 2014) ou un contenu provoquant une curiosité morbide (cas pour des images de mutilation ; Hare et al., 1970) pourraient induire un comportement d'approche. Dans le cas de stimulations menaçantes, l'idée d'influences opposées est moins probable. En effet, Fawver et al. (2015), décrivent alors un recul du centre de pression (COP) qui provoquerait plutôt du retrait (déplacement antéropostérieur vers l'arrière). On peut donc penser que la longueur du pas n'est pas forcément le paramètre optimal pour mettre en évidence une tendance au retrait si les participants doivent réaliser uniquement un pas vers l'avant. Au mieux, peut-elle mettre en évidence une propension au freezing face à une stimulation désagréable ? Des procédures où le participant peut choisir entre un pas avant ou un pas arrière selon la stimulation (agréable ou désagréable) seraient donc a priori plus pertinentes. Or, elles ne montrent pas d'effet significatif (Stins et al., 2011; Stins et Beek, 2011; Yiou et al., 2014). Le manque de significativité pourrait être lié à une différence de modèles d'activation pour une marche vers l'avant et pour une marche vers l'arrière (Thorstensson 1986; Grasso et al., 1998). En effet, le postulat qui soutient les études incluant des pas vers l'avant et vers l'arrière est que le pas vers l'arrière se réalise comme une copie inversée des patterns moteurs du pas vers l'avant (Grillner et al., 1995), avec un changement de signe du

couplage de phase entre les réseaux locomoteurs spinaux unitaires contrôlant les différentes articulations du membre inférieur (Grillner, 1981). Or, chez l'Homme, pour une marche vers l'arrière, les changements d'angle de la hanche ont effectivement tendance à être inversés, mais les changements d'angle du genou et de la cheville ne le sont pas (Thorensen, 1986 ; Vilensky et al., 1989). De plus, la marche vers l'avant est la plus utilisée pour se déplacer alors qu'en cas de réaction à une stimulation menaçante, l'option de se retourner pour fuir est tout aussi probable que celle de reculer. La complexité du choix de réponse pourrait également réduire la réaction émotionnelle elle-même (majoration d'une intellectualisation au détriment des aspects plus réactifs ; cf. Schachter et Singer, 1962). Si tel est le cas, des procédures moins exigeantes cognitivement pourraient être plus puissantes.

La **vitesse des pas** est également une variable dépendante possible. Dans l'étude de Naugle et al. (2010), les participants devaient se déplacer vers l'avant et des images étaient projetées face à eux alors qu'ils avançaient. Les auteurs ont analysé les deux pas qui suivaient l'apparition de l'image en comparant différentes catégories émotionnelles à la catégorie neutre. Lors de la projection d'images érotiques, les participants réalisaient des pas plus grands (augmentation de la longueur du pas ; cf. ci-avant) et la vitesse de leurs pas était similaire à la vitesse de ceux produits lors de la projection d'images négatives (mutilation et contamination). Aucune réponse spontanée vers l'arrière n'a été observée, ce qui peut renvoyer à la complexité plus grande du retrait, comme souligné antérieurement.

Le point commun entre toutes les études citées précédemment est que l'image était toujours présentée face aux participants. Or, dans des situations écologiques, les événements menaçants peuvent tout aussi souvent, sinon plus, survenir latéralement. Dans notre contexte appliqué aux piétons traversant une rue, les stimulations les plus dangereuses sont les véhicules qui sont incontestablement susceptibles d'apparaître le plus souvent latéralement que frontalement. En outre, dans des situations d'urgences caractérisées par l'approche d'un véhicule, l'option de se retourner pour fuir (tel face à un prédateur) peut sembler moins adaptée. Si le comportement lié aux émotions est une fonction de régulation de la distance (cf. Eder et Rothermund, 2008), il est donc possible que la réaction d'évitement induite par ces stimulations latérales produise un décalage médio-latéral du piéton afin d'augmenter la distance entre lui-même et le véhicule. Dans ce contexte, les piétons âgés peuvent-ils présenter des réactions spécifiques ? Les seniors se caractérisent par une adaptation motrice avec une longueur de pas réduite et un temps de double appui plus long (cf. Chapitre 2) pour une marche plus stable. Ces derniers présentent souvent un déficit dans le contrôle latéral de la stabilité et dans leur largeur de pas liés à un risque de chute accru (Maki 1997, 2000 ; Hilliard et al., 2008 ; Menant et al., 2009). Par conséquent, l'apparition d'un véhicule sur la voie proximale pourrait induire un risque accru de chute chez les piétons âgés. Dans ce cas, ils augmenteraient

également leur risque d'être percuté par un véhicule. Les seniors étant considérés comme un groupe d'usagers de la route vulnérables (Tournier et al., 2016 ; cf. Chapitre 1 et 2), ce facteur de risque potentiel mérite d'être étudié.

6.2. Étude 1

Le but de cette expérimentation est donc d'étendre les connaissances relatives à l'influence des stimulations menaçantes sur la marche en explorant l'impact de l'apparition latérale de ces stimulations chez des participantes jeunes et seniors. La traversée de rue semble être un contexte appliqué pertinent au vu de l'objectif. Les stimulations présentées sont (1) des images de circulation routière potentiellement dangereuses (véhicules à l'approche), (2) des images émotionnelles négatives provenant de l'International Affective Picture System (IAPS ; Lang et al., 2005), insérées pour faciliter la comparaison avec les travaux antérieurs et pour fournir des repères sur les stimulations utilisées (toutes les images de l'IAPS étant notamment validées en termes de valence et d'intensité¹⁴, et (3) des images de contrôle non menaçantes. Chaque image est présentée sur la gauche afin de simuler la voie proximale de la route dans le cas des images de véhicules à l'approche. Pour simuler la découverte tardive d'un danger, les diapositives apparaissent une fois l'initiation commencée (levée du talon du premier pas). Pour les images présentant des véhicules, nous modélisons donc le cas d'un piéton qui aurait omis de regarder la route avant d'initier la traversée mais le ferait juste ensuite, découvrant alors tardivement la présence d'un véhicule sur la voie proximale. Ce choix de paradigme est également crucial dans le sens où il permet de tester l'hypothèse qu'un pas lancé puisse être modulé par les émotions une fois initié. Comme énoncé ci-dessous, cette hypothèse est a priori contraire aux conclusions de la littérature supposant qu'une marche initiée n'était plus modulée. En revanche, elle paraît justifiée sur le plan adaptatif (Frijda, 2009). L'hypothèse principale est que la régulation émotionnelle de la distance concerne le décalage médio-latéral de la position des pieds, qui influence sur la distance entre la participante et la stimulation. À cet égard, la longueur du pas semble moins pertinente et devrait en l'occurrence ne pas être impactée. L'impact des décalages médio-latéraux sur la base de support (BS ; distance médio-latérale qui sépare les deux pieds) a été étudiée car il pourrait expliquer un risque de chute plus élevé pour les participantes âgées. En ce qui concerne la vitesse d'exécution du pas, aucune hypothèse n'a été posée concernant les catégories émotionnelles puisque ce paramètre ne module pas la distance entre la participante et l'image contrairement à ce qui se passe lors d'une survenue frontale (Naugle et al., 2011 ; Stins et al., 2011, 2015 ; Fawver et al., 2014 ; Yiou et al., 2014).

¹⁴ Le terme « arousal » est utilisé par les auteurs mais sa traduction française (éveil, excitation) ne rend pas compte du concept ; en référence à Pribram et McGuinness (1975), « arousal » qualifie une augmentation de la vigilance induite par une stimulation (exogène) ; le concept d'arousal contraste avec le concept d'activation réservé à des augmentations de vigilance induites par l'individu lui-même (variations endogènes). Le terme « intensité » est préféré ici pour éviter les ambiguïtés, sachant que c'est effectivement la dimension intensive des émotions induites qui est ciblée.

6.2.1. Méthode

6.2.1.1. Participants

Au total, 36 participantes prennent part à l'étude : 18 femmes âgées de 60 à 81 ans ($69,0 \pm 5,4$ ans) forment le groupe seniors (GS), et 18 femmes âgées de 18 à 28 ans ($23,0 \pm 3,1$ ans) forment le groupe jeunes (GJ). Elles résident toutes aux alentours de Valenciennes. La recherche de volontaires a été effectuée auprès d'associations de loisirs physiques pour les seniors de Valenciennes. Les jeunes, toutes étudiantes, ont répondu à un appel diffusé par des composantes d'enseignement de l'UPHF.

Les personnes intéressées sont contactées quelques jours avant la session expérimentale, puis rencontrées individuellement pour un entretien et des tests visant à vérifier leur admissibilité (cf. Annexe 11). Les principaux critères d'inclusion sont d'être autonomes dans les déplacements à pied et de disposer d'une acuité visuelle de loin (vision binoculaire corrigée ou non) satisfaisante, à savoir supérieure ou égale à 6 / 10 sur l'échelle de Monoyer (3 m), avec une absence de différence bilatérale marquée. Les participantes doivent avoir un pied dominant droit, identifié en leur demandant de donner un coup de pied dans une balle imaginaire (3 essais durant lequel le mouvement doit toujours être effectué avec le pied droit). Les volontaires sont interrogées sur leur état de santé. Si elles signalent des problèmes aux membres inférieurs affectant leurs mouvements ou des risques cardiaques, elles ne participent pas à la suite de l'étude. Les diabétiques sont également exclues en raison d'une possible réduction de l'intéroception (Lord et al., 1993). En outre, les personnes incluses sont incitées à reporter leur venue si le jour de la passation, elles estiment ne pas être dans un état de santé satisfaisant. Pour les participantes seniors, un Mini Mental State Examination (MMSE ; Folstein et al., 1975) est réalisé afin d'exclure celles présentant des troubles cognitifs, un score inférieur à 27 étant un critère d'exclusion. Les jeunes de grande taille (supérieure à 1,70 m) ne sont pas recrutées pour tenter a priori d'éviter une différence de taille entre les deux groupes.

6.2.1.2. Matériel

La zone expérimentale est délimitée par une structure en forme de U réalisée par des écrans et par des cloisons (Figure 30). La partie gauche et la partie avant de cette structure sont deux écrans (dalle de rétroprojection TWSCR) ; ils mesurent 2,7 m sur 2 m et sont reliés l'un à l'autre par une cloison. La partie de droite est constituée de cloisons noires. L'écran latéral sur lequel les images sont projetées est situé à 2,1 m à gauche des participantes. L'écran face aux participantes est positionné à 3,5 m d'elles et est dédié à un signal marquant le début des essais. Deux vidéoprojecteurs (PLC-XM100L) sont utilisés, un pour chaque écran. Un programme LabVIEW personnalisé (LabVIEW 8.1 ; National Instruments, Austin, TX) contrôle le début de la projection des images. Au centre de la structure, un rail fixé en hauteur suit le chemin de

marche des participantes, toutes portant un harnais permettant de réduire les conséquences d'éventuelles pertes d'équilibre.

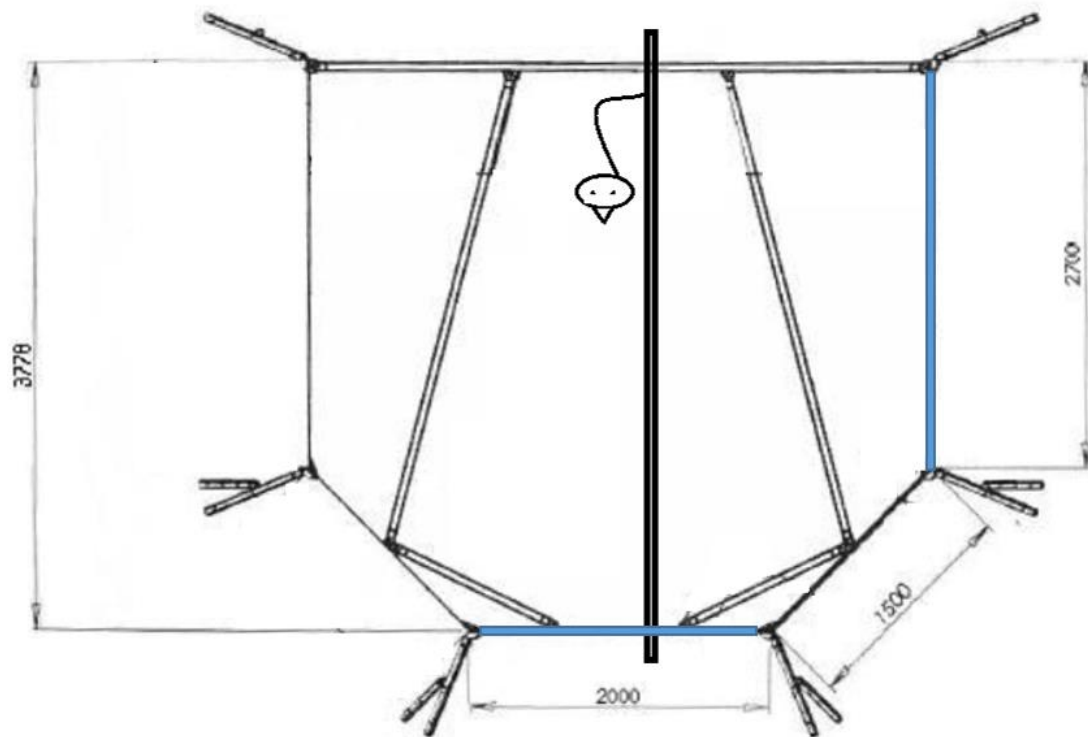


FIGURE 30 : ZONE EXPÉRIMENTALE AVEC SCHÉMATISATION DE LA PARTICIPANTE ATTACHÉE AU HARNAIS ANTICHUTE

Seuls l'écran face à la participante et à sa gauche sont utilisés (surligné en bleu).

Un système opto-électronique d'analyse du mouvement VICON muni de 8 caméras infrarouges fonctionnant avec le logiciel Vicon Nexus 1.6.1 (Société Oxford Metrics, Royaume-Uni) est utilisé pour mesurer les caractéristiques cinématiques des tâches locomotrices. La résolution des caméras enregistrant le mouvement des marqueurs réfléchissants est de 2 mégapixels. Une procédure de calibration permet de localiser les marqueurs dans l'espace d'enregistrement ainsi délimité, à la condition que ceux-ci soient visibles simultanément par au moins deux caméras. La précision de la localisation des marqueurs, fournie par le constructeur, est de l'ordre de 1 mm dans des conditions d'utilisation similaires aux nôtres. Les positions des marqueurs permettent d'alimenter un modèle biomécanique d'analyse du mouvement de la participante. Winter (1982) indique qu'une fréquence de 25 Hz est suffisante pour permettre l'acquisition de la marche. Cependant, une fréquence plus élevée permet d'identifier plus précisément les instants d'événements tels que le contact du talon et le décollement des orteils, nécessaires à une analyse en phase de mouvement. C'est pourquoi la fréquence d'acquisition du système a été fixée à 100 Hz. Les huit caméras infrarouges du Vicon Nexus sont disposées en hauteur autour du simulateur, sur des pieds de caméra ou fixées au mur à l'aide de girafes. Si selon Kadaba et al (1989), cinq caméras peuvent suffire à l'acquisition complète d'un cycle

de marche mais la configuration spatiale de la zone d'acquisition nécessite l'usage de 8 caméras pour éviter les pertes de marqueurs. Le placement des caméras permet un chemin de marche de 3,30 m de longueur et de 2,50 m de largeur et de 2 m de hauteur.

La modélisation utilisée pour cette expérience est de 4 marqueurs rétro-réfléchissants au niveau de la tête, soit un au niveau du front, un au niveau du lobe temporal gauche et un au niveau du lobe temporal droit et un juste devant ce dernier (servant à différencier les côtés gauche et droit de la tête) ; ceux-ci sont fixés sur un bandeau à l'aide d'un scotch adhésif double face. Trois marqueurs sont également positionnés sur chaque pied à l'aide d'un scotch adhésif double face hypoallergénique, soit un au niveau du talon, un au niveau du troisième métatarse sur la chaussure et un dernier au niveau de la malléole externe. Ce modèle permet de calculer les principaux paramètres cinématiques du mouvement des pieds, à savoir la longueur et largeur des pas ainsi que la vitesse de déplacement. De plus, grâce aux marqueurs présents sur la tête, il est possible de vérifier si la participante oriente bien la tête vers l'écran latéral gauche et de savoir précisément quand elle le fait.

Un contacteur (capteur de pression) est placé sous le talon droit de la chaussure des participantes (Figure 31). Ce capteur de pression permet à l'expérimentatrice de connaître le moment exact où les participantes initient leur marche en quittant la zone de départ (levée du talon) avec leur pied droit puisque ce mouvement entraîne un changement de voltage dû à l'élimination de toute pression exercée par le poids du corps. Ce changement soudain du voltage (fréquence d'échantillonnage : 1000 Hz) est pris en compte par le programme LabVIEW (cf. ci-avant) pour gérer le lancement de l'image à gauche des participantes, après ajout d'une durée personnalisée, à savoir 50 % de la durée d'un premier pas (moyenne de trois mesures effectuées au préalable).

Deux ordinateurs sont utilisés. Le premier est assigné à l'enregistrement des données liées à l'analyse du mouvement fournies par le système Vicon et ses marqueurs rétro-réfléchissants. Cet ordinateur permet également de gérer l'apparition des images. Le deuxième ordinateur permet le lancement des essais en générant l'apparition d'un signal visuel sur l'écran situé face à la participante (cf. ci-après).

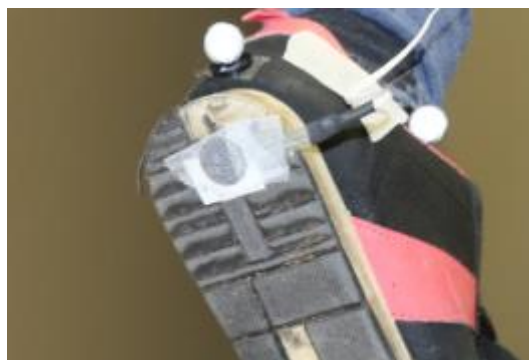


FIGURE 31 : EMBLEMEMENT DU CONTACTEUR SOUS LE TALON DROIT

Les changements de voltage de ce capteur de pression sont envoyés à un système d'électromyographie lui-même relié au logiciel Vicon Nexus.

6.2.1.3. Stimulations

Les neuf images utilisées ont été sélectionnées à partir des avis émis par 18 étudiants (non inclus dans l'étude elle-même) sur un ensemble plus grand d'images initialement retenues. Trois catégories d'images sont distinguées : (1) des images de trafic, (2) des images émotionnelles négatives et (3) des images de contrôle, a priori supposées neutres. Chaque catégorie comporte trois images. Les images provenant de l'IAPS représentent (1) un chien attaquant (n°1525), (2) un homme agressif tenant un revolver (n°6250) et (3) une foule fuyant un danger (n°9429). Ces images (non reproductibles sans autorisation spéciale dans un document rendu public) suggèrent toutes un danger qui pourrait avoir un impact sur l'intégrité physique dans un contexte réel. De plus, aux éléments dangereux explicites ou suggérés est associé un effet de mouvement vers les participantes. Il en est de même pour les images de circulation routière, soit trois images de véhicules qui ont été photographiés de face par l'expérimentatrice : (1) un tramway au départ d'une station, (2) une berline à l'approche et (3) un bus à l'approche. Ces images représentent des situations dans lesquelles il y a potentiellement un risque d'accident pour un piéton en train de traverser (Figure 32). Les images de contrôle sont trois photographies sélectionnées sur Internet : une rue piétonne peu fréquentée et des paysages.



FIGURE 32 : LES IMAGES DE TRAFIC

Le signal visuel projeté sur l'écran central est un carré bleu de 47 x 55 cm, sur un fond noir, positionné à 1,26 m au-dessus du sol. Sa disparition indique le début de l'essai. L'idée initiale était de projeter un feu rouge ou vert mais elle a été abandonnée en phase de pré-test car le feu vert semblait fonctionner chez certains comme un signal qui induisait une initiation de la marche sur un mode de temps de réaction ; compte tenu de la contiguïté temporelle, son impact entraînait ainsi en compétition avec celui des images. Le signal ultimement retenu s'écarte donc délibérément des signaux routiers classiques.

6.2.1.4. Questionnaires et tests

Le Timed Up and Go (TUG ; Podsiadlo & Richardson, 1991) est utilisé afin d'évaluer les capacités de marche et d'équilibre des participantes. Quel que soit l'âge, aucune participante n'a mis plus de 12 s pour effectuer ce test, ce qui indique une mobilité avec un risque de chute décrit comme faible et pouvant être expliqué. Dans le but d'avoir une approche plus globale du comportement des participantes en tant que piéton, plusieurs questionnaires sont inclus : échelle EPCUR (Granié, 2008) et questionnaire sur les habitudes de déplacement. Ces deux questionnaires sont remplis lors de la première rencontre précédant le jour de passation. Le Self-Assessment Manikin (SAM, Bradley et Lang, 1994) est utilisé pour évaluer les images.

6.2.1.5. Procédure

Les passations sont individuelles. La session expérimentale de chaque participante se déroule une à deux semaines après la première rencontre. Durant cette première rencontre, outre la présentation d'informations supplémentaires concernant l'étude et la vérification de l'admissibilité, il est demandé aux participantes de porter des chaussures confortables et sans talons hauts pour leur prochaine venue au laboratoire ; il leur est également précisé qu'elles doivent prévoir un vêtement qui permet d'accéder facilement à la cheville.

Dès leur arrivée pour la session expérimentale, les participantes signent un formulaire de consentement éclairé et une autorisation d'être filmée et photographiée. Celles qui ne portent pas initialement la tenue requise sont invitées à se changer dans un vestiaire. Ensuite, le poids

et la taille des participantes, demandés durant la première rencontre, sont vérifiés par une pesée et une prise de mesure. Il est également demandé aux participantes de retirer leurs bijoux (montre, collier, bagues...). Pour finir, les participantes enfilent le harnais antichute et sont équipées des marqueurs réfléchissants.

La familiarisation avec le protocole commence avec trois essais d'initiation de la marche dans la zone expérimentale (utilisés par la suite pour calculer la latence de présentation des stimulations comme décrit ci-dessus). Ils sont suivis par trois essais durant lesquels des images non figuratives (motifs colorés) sont projetées sur l'écran latéral. L'étude proprement dite commence après vérification de la bonne compréhension des consignes.

Au début de chaque essai (Figure 33), les participantes sont positionnées debout dans une position confortable pour elles. La position initiale des pieds est donc auto-sélectionnée par les participantes mais elles doivent commencer chaque essai avec un positionnement de pieds identique, sous la supervision de l'expérimentatrice. Pour cela, l'expérimentatrice trace le contour des pieds de chaque participante lors du premier positionnement. Pour les essais durant lesquels les images de trafic sont projetées, ce positionnement correspondrait à celui d'une attente en bord de rue avant une traversée. Chaque essai commence avec la présentation du carré bleu vers lequel les participantes doivent regarder. La durée de projection de cette cible est de 5, 7 ou 9 s, pour empêcher tout conditionnement temporel. Durant cette période, il est demandé aux participantes de ne pas bouger (principalement les jambes). La disparition du carré indique aux participantes qu'elles sont autorisées à commencer à marcher à leur propre rythme quand elles le désirent. Elles doivent initier la marche avec la jambe droite en direction du droit devant. L'image apparaît sur l'écran latéral gauche lors du premier pas (suite à la levée du talon du pied droit, cf. 6.2.1.2. Matériel). Les participantes sont invitées à regarder cette image sur l'écran latéral pendant toute la durée de son apparition soit 3 s. Entre chaque image, un fond noir est projeté sur l'écran de gauche. En fin d'essai, les participantes doivent faire demi-tour juste devant l'écran frontal (il a été constaté rétrospectivement qu'elles ont effectué quatre pas dans la plupart des essais avant de faire demi-tour) et retourner se replacer en position de départ afin qu'un nouvel essai puisse commencer.

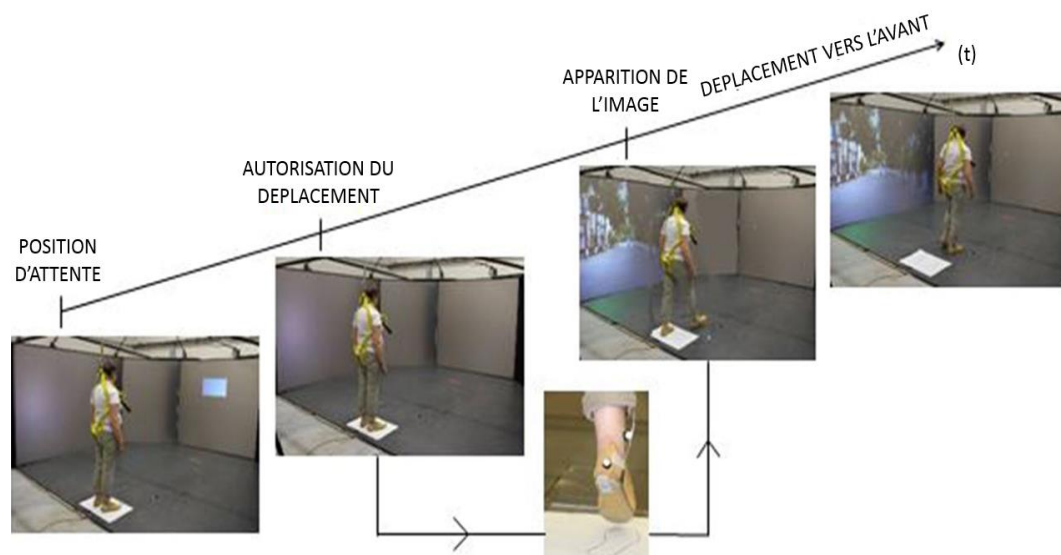


FIGURE 33 : DÉROULEMENT D'UN ESSAI

La participante est immobile (position d'attente auto-sélectionnée) en regardant le carré bleu face à lui ; après la disparition de ce dernier, la participante commence à marcher avec sa jambe droite. Au moment de la levée du talon, le signal du contacteur initie le processus de présentation de l'image et la participante marche droit devant elle tout en regardant l'image projetée sur l'écran de gauche.

La tâche inclut neuf essais expérimentaux (une image différente pour chaque essai) divisés en trois blocs de trois images, soit une image de chaque catégorie (image de trafic, image émotionnelle négative et image de contrôle), dans un ordre pseudo-aléatoire compensé différent pour chaque participante d'un même groupe. Un même ordre est utilisé pour une participante du groupe des jeunes et pour une participante du groupe des seniors. Il est laissé la possibilité à la participante de se reposer sur une chaise à tout moment entre les essais si elle en éprouve le besoin (ce qui n'a jamais été le cas).

Une fois cette tâche finalisée, les participantes répondent à un questionnaire sur les images projetées (cf. Annexe 16). Les participantes sont prévenues de l'occurrence de cette seconde tâche avant même d'avoir réalisé la tâche principale, d'une part pour les obliger à regarder les images et d'autre part pour vérifier que ces images ont été correctement perçues. La tâche demandée consiste à décrire en quelques mots les neuf images et d'essayer de les classer en trois catégories (exemple de catégories souvent citées par les participants : « images avec véhicules », « images qui faisaient peur » et « images d'environnement »). Suite à cela, les participantes doivent évaluer chacune de ces images selon les échelles SAM (Bradley et Lang, 1994). Pour ce faire, elles se replacent sur la zone de départ et initient à nouveau la marche pour faire apparaître chaque image, retrouvant donc l'ordre de présentation qui a été celui de l'expérience principale. Elles ont en main un petit livret de 9 feuilles, avec au recto de chacune

les trois échelles SAM dédiées à l'évaluation d'une même image ; elles doivent tourner la page avant d'initier la projection d'une nouvelle image.

À la fin de la passation, les participantes sont invitées à commenter librement leurs ressentis ainsi que leur compréhension de l'expérience. L'expérimentatrice explicite par la suite le but exact de l'expérience ainsi que les mesures effectuées. Les participantes sont remerciées de leur participation et reçoivent un petit cadeau en échange de leur participation (clef USB ou tisanière au choix). La durée d'une session complète est d'environ une heure par participante.

6.2.1.6. Analyses statistiques

Concernant la tâche principale, le marqueur positionné sur le front confirme une orientation de la tête vers l'écran pour toutes les participantes. Cinq participantes de deux groupes d'âge ont même tourné la tête vers l'écran avant l'apparition de l'image dans 1 voire 2 de leurs essais. Les analyses portant sur les caractéristiques de la marche se concentrent sur le premier pas (pied droit) et le second pas (pied gauche). La mesure principale est le **déplacement médio-latéral (largeur du pas)** du marqueur talon de sa position initiale jusqu'à la pose du talon du même pied. Durant la marche, la **base de support** est la distance horizontale entre la ligne virtuelle dans le sens du mouvement à partir du talon droit et du talon gauche à la pose du talon. La **longueur du premier pas** est la distance antéropostérieure entre le marqueur du talon du pied droit dans sa position initiale et son positionnement à sa pose. La **longueur du deuxième pas** est la distance antéropostérieure entre les deux talons à la pose du talon gauche (Figure 34). La **vitesse** moyenne pour le premier et deuxième pas est calculée comme étant le changement de position du pied divisée par le temps correspondant à ce changement. Le **temps de double appui** est également recueilli entre les deux pas, sur la base d'informations fournies par le marqueur du talon du pied respectif (temps entre la pose du talon droit et la levée de la pointe gauche).

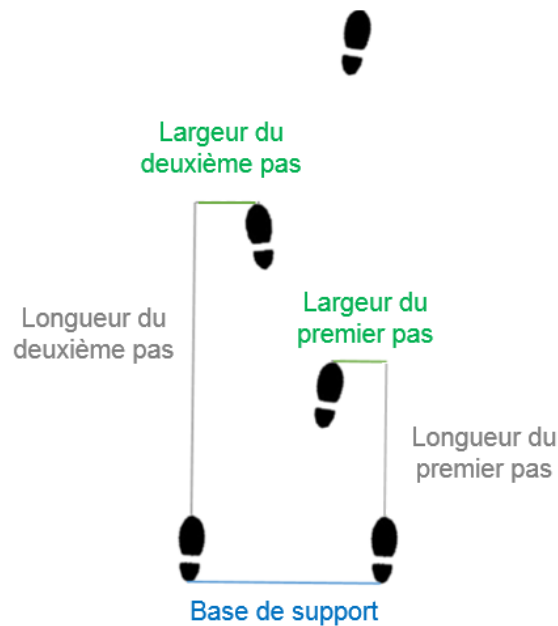


FIGURE 34 : CARACTÉRISTIQUES CINÉMATIQUES DE LA MARCHÉ RETENUES DANS L'ÉTUDE

Les données correspondant au même type de diapositives sont moyennées et ces moyennes sont soumises à une analyse de variance à trois facteurs (ANOVA) avec des mesures indépendantes le facteur AGE (jeunes et seniors) et des mesures répétées sur les facteurs PAS (premier et deuxième) et IMAGE (trafic, émotionnelles négatives et contrôle). L'hypothèse de la sphéricité est toujours respectée. La taille de l'effet est exprimée en η^2 partiel. Le test de Différence Significative Minimale (LSD) de Fisher est utilisé pour des comparaisons post hoc.

Les caractéristiques des participantes qui suivent une loi normale (taille, poids et IMC) sont analysées avec un test t de Student pour échantillons indépendants, tandis que celles ne suivent pas la loi normale (âge) sont analysées à l'aide du test U de Mann-Whitney.

6.2.2. Résultats

6.2.2.1. Caractéristiques des participantes

Les deux groupes d'âge ne diffèrent pas en taille [GS : $1,62 \pm 0,06$ m versus GJ : $1,65 \pm 0,06$ m, $t(34) = 1,63$, $p = 0,113$, d de Cohen = $0,05$]. En revanche, comme déjà rapporté dans la littérature (ex., Chumlea et al, 2009), les participantes seniors ont un IMC plus élevé que les participantes jeunes [GS : $25,02 \pm 2,73$ versus GJ : $21,40 \pm 1,31$, $t(34) = 5,08$, $p < 0,001$, d de Cohen = $1,69$].

Les participantes, tout âge confondu, déclarent pratiquer la marche tous les jours et ce, pour une durée quotidienne (en heures) supérieure chez les seniors par rapport aux jeunes [$4,78 \pm 2,86$ h versus $2,72 \pm 3,05$ h, $t(34) = 2,087$, $p = 0,044$, d de Cohen = $0,70$]. Les participantes déclarent qu'elles ne ressentent pas ou ressentent peu d'anxiété lors de leurs

déplacements à pied ($1,31 / 10 \pm 2,71$), bien qu'une légère sensation de vulnérabilité dans les rues soit constatée ($4,33 / 10 \pm 3,19$). Il n'y a pas de différence significative entre les deux groupes pour ces évaluations. Le score à l'échelle d'auto-évaluation du comportement piétonnier EPCUR est inférieur chez les seniors [$26,17 \pm 11,4$ versus $36,22 \pm 9,17$, $t(34) = 2,92$, $p = 0,006$, d de Cohen = $0,98$] ; l'effet est retrouvé quel que soit la sous-échelle]. Ainsi, les personnes âgées apparaissent ici plus prudentes que les jeunes.

6.2.2.2. Positionnement initial

L'écart médio-latéral moyen entre les talons pour le positionnement initial est de $16,3 \pm 4,4$ cm (cf. Figure 33). Pour les angles par rapport au droit-devant, les deux pieds sont ouverts vers l'extérieur, les ouvertures pour le pied gauche et le pied droit étant respectivement de $9,4 \pm 7,6^\circ$ et de $8,1 \pm 9,6^\circ$ [$t(70) = 0,64$, $p = 0,523$, d de Cohen = $0,15$] L'écart antéropostérieur (différences entre les deux pieds selon l'axe AP) est faible avec $0,8 \pm 0,6$ cm (différence absolue prise au niveau des talons). Il n'y a pas de différence significative selon l'AGE en ce qui concerne ces paramètres de position initiale.

6.2.2.3. Timing d'apparition des images

Les analyses rétrospectives montrent que l'image apparaît à environ 36,2 % de la durée totale de la phase d'oscillation du premier pas, plus précisément, à environ 27,9 % de la phase descendante et, en moyenne, à 284 ± 192 ms avant la pose du talon marquant la fin du premier pas (Figure 35).

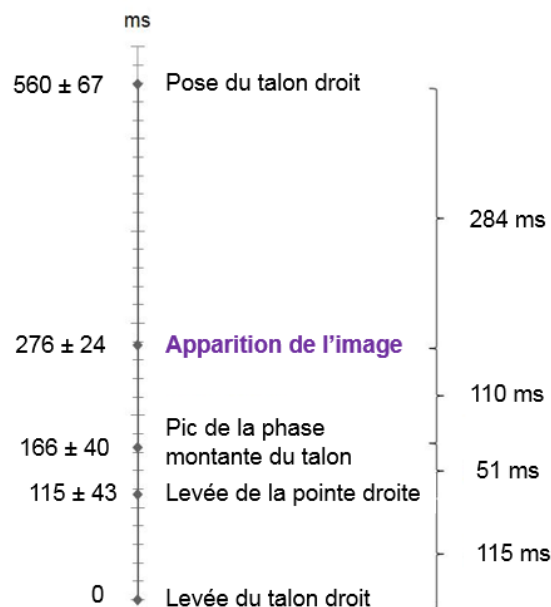


FIGURE 35 : CHRONOLOGIE MOYENNE DU PREMIER PAS DANS L'ÉTUDE 1
Chronologie moyenne de toutes les participantes pour le premier pas.

6.2.2.4. Principaux paramètres spatiaux de la marche

Concernant les **décalages médio-latéraux**, L'ANOVA révèle un effet significatif du PAS [$F(1,34) = 116,08$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,77$], avec un plus grand décalage pour le deuxième pas que pour le premier (Figure 36). Les pieds se déplacent tous les deux vers l'intérieur : le pied gauche se déplace vers la droite de $5,57 \pm 4,75$ cm et le pied droit se déplace vers la gauche de $1,75 \pm 3,46$ cm. L'ANOVA révèle également un effet significatif de l'IMAGE [$F(2,68) = 4,28$, $p = 0,018$, $\eta_p^2 = 0,12$]. Ne différant pas entre eux ($p = 0,748$), les déplacements ML liés aux images émotionnelles de l'IAPS et à celles de trafic se distinguent significativement de ceux liés aux images de contrôle (respectivement $p = 0,009$ et $p = 0,021$). Globalement, l'écart entre l'écran et les pieds des participantes est plus petit pour les images de contrôle que pour les deux autres catégories d'images (différence absolue : $1,88 \pm 1,24$ cm). L'interaction PAS x IMAGE n'est pas significative ($p = 0,377$). Il n'y a pas de différence significative en fonction de l'AGE en ce qui concerne les déplacements médio-latéraux.

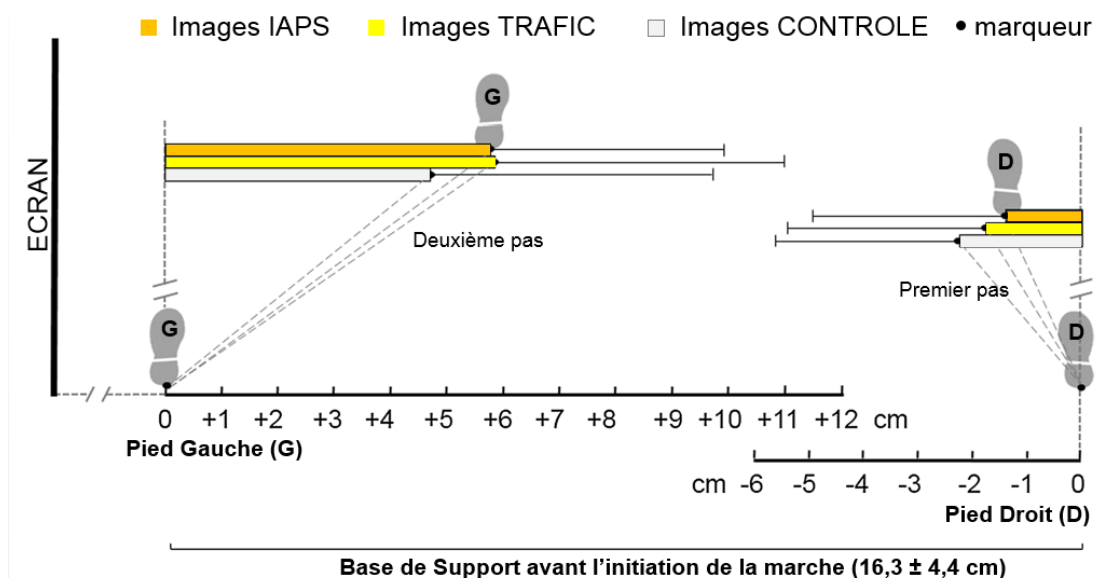


FIGURE 36 : INFLUENCE DES IMAGES SUR LES DÉPLACEMENTS MÉDIO-LATÉRAUX DU PIED DROIT POUR LE PREMIER PAS ET DU PIED GAUCHE POUR LE DEUXIÈME PAS

Le décalage du deuxième pas est plus grand que le décalage du premier pas. Les images de contrôle diffèrent des deux autres types d'images avec un décalage moins grand.

L'ANOVA effectuée sur la **base de support** au cours de l'initiation de la marche indique que ce paramètre n'est pas affecté par le contenu émotionnel des images ou des autres facteurs ($p > 0,440$).

L'ANOVA effectuée sur la **longueur des pas** ne met en évidence qu'un effet significatif de l'AGE [$F(1,34) = 4,37$, $p = 0,044$, $\eta_p^2 = 0,11$], les pas exécutés par les participantes seniors sont

plus courts que ceux exécutés par les participants plus jeunes ($56,6 \pm 8,8$ cm versus $58,8 \pm 5,6$ cm).

6.2.2.5. Paramètres spatiotemporels

L'ANOVA effectuée sur la **vitesse de déplacement** ne met en évidence qu'un effet significatif du PAS [$F(1,34) = 157,66$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,82$], le premier pas étant moins rapide que le deuxième ($0,56 \pm 0,13$ m / s versus $0,76 \pm 0,19$ m / s).

L'ANOVA effectuée sur le **temps de double appui** révèle un effet significatif de l'AGE [$F(1,34) = 4,64$, $p = 0,038$, $\eta_p^2 = 0,12$], avec un temps plus long pour le groupe des seniors que pour le groupe des jeunes ($0,32 \pm 0,10$ s versus $0,26 \pm 0,06$ s). Ainsi qu'un effet du PAS [$F(1,34) = 5,49$, $p = 0,025$, $\eta_p^2 = 0,14$], avec un temps de double appui plus long pour le premier pas que pour le deuxième ($0,14 \pm 0,04$ s versus $0,11 \pm 0,13$ s). Ces analyses n'ont mis en évidence aucun autre effet.

6.2.2.6. Évaluation rétrospective des images

Les évaluations en termes de valence (Figure 37) révèlent un effet significatif du type d'IMAGE [$F(2,68) = 317,97$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,90$], chaque comparaison deux à deux étant significative. Les images de contrôle sont plus positives (notes plus élevées) que les images de l'IAPS et les images de trafic. Les images de trafic sont également moins négatives (notes plus élevées) que les images émotionnelles de l'IAPS (tous les $p < 0,001$). Une comparaison de la note de la valence avec une valeur centrale de « 0 » (note neutre) montrent que, comme attendu, les images émotionnelles de l'IAPS et les images de trafic sont considérées comme désagréables (respectivement : $t(35) = 25,43$ et $t(35) = 7,28$, les deux $p < 0,001$). Quant à elles, les images de contrôle sont considérées comme agréables ($t(35) = 24,98$, $p < 0,001$). Quelle que soit la catégorie d'image, un effet principal de l'AGE est constaté [$F(1,34) = 4,39$, $p = 0,044$, $\eta_p^2 = 0,11$], avec des notes plus élevées pour les participantes seniors que pour les jeunes (différence moyenne: $0,39 / 9$), reflétant des évaluations plus positives pour les images de contrôle et moins négatives pour les autres images.

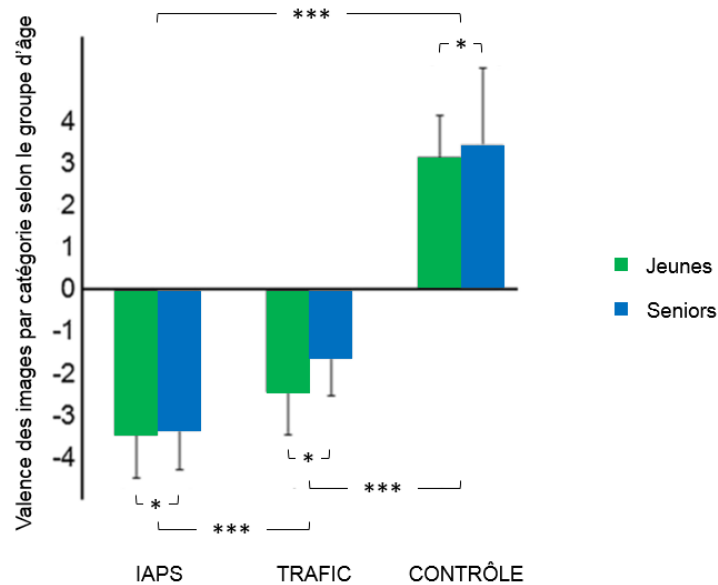


FIGURE 37 : VALENCE DES RESSENTIS INDUITS PAR LES TROIS CATÉGORIES D'IMAGES EN FONCTION DU GROUPE D'ÂGE DES PARTICIPANTES

Note. * : $p < 0,05$; *** : $p < 0,001$. L'échelle se décompose en 9 points en allant de -4 « très désagréable » à +4 « très agréables ».

Les évaluations sur l'échelle d'intensité (« arousal » ; Figure 38) sont influencées par l'IMAGE [$F(2,68) = 40,96$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,55$] et révèlent une interaction significative AGE x IMAGE [$F(2,68) = 9,20$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,21$]. Une différence entre les deux groupes d'âge est observée pour les images de contrôle qui ont été notées comme moins intenses par les jeunes que par les seniors ($p < 0,001$). Les images de trafic étant jugées équivalentes dans les deux groupes d'âge, les jeunes ont noté les images de trafic comme étant plus intenses que les images de contrôle ($p < 0,001$; GS : $p = 0,768$). Les comparaisons a posteriori ont également montré que les deux groupes d'âge jugent les images émotionnelles de l'IAPS comme plus intenses que les deux autres catégories (tous les $p < 0,01$).

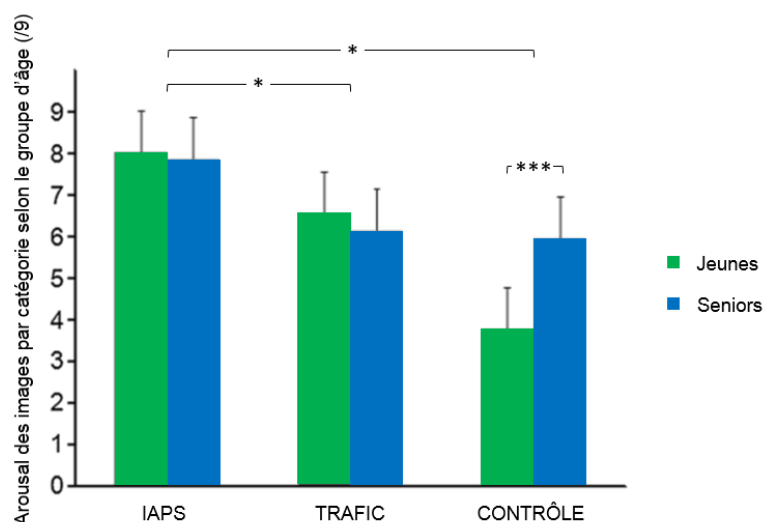


FIGURE 38 : INTENSITÉ DES RESENTIS INDUITS PAR LES TROIS CATÉGORIES D'IMAGES EN FONCTION DU GROUPE D'ÂGE DES PARTICIPANTES

*Note : * : $p < 0,05$; $p < 0,001$. L'échelle se décompose en 9 points en allant de 1 à 9.*

6.2.3. Discussion

Cette étude a été réalisée en considérant que le comportement moteur en cas d'émotion est essentiellement lié à la fonction de régulation des distances. Ainsi, l'approche consiste à diminuer la distance entre l'individu et l'emplacement de la stimulation émotionnelle. À l'inverse, l'évitement consiste à augmenter cette distance (cf. Eder et Rothermund, 2008 ; Koch et al., 2009). Dans la littérature, l'influence spécifique de la menace n'est pas clairement établie : la propension à l'évitement pourrait parfois être supplantée par une immobilisation de type « freezing ». Si une image reflétant une menace (dans notre étude, les images émotionnelles négatives de l'IPAS ou les images de trafic) provoque une tendance à l'évitement, elle pourrait entraîner une augmentation de la distance entre les pieds des participantes et l'écran sur lequel l'image apparaît. Cette étude a testé cette hypothèse pour les deux premiers pas d'une initiation de la marche avec l'apparition d'une menace latérale en début d'initiation. La modulation des écarts médio-latéraux a confirmé cette hypothèse pour les deux premiers pas. Avec des images présentées avant l'initiation de la marche, des auteurs avaient toutefois conclu que l'influence des émotions disparaissait pendant la phase d'exécution (Stins et al., 2011; Yiou et al., 2014). Il est effectivement possible que les images désagréables n'aient qu'une influence éphémère, que celle-ci soit dépendante ou non de spécificités procédurales. L'effet que nous avons observé pour le deuxième pas pourrait être expliqué par l'apparition tardive de nos images. Le décalage observé pour le second pas pourrait également n'être que le sous-produit du décalage du premier pas ; le décalage du second pas n'aurait lieu que pour préserver la base de support et ce, indépendamment du contenu de l'image. Cependant, l'hypothèse d'une influence émotionnelle plus durable ne peut être rejetée car d'autres auteurs l'ont déjà constatée au déjà d'un premier pas (Naugle et al., 2010; Fawver et al., 2014).

Dans notre étude, l'effet émotionnel était intégré dans le rétrécissement de la base de support entre la phase d'appui (pour les écarts médio-latéraux voir McIlroy et Maki, 1997) et la phase de marche (Callisaya et al., 2010, Hollman et al., 2011; Verlinden et al., 2013). Nos résultats soulignaient également un déplacement général du pied droit vers la gauche et du pied gauche vers la droite en lien avec l'initiation de la marche. La catégorie de l'image a également modulé ces déplacements. Les images menaçantes réduisaient le décalage vers la gauche pour le premier pas (pas droit) et augmentaient le décalage vers la droite pour le deuxième pas (pas gauche) par rapport aux images de contrôle et, de ce fait, augmentaient la distance entre les pieds et l'écran. Malgré une taille d'effet modérée, ce résultat est compatible avec les modèles

théoriques (Davidson 1992; Lang et al., 1997; Frijda 2009). Avec l'écran positionné en face des participants, les études précédentes ont rarement obtenu des résultats compatibles pour la longueur du pas (Fawver et al., 2014; Stins et al., 2015) possiblement en lien avec le fait que les paramètres de vitesse sont également impliqués dans le processus d'approche-évitement. En revanche, le décalage médio-latéral devrait être le principal modulateur pour des stimulations latérales, cette hypothèse étant prudemment soutenue par l'effet non significatif des catégories d'images sur les paramètres temporels (vitesse du pas et temps de double appui).

L'influence du contenu de l'image sur le premier pas contredit l'idée que l'exécution motrice est traitée de manière stéréotypée. (Stins et al., 2011 ; Yiou et al., 2014). L'absence d'interaction entre les pas et les images amène à se poser d'autres questions, notamment sur le premier pas durant l'apparition de la stimulation. En effet, selon notre analyse rétrospective du timing des essais concernant le premier pas, moins de 300 ms seraient suffisantes pour que survienne à la fois le processus de perception et l'ajustement moteur (cf. Winter 1995). Naugle et al. (2010) ont montré que les images désagréables pouvaient influencer la longueur et la vitesse du pas avec une projection juste avant le précédent contact du talon. Parmi les facteurs qui pourraient expliquer la modulation très rapide du pas dans ces deux études, il y aurait le caractère prioritaire de l'information et la rapidité du processus de traitement initial de l'information émotionnelle, qui pourrait être perçue avant même d'être totalement conscientisée. Par exemple, quelques millisecondes d'exposition (16,7 ms pour des signaux faciaux de peur rapportés par Liddell et al., 2005) suivie d'un masquage arrière peuvent susciter des réponses dans le tronc cérébral, le lobe frontal et le lobe temporal, y compris l'amygdale. De plus, ce réseau réagit plus rapidement aux stimulations survenant inconsciemment dans le champ visuel périphérique que dans le champ visuel central (Bayle et al., 2009). Une telle efficacité serait adaptée au fait que, dans des situations écologiques, les événements menaçants se produisent plus souvent en périphérie. Comme pour les processus très rapides qui peuvent avoir lieu pendant l'évitement d'obstacle durant la locomotion (Chen et al., 1994 ; Potocanac et al., 2014), un autre facteur explicatif pourrait être un lien automatique plus fort entre la stimulation et la réponse par rapport aux autres études. Ainsi le processus influençant le décalage médio-latéral des pieds fait partie probablement de réactions préprogrammées complexes (plutôt que des processus impliquant des facteurs top-down).

Contrairement à nos attentes, les images de contrôle ne peuvent être considérées comme une référence neutre. En effet, l'ensemble de la population les a évaluées comme agréables et les participantes seniors les ont notées comme plus suscitant des ressentis plus intenses que les jeunes. On peut expliquer ce constat par le fait que ces environnements correspondent plus aux environnements de marche des seniors, en accord avec des représentations de vieillissement en bonne santé (Burlot et Lefèvre, 2009). Par conséquent, en l'absence d'une

référence neutre, l'influence spécifique de la menace n'est pas établie (Yiou et al., 2014). Fait intéressant dans notre étude : les images de trafic ont été perçues comme moins désagréables et intenses que les images émotionnelles négatives. En revanche, il n'y a aucune évidence statistique de différence entre ces deux catégories d'images au niveau du décalage médio-latéral. Si les décalages médio-latéraux sont effectivement la conséquence de traitements pré-attentifs, cette absence d'effet différentiel contredit l'idée que ce registre de traitement ne s'applique qu'aux menaces déterminées par l'évolution (Tamietto et de Gelder, 2010), puisque ce serait surtout le cas des images émotionnelles négatives extraites de l'IAPS. Ces images pourraient en effet être assimilées à des stimuli phylogénétiques, car elles ont toutes inclus des expressions faciales ou corporelles. En revanche, les images de trafic n'avaient pas de valeurs émotionnelles intrinsèques et étaient plutôt liées à une peur ontogénique des accidents. Nos résultats sont donc compatibles avec l'idée d'une l'évaluation des stimulations non seulement rapide mais dépendantes du contexte (Brosch et Sanders, 2013), notamment avec un profil computationnel de l'amygdale comme détecteur de danger pertinent.

6.2.3.1. Limites de l'étude

Seules des femmes ont été recrutées et la question de la généralisation aux hommes peut être posée. Cependant, l'accent mis sur les femmes a été dicté par le fait que (1) il y a plus de femmes âgées (Woolf et Aron, 2013), (2) elles sont plus susceptibles de tomber que les hommes (Lord et al., 2001) et (3) elles encourent un plus grand risque de souffrir d'une fracture, particulièrement due à l'ostéoporose (Kanis, 2002). Elles sont donc plus au centre de la question des piétons. À noter par ailleurs qu'aucun résultat lié au sexe n'est rapporté dans les études reliant mouvement et apparition de stimulations émotionnelles (à notre connaissance, les seules différences significatives du sexe pour le contrôle postural en lien avec des stimulations désagréables ont été rapportées par Hillman et al., 2004).

L'âge n'a été étudié que via deux groupes et n'a pas mis en évidence d'impact différentiel des images sur les décalages médio-latéraux et la base de support. Nos participantes plus âgées appartenaient à un groupe de seniors actives et en bonne santé, même si leur marche présentait des signes de vieillissement comme un temps de double appui plus long, une longueur de pas plus courte et une vitesse de marche réduite (Winter et al., 1990 ; Menz et al., 2003 ; Menant et al., 2009). Leur risque de perdre l'équilibre aurait toutefois pu être plus grand avec des dangers réels, ou au moins avec des stimulations dynamiques plutôt que statiques. De plus, d'autres seniors avec un plus faible contrôle de leur largeur de pas, contrôle fondamental en termes de stabilité et de prévention des chutes (Maki, 1997 ; Hiliard et al., 2008), auraient pu être davantage impactées par des stimulations menaçantes survenant dans leur périphérie, comme ce peut être le cas de véhicules à l'approche.

6.2.3.2. Conclusion

Le résultat principal de cette étude est que la survenue latérale d'une image induisant une menace conduit les participantes à moduler leur déplacement médio-latéraux afin d'augmenter la distance entre leurs pieds et l'écran. L'effet a été décrit pour les deux premiers pas avec une apparition de l'image durant le premier pas. Ce résultat non seulement renforce l'idée que l'émotion régule la distance par rapport au stimulus inducteur, mais il illustre également une modulation dans l'exécution du pas déjà lancé. La pertinence appliquée s'est concentrée sur le risque de chute chez des piétons âgés traversant les routes. Néanmoins, la modulation médio-latérale des pas n'a pas vraiment entraîné une augmentation du risque de chute ou tout du moins influencé différemment les participantes.

6.3. Étude 2

Dans la première étude, seuls les paramètres spatiaux et temporels du positionnement des pieds ont été analysés en temps variables dépendantes. Toutefois, ce positionnement peut être vu comme la conséquence d'une chaîne de réactions corporelles successives. L'objectif initial de la seconde étude était de rechercher si les diapositives émotionnelles entraînent également des modifications des déplacements de la tête, du tronc et des bras.

Dans l'étude 1, l'incidence du type de diapositive sur les décalages médio-latéraux n'a pas été modulée par l'âge. En conséquence, seules des participantes jeunes sont incluses dans l'étude 2. Cette restriction est également motivée par l'anticipation de difficultés de recrutement de seniors qui acceptent rarement d'être très peu vêtus dans un contexte non médical.

Au regard de l'impact des diapositives, la stratégie adoptée peut être a priori qualifiée d'opportuniste : l'idée était de disposer pour chaque participant des caractéristiques spatiales et temporelles de la marche enregistrées durant la présentation de diapositives de contrôle. Sur cette base comparative, des essais donnant lieu à des décalages medio-latéraux conséquents sous l'effet de diapositives émotionnelles seraient analysés de façon approfondie afin de faire émerger la dynamique des mouvements des autres segments corporels. Pour ce faire, la sélection des diapositives a été modifiée pour d'une part augmenter le nombre d'essais de référence et, d'autre part, de ne retenir que des diapositives de trafic ou émotionnelles les plus efficaces.

Il ne pouvait toutefois pas être exclu de procéder à une analyse de variance visant à tester l'incidence des diapositives sur les paramètres de marche, en particulier les déplacements médio-latéraux. L'effectif visé étant plus faible que celui de la première étude¹⁵ les attentes

¹⁵ À noter que pour l'étude 1, malgré l'absence d'interaction avec l'âge dans les décalages médio-latéraux induits par les diapositives, le seuil de significativité de l'interaction PAS x IMAGE n'est pas atteint pour le groupe des jeunes [$F(1,17) = 2,48$, $p = 0,134$, $\eta^2_p = 0,13$].

concernaient essentiellement une taille d'effet comparable, mais il était admis a priori que le seuil de significativité pouvait ne pas être atteint. Or, le résultat (cf. ci-après) a conduit à modifier la stratégie d'analyse initialement prévue, ce qui a eu pour conséquence de différer le traitement des données des autres segments corporels mais a justifié une comparaison systématique des autres données recueillies dans les deux études.

6.3.1. Méthode

6.3.1.1. Participants

Au total, 14 participantes jeunes âgées de 23 à 37 ans ($25,9 \pm 3,4$ ans) prennent part à l'étude. Elles résident toutes aux alentours de Valenciennes. La recherche de volontaires a été effectuée auprès des composantes d'enseignement de l'UPHF). Les personnes intéressées ont suivi les mêmes démarches que pour l'étude 1, incluant une rencontre individuelle préalable pour la vérification des critères d'inclusion ; cf. 6.2.1.1. Participants). Toutes les participantes sont autonomes dans leurs déplacements, disposent d'une acuité visuelle supérieure à 8 / 10 avec une absence de différence bilatérale marquée ; elles sont de pied dominant droit avec une absence de problèmes aux membres inférieurs qui pourraient affecter leurs mouvements. Lors de la première rencontre, elles ont comme consigne de venir passer l'expérience avec un débardeur laissant accès aux épaules ainsi qu'un short moulant. En cas d'oubli, une tenue adéquate leur était prêtée. Les personnes incluses sont également incitées à reporter leur venue si le jour de la passation, elles estiment ne pas être dans un état de santé satisfaisant.

6.3.1.2. Matériel

La zone expérimentale et le matériel utilisé ainsi que sa résolution (système VICON, programme LabVIEW, vidéoprojecteurs et contacteur) sont identiques à ceux utilisés pour l'étude 1 (cf. 6.2.1.2. Matériel). La modélisation, corps entier a nécessité un plus grand nombre de marqueurs rétro-réfléchissants, soit 46. Pour les pieds, deux marqueurs sont placés au niveau de métatarses 2 et 5 et un au niveau du talon. Cinq marqueurs sont placés au niveau de la tête (placé sur un bandeau), soit un au niveau du front, deux au niveau des lobes temporaux (un à gauche et l'autre à droite) et deux au niveau à l'arrière du crâne¹⁶. Comme dans l'étude 1, les marqueurs présents sur la tête permettent de vérifier si les participantes orientent bien sa tête vers l'écran latéral gauche pour regarder la diapositive projetée.

6.3.1.3. Stimulations

Les catégories d'images présentées sont : (1) des images émotionnelles regroupant des images de l'IAPS et des images de trafic et (2) des images de contrôle. La catégorie d'images contrôle est incrémentée de 3 images (un jardin, une rue et un parc) afin d'utiliser cette catégorie comme une référence lors du traitement. Concernant les images émotionnelles, l'analyse diapositive par diapositive de l'étude précédente a conduit à éliminer une image de trafic et une image de l'IAPS. Pour l'image de trafic, il s'agit de la berline qui avait semblé au ralenti à certaines participantes, donc potentiellement moins dangereuse et donnait parfois lieu à des appréciations positives en tant que véhicule. Pour l'image émotionnelle négative, il s'agit de l'homme agressif tenant un revolver qui a été parfois perçu comme un appareil photo. Au total donc, seules quatre diapositives émotionnelles sont présentées.

¹⁶ Les autres marqueurs sont répartis comme suit Cinq marqueurs sont placés au niveau du tronc, soit un sur la C7, un sur le manubrium, un sur le xiphoïde, un sur la T12 et un sur l'omoplate gauche (sert à différencier le côté gauche du côté droit). Quatre marqueurs sont positionnés au niveau du bassin soit deux marqueurs pour les épines antérieure gauche et droite et deux marqueurs pour les épines postérieures gauche et droite. Pour les membres supérieurs, chaque bras porte un marqueur au niveau du coude, du poignet et des carpes 2 et 5. Un marqueur supplémentaire est placé sur le bras droit (rotateur du bras) tandis que, à gauche, le marqueur supplémentaire est placé sur l'avant-bras (rotateur de l'avant-bras). Pour les jambes, les positionnements sont identiques quel que soit le côté, soit un marqueur au niveau du trochanter, deux au niveau du genou (médial et latéral), un au niveau de la cuisse (rotateur de la cuisse), deux au niveau de la cheville (interne et externe), un au niveau de la jambe (rotateur de la jambe). Au terme du temps dévolu à la préparation de cette thèse, les analyses de ces marqueurs ne sont pas encore finalisées.

6.3.1.4. Questionnaires et tests

Le questionnaire sur les habitudes de déplacement est rempli lors de la première rencontre précédant le jour de passation. Les échelles SAM (Bradley et Lang, 1994) sont utilisées pour évaluer les images.

6.3.1.5. Procédure

Les passations sont individuelles et leur déroulement est proche de celui de l'étude 1. Une différence déjà évoquée concerne la tenue des participantes qui doit permettre d'accéder facilement aux membres supérieurs (débardeur) et inférieurs (short) dans leur intégralité ; de plus, les vêtements sont moulants afin d'éviter les déplacements des marqueurs qui devaient être posés sur le tissu (ex, dans le cas des épines iliaques antérieures et postérieures). Comme dans l'étude 1, l'absence de bijoux était requise et le port de chaussures confortables était demandé. Dès leur arrivée le jour de l'expérimentation, les participantes signent un formulaire de consentement éclairé et une autorisation d'être filmées et photographiées. Ensuite, elles enfilent le harnais antichute et sont équipées des marqueurs réfléchissants. Étant donné le nombre plus important de marqueurs, le temps de pose, soit environ 15 minutes, est plus long que dans l'étude 1 (environ 2 minutes).

En termes de déroulé, les phases de familiarisation et de test restent identiques à celles de l'étude 1. La tâche inclut dix essais expérimentaux avec une image différente pour chaque essai, dans un ordre pseudo-aléatoire compensé¹⁷ différant pour chaque participante.

Comme dans l'étude 1, une fois la phase de test terminée, les participantes décrivent les dix images et les évaluent sur les échelles SAM (Bradley et Lang, 1994 ; cf. Annexe 10). Les participantes sont invitées à commenter librement leurs ressentis ainsi que leur compréhension de l'expérience. L'expérimentatrice explicite par la suite le but exact de l'expérience ainsi que les mesures effectuées. Les participantes sont remerciées de leur participation et reçoivent une clé USB en échange de leur participation. La durée d'une session complète est d'environ une heure par participante.

6.3.1.6. Analyses statistiques

Le marqueur positionné sur le front confirme une orientation de la tête vers l'écran pour toutes les participantes. Deux participantes ont même tourné la tête vers l'écran avant l'apparition de l'image dans plusieurs de leurs essais. Les analyses portant sur les caractéristiques de la marche se concentrent sur le premier pas (pied droit) et le second pas (pied gauche) identiquement à l'étude 1 (cf. 6.2.1.6. Analyses statistiques ; Figure 34).

¹⁷ La première et dernière image présentée sont des images contrôle et sont identiques pour chaque participante (une des deux rues et le jardin).

Les données correspondant au même type de diapositives sont moyennées et ces moyennes sont soumises à une analyse de variance à deux facteurs (ANOVA) avec des mesures répétées sur les facteurs PAS (premier et deuxième) et IMAGE (émotionnelle et contrôle). L'hypothèse de la sphéricité est toujours respectée. La taille de l'effet est exprimée en η^2 partiel. Le test de Différence Significative Minimale (LSD) de Fisher est utilisé pour des comparaisons post hoc. Les caractéristiques des participantes suivent une loi normale et sont analysées avec un test t de Student pour échantillons indépendants.

Selon les paramètres, les comparaisons entre les deux études sont effectuées à l'aide d'une ANOVA à 3 facteurs : PAS (premier et deuxième) et IMAGE (émotionnelle et contrôle) en tant que facteur intra-sujet et ETUDE en tant que facteur inter-sujet. Les évaluations des diapositives sont soumises à une ANOVA incluant uniquement les facteurs IMAGE et ETUDE. Quand le facteur IMAGE est inclus, les données des images de l'IAPS et des images de trafic obtenues dans l'étude 1 sont moyennées. Enfin, des comparaisons deux à deux entre les études sont effectuées à l'aide d'un t de Student pour groupes indépendants ou d'un U de Mann-Whitney selon le type de données.

6.3.2. Résultats

6.3.2.1. Caractéristiques des participantes

Les participantes de cette étude sont âgées en moyenne de $25,9 \pm 3,4$ ans ; elles sont évidemment plus jeunes comparées à l'ensemble des participantes de l'étude 1 ($44,5 \pm 22,2$ ans) mais elles sont toutefois plus âgées que les jeunes ($23,00 \pm 3,07$, $t(30) = 2,54$, $p = 0,016$, d de Cohen = $0,90$) Sur le plan morphométrique, elles sont plus grande comparées aux participantes de l'étude 1 tous âges confondus [$1,69 \pm 0,06$ m versus $1,63 \pm 1,63$ m, $t(48) = 2,10$, $p = 0,041$; groupe des jeunes : $1,65 \pm 0,06$ m, $t(48) = 1,82$, $p = 0,079$]. Les participantes ont un IMC moyen de $23,20 \pm 2,69$ qui diffère significativement de l'étude 1 tous âges confondus [Med = $23,22$, IQR = $2,69$ versus Med = $22,04$, IQR = $4,40$; $U = 128$, $Z = 2,68$, $p = 0,007$, $r = 0,38$] bien que seule la différence avec les jeunes soit significative [$U = 64$, $Z = 2,36$, $p = 0,018$, $r = 0,42$; GS : $U = 77$, $Z = -1,86$, $p = 0,063$, $r = 0,33$]

L'estimation de la durée moyenne de marche hebdomadaire est de $4,82 \pm 3,74$ h, soit une durée qui s'apparente à celle des seniors de l'étude 1 ($U = 119$, $Z = -0,27$, $p = 0,790$, $r = 0,05$). Une fois de plus, les participantes ne ressentent pas ou ressentent peu d'anxiété lors de leurs déplacements à pied ($1,50 \pm 3,08/10$) et une légère sensation de vulnérabilité dans les rues est constatée ($3,64 \pm 2,50$), ces deux valeurs ne différant pas de celles obtenues dans l'étude 1 (tous les $p > 0,430$).

6.3.2.2. Position initiale

L'**écart médio-latéral** moyen entre les talons pour le positionnement initial est de $22,8 \pm 4,7$ cm et se révèle significativement plus grand que dans l'étude 1 [$16,3 \pm 4,4$; $t(48) = 8,34$, $p = 0,021$, d de Cohen = 1,43]. Pour les angles par rapport au droit-devant, les deux pieds sont ouverts vers l'extérieur ; les ouvertures pour le pied gauche et le pied droit sont respectivement de $3,8 \pm 7,1^\circ$ et de $7,9 \pm 5,4^\circ$ [$t(26) = 1,73$, $p = 0,096$, d de Cohen = 0,65] ; l'ANOVA comparant les deux pieds dans les deux études ne produit aucun effet significatif [PIED : $F(1,48) = 0,69$, $p = 0,411$, $\eta^2_p = 0,01$; ETUDE : $F(1,48) = 2,29$, $p = 0,137$, $\eta^2_p = 0,05$; PIED x ETUDE : $F(1,48) = 2,58$, $p = 0,114$, $\eta^2_p = 0,05$]. L'écart antéropostérieur entre les deux pieds est faible, soit $1,6 \pm 1,9$ cm (différence absolue prise au niveau des talons) [étude 1 : $0,8 \pm 0,6$ cm ; $t(48) = 2,109$, $p = 0,040$, d de Cohen = 0,57].

6.3.2.3. Principaux paramètres spatiaux de la marche

Concernant les **décalages médio-latéraux** (Figure 39), l'ANOVA révèle un effet significatif du PAS [$F(1,13) = 4,83$, $p = 0,047$, $\eta^2_p = 0,27$], avec un plus grand décalage pour le deuxième pas que pour le premier. Les pieds se déplacent tous les deux vers l'intérieur : en moyenne, le pied gauche se déplace vers la droite de $7,10 \pm 3,17$ cm et le pied droit se déplace vers la gauche de $4,35 \pm 3,87$ cm. Il n'y a pas d'effet simple de l'IMAGE [$F(1,13) = 0,99$, $p = 0,337$, $\eta^2_p = 0,07$] mais l'interaction PAS x IMAGE est significative [$F(1,13) = 5,55$, $p = 0,035$, $\eta^2_p = 0,30$] : les comparaisons deux à deux retrouvent l'effet du PAS quel que soit le type d'IMAGE (tous les $p < 0,001$) et montrent qu'à l'issue du second pas, le pied gauche est davantage décalé vers l'intérieur pour les images contrôle que pour les images émotionnelles ($p = 0,025$) ; la distance par rapport à l'écran est donc plus faible pour les images émotionnelles. La catégorie d'image n'influence pas le décalage médio-latéral constaté à l'issue du premier pas ($p = 0,384$). Ce pattern de résultat diffère donc de celui obtenu dans l'étude précédente (pour rappel une distance par rapport à l'écran plus grande pour les images émotionnelles quel que soit le pas).

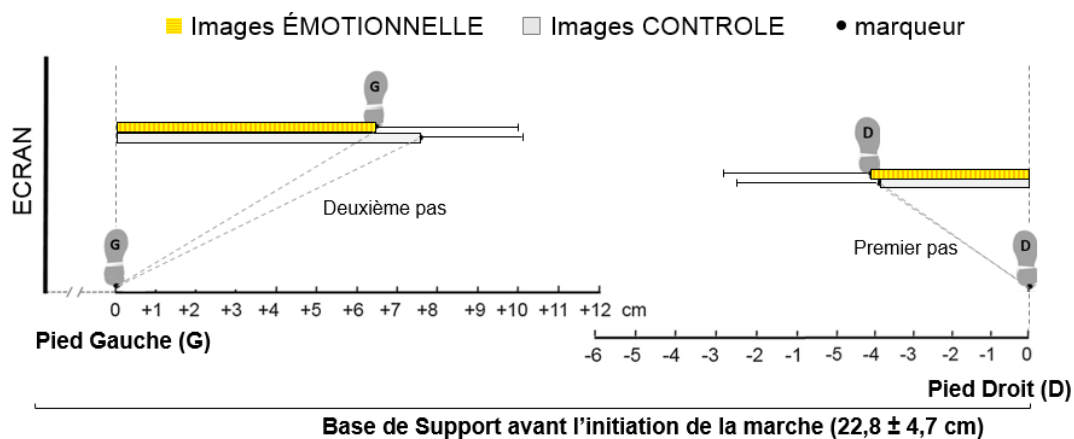


FIGURE 39 : INFLUENCE DES IMAGES SUR LES DÉPLACEMENTS MÉDIO-LATÉRAUX DU PIED DROIT POUR LE PREMIER PAS ET DU PIED GAUCHE POUR LE DEUXIÈME PAS

Le décalage du deuxième pas est plus grand que le décalage du premier pas. Pour le deuxième pas, les images de contrôle diffèrent des images de contrôle avec un décalage plus grand.

L'ANOVA comparant les deux études révèle que les décalages médio-latéraux sont plus importants dans la seconde étude [$F(1,48) = 9,96$, $p = 0,003$, $\eta^2_p = 0,17$] ; un effet simple du PAS est également retrouvé [$F(1,48) = 11,82$, $p = 0,001$, $\eta^2_p = 0,198$; IMAGE : $F(1,48) = 0,02$, $p = 0,882$, $\eta^2_p = 0,01$]. Comme il était prévisible compte tenu des résultats de chaque étude considérées isolément, l'interaction ETUDE x PAS x IMAGE est significative [$F(1,48) = 12,28$, $p = 0,001$, $\eta^2_p = 0,20$; Figure 40]. Les comparaisons post hoc sont informatives dans la mesure où elles révèlent que pour le deuxième pas, les écarts ML sont similaires pour les diapositives émotionnelles ($p = 0,830$) alors que, pour les diapositives de contrôle ($p = 0,016$), les participantes de l'étude 2 se sont davantage écartées de l'écran. Statistiquement, l'inversion de l'effet des IMAGES entre les deux études serait donc imputable aux diapositives de contrôle. Pour le premier pas, la comparaison entre les études est significative ($p = 0,031$) pour les diapositives émotionnelles (images de contrôle : $p = 0,174$) et résulte principalement du moindre rapprochement de l'écran durant l'étude 1 en cas d'image émotionnelles (l'effet est retrouvé ici en tendance, images de l'IAPS et de trafic confondues ($p = 0,085$)).

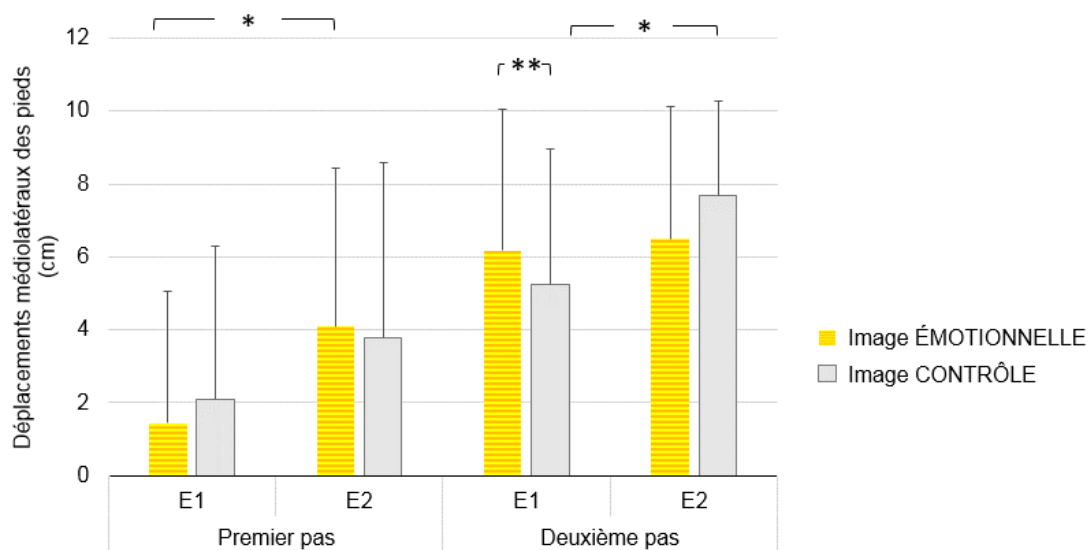


FIGURE 40 : DÉPLACEMENTS MÉDIO-LATÉRAUX DU PREMIER PAS (PIED DROIT) ET DU DEUXIÈME PAS (PIED GAUCHE) SELON LA CATÉGORIE D'IMAGE ET L'ÉTUDE (E1 : ÉTUDE 1 ; E2 : ÉTUDE 2)

6.3.2.4. Timing d'apparition des images

Les analyses rétrospectives montrent que l'image apparaît à environ 44,9 % de la durée totale de la phase d'oscillation du premier pas, plus précisément, à environ 36,1 % de la phase descendante et, en moyenne, à 237 ± 145 ms avant la pose du talon marquant la fin du premier pas (Figure 41).

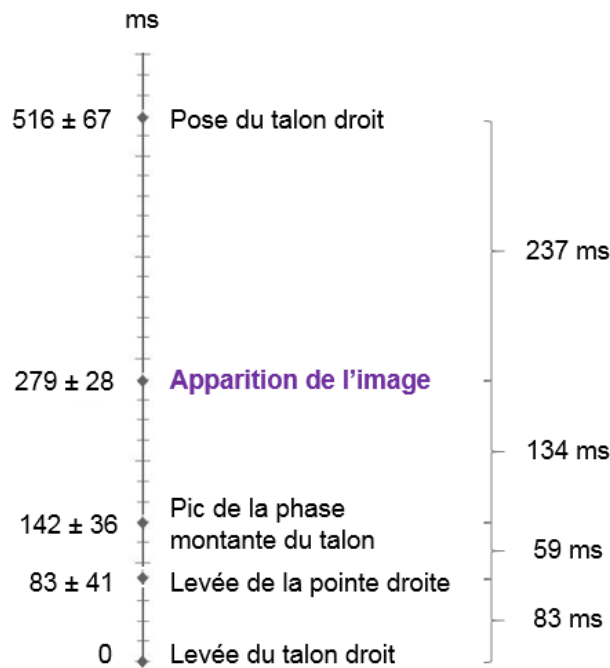


FIGURE 41 : CHRONOLOGIE MOYENNE DU PREMIER PAS DANS L'ÉTUDE 2

Le temps qui s'écoule entre l'apparition de l'image et la pose du talon est significativement plus court dans l'étude 2 que dans l'étude 1 [237 ± 6 ms versus 284 ± 7 ms ; $t(48) = 2,30$, $p = 0,026$, d de Cohen = $7,21$; Figure 42]. Une tendance est également présente pour le temps entre l'atteinte du z max et l'apparition de l'image avec un temps plus long pour l'étude 2 que l'étude 1 [134 ± 5 ms versus 110 ± 5 ms ; $t(48) = 1,91$, $p = 0,062$, d de Cohen = $4,80$; Figure 42].

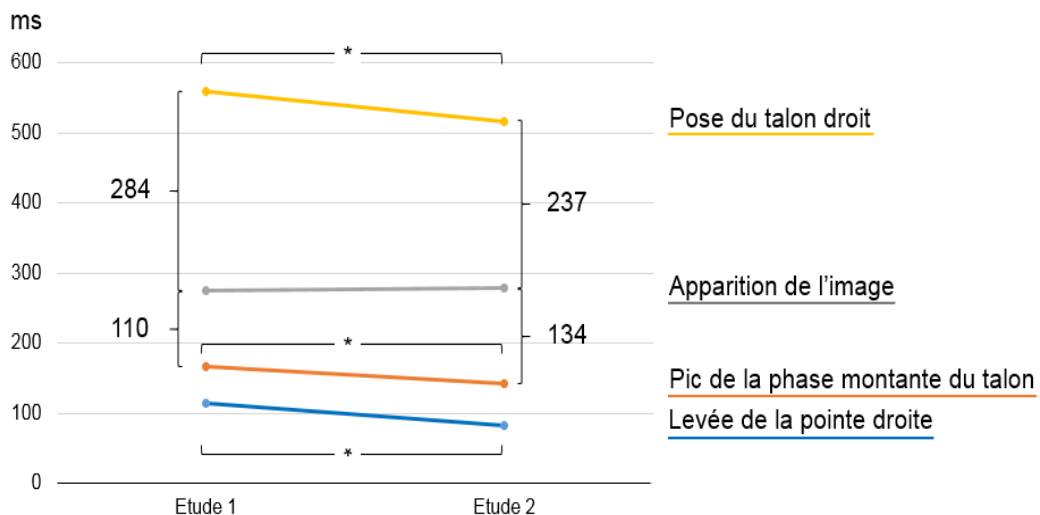


FIGURE 42 : COMPARAISON DE LA CHRONOLOGIE MOYENNE DU PREMIER PAS ENTRE L'ÉTUDE 1 ET 2

Note. * : $p < 0,05$.

6.3.2.5. Paramètres spatiotemporels des pas

L'ANOVA effectuée sur la **vitesse de déplacement** ne met en évidence qu'un effet significatif du PAS [$F(1,13) = 17,75$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,577$], le premier pas étant moins rapide que le deuxième ($0,86 \pm 0,16$ m / s versus $1,41 \pm 0,67$ m / s). L'ANOVA incluant les deux études retrouve globalement l'effet du PAS [$0,66 \pm 0,19$ m / s versus $0,92 \pm 0,49$ m / s ; $F(1,48) = 69,52$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,59$] et révèle un effet simple de l'ETUDE [$F(1,48) = 82,05$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,63$] avec une vitesse plus rapide dans l'étude 2 mais aussi une interaction PAS x ETUDE [$F(1,48) = 22,40$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,32$] ; les comparaisons deux par deux retrouvent les effets du PAS et de l'ETUDE (tous les $p < 0,001$) mais l'augmentation de vitesse au deuxième pas est plus forte dans l'étude 2. L'ANOVA révèle également un effet simple de l'IMAGE [$F(1,48) = 4,36$, $p = 0,042$, $\eta_p^2 = 0,08$] avec une vitesse plus rapide pour les images de contrôle ($0,82 \pm 0,49$ m / s versus $0,76 \pm 0,27$ m / s) et une tendance pour l'interaction IMAGE x PAS [$F(1,48) = 3,76$, $p = 0,058$, $\eta_p^2 = 0,07$], les post-hoc révèlent à nouveau l'effet du PAS (tous les $p < 0,001$) et suggère que l'effet d'IMAGE n'apparaît que pour le second pas ($p = 0,012$; pas 1 : $p = 0,779$). Les autres effets sont non-significatifs [IMAGE x ETUDE : $F(1,48) = 2,397$, $p = 0,128$, $\eta_p^2 = 0,048$; IMAGE x PAS x ETUDE : $F(1,48) = 0,16$, $p = 0,687$, $\eta_p^2 = 0,01$].

L'ANOVA effectuée sur la **longueur du pas** ne révèle qu'une tendance pour l'effet du facteur IMAGE avec un pas sensiblement plus long pour les images émotionnelles par rapport aux images de contrôle [$59,2 \pm 5,4$ versus $58,4 \pm 5,2$, $F(1,13) = 3,73$, $p = 0,076$, $\eta_p^2 = 0,22$; PAS : $F(1,13) = 2,77$, $p = 0,120$, $\eta_p^2 = 0,18$; IMAGE x PAS : $F(1,13) = 0,02$, $p = 0,894$, $\eta_p^2 = 0,01$]. L'ANOVA incluant les deux études ne révèle aucun effet significatif (tous les $p > 0,182$).

L'ANOVA effectuée sur le **temps de double appui** révèle un effet significatif du PAS [$F(1,13) = 35,65$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,73$], avec un double appui plus long après le premier pas qu'après le deuxième pas ($0,14 \pm 0,03$ s versus $0,11 \pm 0,02$ s). L'effet simple de l'IMAGE n'est pas significatif [$F(1,13) = 2,90$, $p = 0,112$, $\eta_p^2 = 0,18$] et une tendance émerge pour l'interaction PAS x IMAGE [$F(1,13) = 4,36$, $p = 0,057$, $\eta_p^2 = 0,25$] ; les comparaisons deux à deux retrouvent l'effet du PAS quel que soit l'IMAGE (tous les $p < 0,001$) et suggèrent également que le double-appui suivant le premier pas est plus court pour les images émotionnelles que pour les images de contrôles ($0,14 \pm 0,03$ s versus $0,15 \pm 0,02$ s , $p = 0,007$; deuxième pas : $p = 0,805$).

L'ANOVA incluant les deux études révèle un effet du PAS [$F(1,48) = 24,36$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,34$; Figure 43], avec un double-appui plus long après le premier pas qu'après le deuxième pas ($0,15 \pm 0,05$ s versus $0,13 \pm 0,04$ s). L'interaction PAS x ETUDE est également significative [$F(1,48) = 4,32$, $p = 0,043$, $\eta_p^2 = 0,08$] ; les comparaisons deux à deux retrouvent l'effet simple du PAS pour les deux études à savoir un temps de double appui plus long pour le premier pas que pour le deuxième pas (tous les $p > 0,01$; Figure 43) et un deuxième double appui plus long en tendance dans étude 1 que dans l'étude 2 ($p = 0,099$; premier double appui : $p = 0,629$).

Aucun effet impliquant le facteur IMAGE n'est significatif [interaction IMAGE x PAS : $p = 0,086$; autres $p > 0,131$].

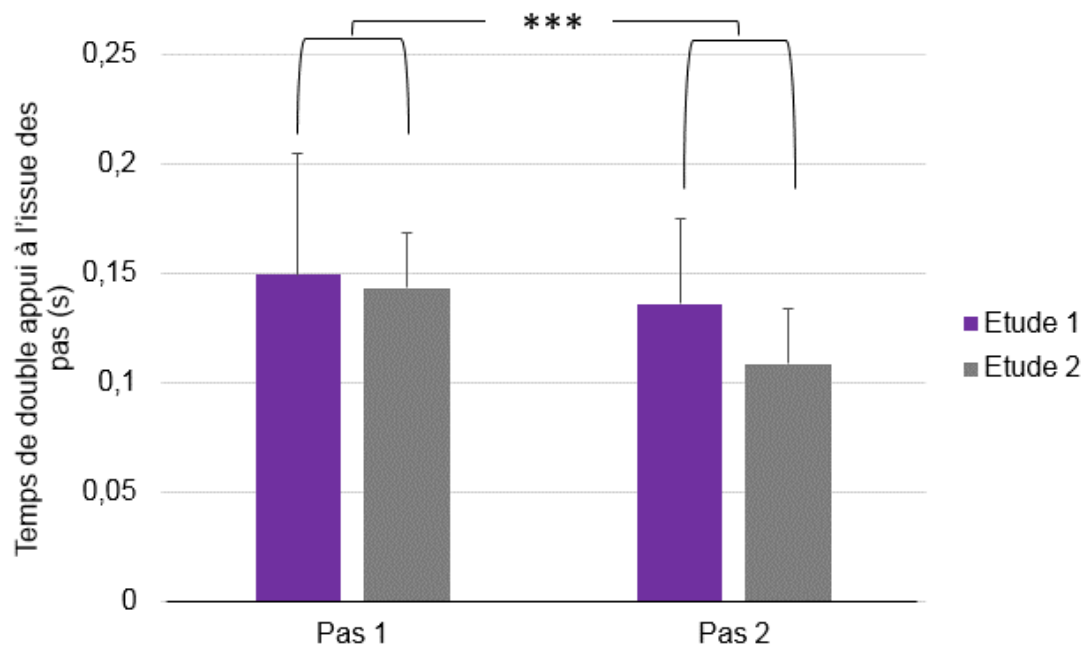


FIGURE 43 : TEMPS DE DOUBLE APPUI A L'ISSUE DU PREMIER PAS (PIED DROIT) ET DU DEUXIÈME PAS (PIED GAUCHE) SELON L'ÉTUDE (E1 : ÉTUDE 1 ; E2 : ÉTUDE 2)

6.3.2.6. Analyses sur l'évaluation des images

Les évaluations en termes de **valence** (Figure 44) révèlent un effet significatif du type d'IMAGE [images émotionnelles : $-2,4 \pm 1,6$ versus contrôle : $2,2 \pm 1,0$; $F(1,13) = 66,52$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,84$]. Une comparaison de la note de la valence avec une valeur centrale de « 0 » (note neutre) montre que les images émotionnelles sont considérées comme désagréables (respectivement : $t(13) = 5,63$, $p < 0,001$) et les images de contrôle sont considérées comme agréables ($t(13) = 8,03$, $p < 0,001$). En termes **d'intensité** (Figure 45), les images émotionnelles induisent des sensations (négatives) plus intenses que celles (positives) induites par les images de contrôle ($6,9 \pm 1,9$ versus $5,1 \pm 2,1$; $F(1,13) = 7,85$, $p = 0,015$, $\eta_p^2 = 0,38$).

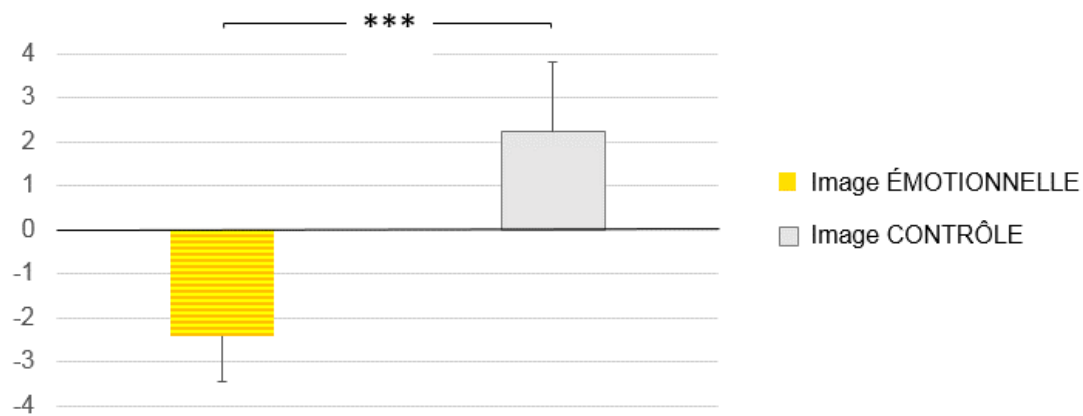


FIGURE 44 : VALENCE RESENTIS INDUITS PAR LES DEUX CATÉGORIES D'IMAGES

Note : *** : $p < 0,001$. L'échelle se décompose en 9 points en allant de -4 « très désagréable » à +4 « très agréables »

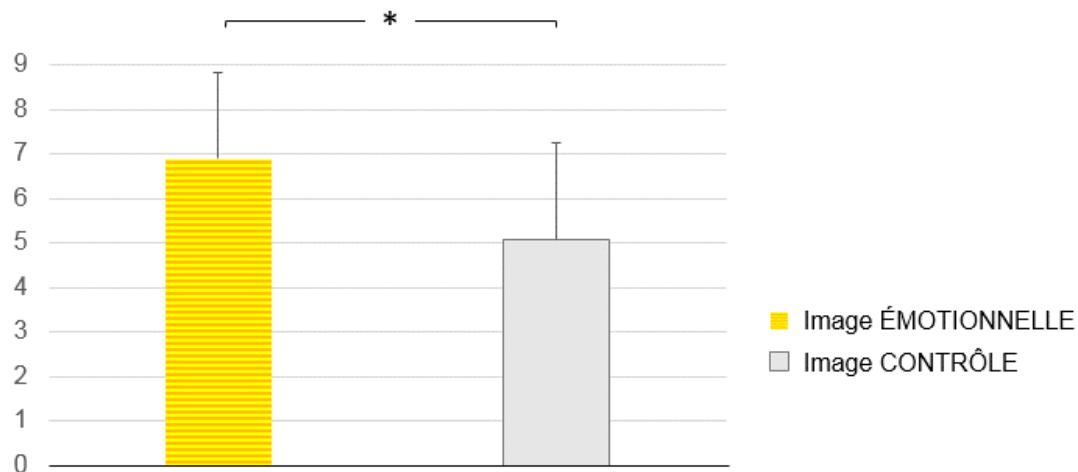


FIGURE 45 : INTENSITÉ RESENTIS INDUITS PAR LES DES DEUX CATÉGORIES D'IMAGES

Note. $p < 0,05$. L'échelle se décompose en 9 points en allant de 1 à 9.

L'ANOVA incluant les deux études pour la valence retrouve un effet simple de l'IMAGE [$F(1,48) = 432,28$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,90$] et révèle un effet de l'ETUDE [$F(1,48) = 4,08$, $p = 0,049$, $\eta_p^2 = 0,08$] avec des évaluations globales proches de la neutralité dans l'étude 2 ($-0,1 \pm 0,4$ versus $0,3 \pm 0,2$), mais aussi une interaction ETUDE x IMAGE [$F(1,48) = 7,83$, $p = 0,007$, $\eta_p^2 = 0,14$] : toutes les comparaisons post hoc sont significatives (tous les $p < 0,001$) sauf la comparaison inter-études des notes attribuées aux diapositives émotionnelles ($p = 0,257$). Le fait que les images de contrôle sont jugées plus positives dans l'étude 1 que dans l'étude 2 ($3,34 \pm 0,80$ versus $2,23 \pm 1,04$) explique donc l'effet principal de l'ETUDE. Pour l'intensité, un effet de l'IMAGE est constaté [$F(1,48) = 33,27$, $p = 0,001$, $\eta_p^2 = 0,41$] avec des ressentis plus intenses provoqués par les images émotionnelles comparativement aux images

de contrôle ($7,0 \pm 0,5$ versus $4,9 \pm 0,6$)¹⁸ Les autres effets sont non-significatifs [ETUDE : $F(1,48) = 0,01$, $p = 0,949$, $\eta_p^2 = 0,01$; ETUDE x IMAGE : $F(1,48) = 0,61$, $p = 0,440$, $\eta_p^2 = 0,01$].

6.3.3. Discussion

L'objectif initial de cette étude était de prolonger la précédente en décrivant des ajustements corporels possiblement associés aux décalages médio-latéraux des pieds, décalages dépendants du type de diapositives (émotionnelles présentées après la levée du talon lors de l'initiation de la marche. La conclusion de la première étude était que, comparativement aux diapositives de contrôle, les diapositives émotionnelles augmentaient la distance entre le pied et l'écran pour le premier et le second pas. Or, non seulement cet effet n'est pas retrouvé pour le premier pas mais l'effet inverse est constaté pour le deuxième pas. Face à ces résultats, l'objectif initial a été reconsidéré et les analyses se sont focalisées sur l'interprétation de ces différences.

Une première hypothèse qui ne peut être totalement exclue est l'erreur de type I. L'attention des chercheurs a été attirée depuis plusieurs années sur les risques de faux positifs (ex. Murayama et al., 2014). Un fort écho a été donné au travail de Nosek et al. (2015 ; 270 co-auteurs), à savoir la réplication de 100 études publiées dans des journaux prestigieux de psychologie. Des effets significatifs ont été retrouvés dans moins de la moitié des cas, même si les tailles des effets se sont révélées plus homogènes (voir aussi Francis, 2012). Dans le cas de nos deux études, l'idée d'un faux positif pour le premier pas reste donc à considérer ; pour le deuxième pas, l'issue n'est toutefois pas simplement le fait de ne pas rejeter à nouveau l'hypothèse nulle : il s'agit d'une inversion qui conduirait à suspecter à deux reprises l'émergence d'un faux positif, ce qui sans être totalement impossible devient beaucoup plus rare et laisse donc place à la recherche d'explications alternatives.

Ce faisant, un élément majeur fait lien avec certaines réactions à la publication de Nosek et al. (2014), notamment celle de Maxwell et al. (2015) : les répliques sont loin d'être totalement identiques aux études originales. Or, en ce qui nous concerne, des différences méthodologiques sont clairement identifiables et certaines l'étaient déjà a priori. Parmi elles, se trouvent l'effectif plus faible ($N=14$ versus $N=36$) et recrutement sur un échantillon d'âge restreint à des jeunes. Ont également été opérés des changements du nombre de stimulations et de certaines d'entre elles mais aussi de la tenue vestimentaire des participants beaucoup plus légère. En lien avec cette dernière exigence, s'ajoute aussi plus subtilement le fait que les participants à la seconde étude

¹⁸ Ces analyses ont été répliquées en ne tenant compte que des diapositives communes aux deux études (4 images émotionnelles et 3 images contrôle) ; le pattern de résultats est totalement identique, ce qui conforte l'idée que les différences d'évaluation sont imputables aux participantes et ne résultent pas de la différence dans les sélections d'images.

sont des étudiants plus avancés que ceux recrutés pour la première étude. Ils ne sont pas pour autant des proches de l'expérimentatrice mais ils sont incontestablement plus familiarisés avec les contextes expérimentaux. Rétrospectivement, et peut-être en lien avec ces différences de recrutement, il apparaît également une différence notable dans les caractéristiques de leur marche qui a impacté la dynamique des essais. Pour rappel, le délai entre la levée du talon et l'apparition des images est personnalisé, soit 50 % de la durée moyenne d'un premier pas effectué lors de trois initiations de la marche sans stimulation. Si ce ratio est conservé durant la phase expérimentale de l'étude 1, il s'en écarte dans l'étude 2, suggérant que les participants ont marché sensiblement plus vite durant la phase expérimentale que lorsqu'ils ont été pris les mesures initiales. En définitive, l'élément probablement crucial est que l'image survient alors que la descente du pied est plus avancée (de 24 ms en moyenne) dans l'étude 2 que dans l'étude 1 et, de fait, le pied droit se pose plus précocement après la survenue de l'image (47 ms plus tôt en moyenne). Outre l'effectif réduit, ces deux effets peuvent avoir concouru à l'absence de significativité concernant l'influence des diapositives sur l'écart médio-latéral du premier pas, considérant à la fois l'éventualité qu'à ce stade de déroulement du pas l'exécution motrice n'est plus corrigeable ou influençable et que le traitement initial de l'information ne peut pas être suffisamment effectué pour avoir de l'influence.

Reste encore à rechercher des causes possibles de l'inversion de l'effet sur l'écart médio-latéral du second pas. Aucune interprétation ne peut être avancée avec certitude. Les comparaisons des écarts médio-latéraux entre les deux études montrent toutefois que ceux induits par les diapositives émotionnelles sont similaires dans les deux études. L'inversion d'effet s'expliquerait alors par les écarts induits par les diapositives de contrôle : les participantes ont posé le pied droit beaucoup plus près de l'écran dans l'étude 1 que dans l'étude 2. Or, l'échelle SAM de valence révèle que les diapositives de contrôle ne sont pas émotionnellement neutres. Elles sont toujours jugées plaisantes et ce, de façon significativement plus importante dans l'étude 1 où, compte tenu de l'empan de l'échelle, elles peuvent sans conteste être décrites comme étant très plaisantes. Si l'explication tient effectivement dans ces deux effets, il conviendrait alors de reconsidérer l'interprétation de l'étude 1 en mettant l'accent non plus sur un éventuel retrait supposé provoqué par les diapositives émotionnelles négatives mais sur une réaction d'approche causée par des diapositives représentant des environnements perçus comme très agréables et qui seraient donc attirants au sens littéral du terme. Dans l'étude 1, la question de l'effet propre des diapositives émotionnelles négatives reste non résolue.

Les résultats de la seconde étude alimentent la réflexion. Mettre l'accent sur le fait que, pour les participantes de la seconde étude, les diapositives de contrôle se rapprochent d'une référence neutre conduirait, tout en restant dans un cadre interprétatif distinguant des comportements d'approche et de retrait (Davidson, 1992), à considérer que les diapositives

émotionnelles négatives ont exercé un effet d'attraction (effet qui aurait possiblement été encore plus saillant avec une référence totalement neutre). À notre connaissance, les publications sur les déplacements du corps entier n'ont pas illustré un tel effet mais soutiennent l'effet inverse autour duquel s'était articulé notre raisonnement initial. La suspicion d'un faux positif pourrait s'en trouver renforcée mais ce n'est toutefois pas la seule hypothèse qui puisse être considérée, surtout en tenant compte du timing des essais de cette étude. Plusieurs auteurs considèrent que, dans des contextes expérimentaux, l'incidence des diapositives émotionnelles sur le comportement d'approche et d'évitement serait très limité temporellement (Stins et al., 2011; Yiou et al., 2014). Or, l'effet des diapositives sur la marche étant plus tardif dans la seconde étude (possible réduction du temps de double appui à l'issue du premier pas et décalage médio-latéraux à l'issue du second pas uniquement), le traitement cognitif pourrait avoir été plus élaboré et, de fait, l'effet ne refléterait plus une propension immédiate à l'action mais un intérêt cognitif accru pour les images (alors perçues comme telles) émotionnelles négatives. Quelques données de la littérature pourraient soutenir cette idée. Calvo et Lang (2004) constatent par exemple que des diapositives plaisantes (images de relations affectives) et déplaisantes (menaces ou blessures) non seulement attirent plus rapidement le regard que des diapositives neutres mais la proportion de temps consacré à les regarder pendant les premières 500 ms de projection est également plus long (pour un autre effet d'engagement attentionnel renforcé vers des stimulations émotionnellement positives ou négatives, voir également Nummenmaa et al., 2006). Autre exemple, l'induction d'un potentiel positif tardif (proche de la P300), plus ample après des images émotionnelles que neutres, persiste pendant 800 ms après le retrait d'une image agréable et au moins 1 s après le retrait d'une image désagréable (Hajcak & Olvet, 2008). Une chronologie plus avancée du traitement pourrait aussi intégrer un processus de régulation de l'affect négatif initialement induit par les stimulations (« coping » selon Lazarus, 1994 ; van Reekum et al., 2007). L'idée concernant le résultat de l'étude 2 est que cette capture « temporelle » serait associée à une capture « spatiale ». En soi, le fait que l'écart médio-latéral enregistré suite à la projection des diapositives émotionnellement négatives soit similaire dans les deux études ne constitue pas un contre-argument déterminant à cette hypothèse. Sachant que l'écart médio-latéral initial (en phase statique) était plus grand dans la seconde étude, un resserrement plus important des pieds vers le droit-devant devrait mécaniquement en découler. Le simple fait qu'il ne se produise pas en la circonstance serait donc le signe d'un engagement attentionnel renforcé. Inversement, la nécessité d'un plus grand recentrage lors de l'initiation de la marche pourrait conduire à relativiser le lien direct supposé ci-avant entre d'une part, la différence inter-étude dans les décalages médio-latéraux induits par les diapositives de contrôle et, d'autre part, les différences inter-études dans l'évaluation de la valence de ces diapositives. Si tel est le cas, c'est

bien sur une propension au retrait qui serait provoquée par les diapositives émotionnelles négatives dans la première étude.

Toutes ces hypothèses interprétatives demandent à être confortées. Resterait encore une limitation potentielle de ces deux études, à savoir le fait que le choix des diapositives des différentes catégories n'a pas tenu compte des caractéristiques des stimulations en termes de couleur, luminance et complexité. La nécessité de retenir des images dont la projection apportait une compatibilité spatiale avec le positionnement des participants avait déjà notablement réduit les choix possibles dans l'IPAS et un pairage sur ces autres critères se révèle assez difficile en pratique même avec un travail préalable de retouche. Il n'en demeure pas moins à effectuer pour de futures études. En outre, l'analyse des données récoltées durant cette seconde étude n'est pas finalisée. Nous avons toutefois pris la décision de d'inclure cette étude dans ce mémoire pour l'intérêt et les questionnements qu'elle suscite. Parmi les constats déjà effectués suite à une analyse minutieuse des données, il convient de signaler que, même si, relativement à l'écran, un écartement moindre est constaté plus fréquemment suite à la projection de diapositives émotionnelles que suite à la projection de diapositive de contrôle, l'effet inverse (compatible avec les données de la première étude) émerge néanmoins clairement dans un certain nombre d'essais et ce, avec un décalage assez conséquent. Ce pattern de données offrirait donc, dans une démarche exploratoire, la possibilité de comparer les ajustements corporels des essais aboutissant à l'un ou à l'autre des effets et apportera peut-être des arguments étayant une des interprétations proposées ci-avant.

7. CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

Le travail résumé dans le présent document a eu pour objectif de contribuer à l'amélioration des connaissances relatives au piéton senior. L'ancrage sociétal est fort compte-tenu du vieillissement de la population et des liens mis en évidence entre mobilité et bien-vieillir. Ces derniers contrastent toutefois avec des données accidentologiques critiques pour les piétons seniors. Nombre de travaux ont déjà activement investigué cette problématique mais celle-ci demande encore à être approfondie. Nous avons retenu deux pistes à explorer : le positionnement en bord de rue et l'initiation d'une traversée. Les approches comportementale et biomécanique sont privilégiées. Même si, de façon générale, il est hautement probable que les risques encourus soient majorés par l'importance des déclin physiques et cognitifs liés au vieillissement physiologique ou pathologique, les personnes âgées qui ont participé aux études vivent à leur domicile et sont autonomes dans leurs déplacements. Des signes de risque effectifs ou potentiels ont néanmoins été recherchés. La stratégie consiste donc principalement à mieux cerner les effets qui mériteraient d'être ensuite testés dans des populations moins valides bien que se déplaçant toujours en autonomie ; les personnes à risque de chute devraient retenir l'attention en priorité.

Les résultats obtenus ont rétrospectivement confirmé l'intérêt d'une approche pluridisciplinaire. Quasiment aucun effet mis en évidence ne peut s'expliquer totalement soit par des facteurs physiques, soit par des facteurs cognitifs. Le modèle est donc clairement interdisciplinaire dans le sens défini par Klein (1990), à savoir que les différents facteurs ne sont pas uniquement sommés mais sont étroitement imbriqués. De plus, les effets décrits ne sont pas à considérer isolément mais comme des éléments à insérer dans une compréhension plus globale du piéton âgé. Le modèle de causalité des accidents (modèle du fromage suisse) présenté par Reason (1990) peut donc s'appliquer en renvoyant à différents niveaux de vulnérabilité, aux conditions conjoncturelles préalables aux actes dangereux et aux actes dangereux proprement dits. Dans le cas du vieillissement, l'approche est non seulement complexifiée par les différences inter-individuelles déjà évoquées, mais également par la variabilité intra-individuelle.

Dans les discussions de chaque étude, des pistes de prolongement ont été dessinées au regard des résultats. La mise en évidence d'un positionnement plus en retrait du bord de rue par les participants qui font les plus petits pas a motivé un test métacognitif concernant la perception de la longueur de pas. La mise en évidence de surestimations chez les personnes à risque de chute ou présentant des scores au MMSE plus faibles bien que dans la norme, soutient l'idée d'une actualisation insuffisante des modèles d'action interne. L'inclusion de personnes avec des scores MMSE plus faibles a déjà été évoquée. Les principaux prolongements concernent surtout la perspective de validation de la tâche en tant que test clinique. L'avantage de la tâche

que nous avons implémentée est sa simplicité et son acceptabilité comparativement à des tâches telles que la fente avant ou la distance maximale atteignable et le Timed Up and Go imaginés. Cette tâche sans manipulation directe aurait également l'avantage de pouvoir être proposée par des professeurs d'Activités Physiques Adaptées. Au préalable, les options méthodologiques doivent être soigneusement étudiées pour optimiser le rapport bénéfice / coût. Par exemple, la plus grande sensibilité concernant les pas usuels présente des avantages pragmatiques potentiels puisque seule cette condition (la plus facile) pourrait être incluse. Différentes options techniques pourraient également être étudiées pour trouver des alternatives à la capture du mouvement, alternatives qui rentreraient le test plus facilement utilisable en pratique clinique. La direction des futures études devrait également concerner la fiabilité « test-retest », la validation croisée et, ultimement, l'utilisation de cette tâche pour améliorer la prise de conscience des erreurs de jugement chez les seniors à risque.

Nous avons également mis en évidence le fait que certains seniors ouvrent davantage le pied gauche en position d'attente en bord de rue, en lien possiblement avec un bénéfice exploratoire de la voie proximale associé à une moindre demande en rotation articulaire principalement au niveau du cou. Nous avons montré que ce positionnement induit un bénéfice en termes de ressentis corporels. Cette étude était toutefois exploratoire et mérite d'être complétée, notamment avec une procédure permettant le recueil de données temporelles relatives à l'apparition des ressentis. Une évaluation de la presbyopie serait également ajoutée ainsi que l'inclusion d'un groupe de jeunes contrôles. Sur le plan technique, des perspectives intéressantes peuvent être imaginées en référence aux options de visualisation des contraintes, telles déjà présentes dans le dispositif de capture du mouvement du groupe Technologie Ergonomie Application (TEA) associé au logiciel CAPTIV Motion. Des niveaux de contraintes exprimés par une gamme chromatique peuvent être insérés dans des pastilles placées sur les articulations d'un avatar ; l'idée est que ces repères ergonomiques pourraient être modulés en fonction des caractéristiques propres des personnes et ensuite croisées avec les ressentis. L'avantage d'un dispositif de ce type est également son utilisation possible in situ.

Suite à l'étude en bord de rue, une étude en simulateur avait été prévue afin de déterminer les conséquences de la position d'attente des personnes âgées sur l'initiation de la traversée. Concrètement, les participants auraient été invités à descendre d'un trottoir à partir des deux positions de pieds caractéristiques des seniors ou des jeunes (cf. positions utilisées dans l'expérimentation durant laquelle les ressentis ont été quantifiés) puis à effectuer quelques pas sur la route. La position initiale par rapport au bord du trottoir pouvait également prendre un statut de variable indépendante. Les variables dépendantes pouvaient concerner la cinématique des deux premiers pas, incluant la descente du trottoir, mais également les ajustements posturaux associés. On peut en effet questionner le fait que les seniors puissent

réaliser des ajustements posturaux ou moteurs avant d'initier la descente du trottoir. Par exemple, le réalignement du pied gauche parallèlement au pied droit (plus orientée sur le droit-devant) est possible, tout comme l'est la réalisation d'un premier pas avant la descente. Cette expérimentation aurait été réalisée dans une rue à double sens simulée, permettant d'étudier l'exploration de la voie distale (également décrite comme accidentogène (Fontaine et Gourlet, 1997 ; Dommes et al., 2014) ; une descente du trottoir avec le pied droit qui s'aligne sur le pied gauche conduirait par exemple à tourner le dos à la voie distale lors du premier pas. Pour augmenter la possibilité d'observer des ajustements, la consigne de traversée de rue aurait induit une composante temporelle, avec une traversée lente ou rapide. Cette expérimentation n'a hélas pas pu être conduite, le simulateur ayant été partiellement endommagé (écrans latéraux de droite) lors de son déplacement dans un autre bâtiment. Sa réparation devrait intervenir prochainement mais trop tardivement pour inclure ce travail dans le cadre de cette thèse.

L'initiation de la marche a néanmoins été étudiée dans un dispositif exploitant les écrans restants. Le questionnement a porté sur l'impact de la survenue latérale d'une stimulation émotionnelle lors de l'initiation de la marche. Certains essais modélisaient la découverte tardive d'un véhicule à l'approche. Indépendamment de l'âge, un positionnement de pieds compatible avec un comportement de retrait est décrit en cas de diapositives émotionnelles et ce, dès le premier pas. Nous avons voulu reproduire ce résultat avec une capture du corps entier pour étudier les mouvements d'autres segments corporels associés à ces décalages. L'étude a été restreinte à des participants jeunes pour des raisons de commodité. Non seulement l'effet initial n'est pas reproduit mais l'effet inverse est constaté pour le second pas. L'interprétation en termes de timing (moment de survenue de la diapositive lors du premier pas) suggère que l'effet décrit initialement serait réactif alors que le second reflèterait une capture attentionnelle résultant d'un traitement plus approfondi des stimulations. Cette hypothèse mérite d'être étayée par une étude faisant varier le délai d'apparition de la diapositive relativement à la levée du talon. La compréhension de ces différences doit être approfondie que ce soit au niveau des déplacements du centre de masse et des modifications de la dynamique inverse du premier pas (possible grâce à l'enregistrement des plateformes de force). De plus, ces études ont été menées sur un sol plat et l'ajout d'un trottoir pourrait modifier possiblement l'impact de la survenue de l'évènement émotionnel. Un impact plus important en termes de déséquilibre (déplacement médio-latéral plus important) pourrait amener à la chute en situation réelle. À noter également que l'analyse des données recueillies en corps entier n'a pas été finalisée à ce jour.

En résumé, ce travail a apporté des connaissances nouvelles concernant le piéton âgé mais il suscite également beaucoup d'interrogations. La principale porte sur le transfert de ces connaissances dans une perspective d'utilisation concrète à court ou à moyen terme. Au regard

des comportements potentiellement risqués adoptés sans véritable prise de conscience des conséquences potentielles, la piste principale est celle d'interventions de type entraînement. D'autres ont déjà exploré une telle stratégie, principalement concernant les temps de traversée dans l'espoir d'une meilleure issue en termes de marges de sécurité, mais les études révèlent parfois des limites. Lors d'interventions comportementales (interventions pratiques individualisées et répétées en simulateur) et éducatives (amélioration des connaissances), Dommes & Cavallo (2012) et Dommes et al. (2012) ont mis en évidence des bénéfices à court termes sur le comportement de traversée de rue à sens unique chez les seniors de plus de 60 ans, en particulier des décisions plus sûres lors de franchissement de rue. Néanmoins, la capacité des participants à prendre en compte la vitesse d'approche des véhicules n'a pas été améliorée et le nombre d'opportunités manquées a même augmenté. De plus, le programme d'entraînement n'avait aucun effet à long terme : les seniors ayant reçu ou non un entraînement effectué à peu près autant de décisions dangereuses à échéance de 6 mois (Dommes et al., 2012). Des conclusions similaires sont formulées par Cavallo et al. (2017) dans une situation de traversée de rue à double sens ; le bénéfice à court terme d'un entraînement en simulateur ou d'un programme éducatif disparaissent au bout de 6 mois. Les programmes qui pourraient découler du travail que nous présentons viseraient à optimiser les positionnements avant la traversée. La conscientisation des comportements critiques pourrait être plus facile à obtenir que dans les études précitées et, de fait, elle pourrait être comparativement plus efficace. Le point crucial serait un meilleur ajustement de la position en fonction de la longueur de pas, soit principalement une prise de conscience de la réduction de cette longueur sous l'effet du vieillissement. En effet, les erreurs commises peuvent être facilement mises en évidence et les conseils de prudence requis à ce niveau sont explicites de façon claire sans grande difficulté. Qui plus est, il serait possible de conforter les acquis par des rappels récurrents. Ultimement, c'est à la propension des seniors à suivre les recommandations et à se comporter de façon prudente qu'il serait fait appel (Granié, 2008).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aboutorabi, A., Arazpour, M., Bahramizadeh, M., Hutchins, S. W., & Fadayevatan, R. (2016). The effect of aging on gait parameters in able-bodied older subjects: a literature review. *Aging Clinical and Experimental Research*, 28(3), 393-405. doi: 10.1007/s40520-015-0420-6
- Adamo, D. E., Martin, B. J., & Brown, S. H. (2007). Age-related differences in upper limb proprioceptive acuity. *Perceptual and motor skills*, 104(3_suppl), 1297-1309.
- Adamo, D. E., Martin, B. J., & Brown, S. H. (2007). Age-related differences in upper limb proprioceptive acuity. *Perceptual and motor skills*, 104(3_suppl), 1297-1309.
- Aitken, S. A., Ralston, S. H., & McQueen, M. M. (2011). The relationship of fall-related fractures to social deprivation. *Osteoporosis international*, 22(4), 1211-1218.
- Al-Kaisy, A. F., Hall, F. L., & Reisman, E. S. (2002). Developing passenger car equivalents for heavy vehicles on freeways during queue discharge flow. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 36(8), 725-742.
- Alsnih, R., Hensher, D.A.: The mobility and accessibility expectations of seniors in an aging population. *Transp. Res. Part A* **37**, 903–916 (2003). doi:10.1016/S0965-8564(03)00073-9
- Amiridis, I. G., Hatzitaki, V., & Arabatzi, F. (2003). Age-induced modifications of static postural control in humans. *Neuroscience letters*, 350(3), 137-140. PubMed. doi: 10.1016/S0304-3940(03)00878-4
- Andersen, G. J., & Enriquez, A. (2006). Aging and the detection of observer and moving object collisions. *Psychology and aging*, 21(1), 74.
- Avineri, E., Shinar, D., & Susilo, Y. O. (2012). Pedestrians' behaviour in cross walks: the effects of fear of falling and age. *Accident Analysis & Prevention*, 44(1), 30-34. PubMed. doi: 10.1016/j.aap.2010.11.028
- Azevedo, T. M., Volchan, E., Imbiriba, L. A., Rodrigues, E. C., Oliveira, J. M., Oliveira, L. F., ... & Vargas, C. D. (2005). A freezing-like posture to pictures of mutilation. *Psychophysiology*, 42(3), 255-260. PubMed. doi: 10.1111/j.1469-8986.2005.00287.x
- Baird, J. L., & Van Emmerik, R. E. (2009). Young and older adults use different strategies to perform a standing turning task. *Clinical Biomechanics*, 24(10), 826-832.
- Balcetis, E. (2016). Approach and avoidance as organizing structures for motivated distance perception. *Emotion Review*, 8(2), 115-128. doi: 10.1177/1754073915586225
- Baltes, P. B., & Baltes, M. M. (1990). Psychological perspectives on successful aging: The model of selective optimization with compensation. *Successful aging: Perspectives from the behavioral sciences*, 1(1), 1-34.

- Bath, P. A., & Morgan, K. (1999). Differential risk factor profiles for indoor and outdoor falls in older people living at home in Nottingham, UK. *European journal of epidemiology*, 15(1), 65-73.
- Bayle DJ, Henaff MA, Krolak-Salmon P (2009). Unconsciously perceived fear in peripheral vision alerts the limbic system: a MEG study. *PLoS ONE* 4(12):e8207
- Beauchet, O., & Berrut, G. (2006). Gait and dual-task: definition, interest, and perspectives in the elderly. *Psychologie & neuropsychiatrie du vieillissement*, 4(3), 215-225.
- Beauchet, O., Annweiler, C., Assal, F., Bridenbaugh, S., Herrmann, F. R., Kressig, R. W., & Allali, G. (2010). Imagined Timed Up & Go test: a new tool to assess higher-level gait and balance disorders in older adults? *Journal of the Neurological Sciences*, 294(1), 102-106. doi: 10.1016/j.jns.2010.03.021
- Beauchet, O., Annweiler, C., Lecordroch, Y., Allali, G., Dubost, V., Herrmann, F. R., & Kressig, R. W. (2009). Walking speed-related changes in stride time variability: effects of decreased speed. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 6(1), 32.
- Beck, F., Guilbert, P et Gauthier, A. (2005). Baromètre santé 2005: Attitudes et comportement de santé. En ligne: <http://www.inpes.sante.fr>
- Benjamini, Y., & Hochberg, Y. (1995). Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 289-300.
- Berg, W. P., Alessio, H. M., Mills, E. M., & Tong, C. (1997). Circumstances and consequences of falls in independent community-dwelling older adults. *Age and ageing*, 26(4), 261-268.
- Bernhoft, I. M., & Carstensen, G. (2008). Preferences and behaviour of pedestrians and cyclists by age and gender. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 11(2), 83-95. doi: 10.1016/j.trf.2007.08.004
- Binder, E. F., Schechtman, K. B., Ehsani, A. A., Steger-May, K., Brown, M., Sinacore, D. R., ... & Holloszy, J. O. (2002). Effects of exercise training on frailty in community-dwelling older adults: results of a randomized, controlled trial. *Journal of the American Geriatrics Society*, 50(12), 1921-1928.
- Bloch, F., Gautier, V., Noury, N., Lundy, J. E., Poujaud, J., Claessens, Y. E., & Rigaud, A. S. (2011). Evaluation under real-life conditions of a stand-alone fall detector for the elderly subjects. *Annals of physical and rehabilitation medicine*, 54(6), 391-398.
- Boisgontier, M. P., Olivier, I., Chenu, O., & Nougier, V. (2012). Presbypropria: the effects of physiological ageing on proprioceptive control. *Age*, 34(5), 1179-1194.

- Bolmont, B., Gangloff, P., Vouriot, A., & Perrin, P. P. (2002). Mood states and anxiety influence abilities to maintain balance control in healthy human subjects. *Neuroscience letters*, 329(1), 96-100.
- Bouman, D., Stins, J. F., & Beek, P. J. (2015). Arousal and exposure duration affect forward step initiation. *Frontiers in psychology*, 6, 1667.
- Boyd, R., & Stevens, J. A. (2009). Falls and fear of falling: burden, beliefs and behaviours. *Age and ageing*, 38(4), 423-428.
- Boyé, N. D., Van Lieshout, E. M., Van Beeck, E. F., Hartholt, K. A., Van der Cammen, T. J., & Patka, P. (2013). The impact of falls in the elderly. *Trauma*, 15(1), 29-35.
- Bradley, M. M., & Lang, P. J. (1994). Measuring emotion: the self-assessment manikin and the semantic differential. *Journal of behavior therapy and experimental psychiatry*, 25(1), 49-59.
- Bridenbaugh, S. A., Beauchet, O., Annweiler, C., Allali, G., Herrmann, F., & Kressig, R. W. (2013). Association between dual task-related decrease in walking speed and real versus imagined Timed Up and Go test performance. *Aging Clinical and Experimental Research*, 25(3), 283-289. doi: 10.1007/s40520-013-0046-5
- Brosch, T., & Sander, D. (2013). Comment: the appraising brain: towards a neuro-cognitive model of appraisal processes in emotion. *Emotion Review*, 5(2), 163-168.
- Brosseau, M., Zangenehpour, S., Saunier, N., & Miranda-Moreno, L. (2013). The impact of waiting time and other factors on dangerous pedestrian crossings and violations at signalized intersections: A case study in Montreal. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 21, 159-172.
- Brown, L. A., Polych, M. A., & Doan, J. B. (2006). The effect of anxiety on the regulation of upright standing among younger and older adults. *Gait & posture*, 24(4), 397-405. PubMed. doi: 10.1016/j.gaitpost.2005.04.013
- Brown, L. A., Sleik, R. J., Polych, M. A., & Gage, W. H. (2002). Is the prioritization of postural control altered in conditions of postural threat in younger and older adults?. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 57(12), M785-M792.
- Brown, L. A., Sleik, R. J., Polych, M. A., & Gage, W. H. (2002). Is the prioritization of postural control altered in conditions of postural threat in younger and older adults? *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 57(12), M785-M792. PubMed. doi: 10.1093/gerona/57.12.M785
- Burlot F, Lefèvre B (2009) Les pratiques physiques des seniors. *Retraite et société* 58:133–158
- Caffier, D., Gillet, C., Heurley, L. P., Bourrelly, A., Barbier, F., & Naveteur, J. (2017). Initiation of forward gait with lateral occurrence of emotional stimuli: general findings and relevance for

- pedestrians crossing roads. *Experimental brain research*, 235(3), 777-785. PubMed. doi: 10.1007/s00221-016-4838-7
- Callisaya, M. L., Blizzard, L., Schmidt, M. D., McGinley, J. L., & Srikanth, V. K. (2010). Ageing and gait variability—a population-based study of older people. *Age and ageing*, 39(2), 191-197.
- Calvo, M. G., & Lang, P. J. (2004). Gaze patterns when looking at emotional pictures: Motivationally biased attention. *Motivation and Emotion*, 28(3), 221-243.
- Campbell, A. J., BORRIE, M. J., SPEARS, G. F., JACKSON, S. L., BROWN, J. S., & FITZGERALD, J. L. (1990). Circumstances and consequences of falls experienced by a community population 70 years and over during a prospective study. *Age and ageing*, 19(2), 136-141.
- Carthy, T., Packham, D., Salter, D., & Silcock, D. (1995). Risk and safety on the roads: The older pedestrian.
- Cavallo, V., Dommes, A., Dang, N. T., & Vienne, F. (2017). A street-crossing simulator for studying and training pedestrians. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*.
- Centres for Disease Control. How much physical activity do older adults need? Centres Dis Control; Sep 1, 2014.
- Chapman, S. A. (2005). Theorizing about aging well: Constructing a narrative. *Canadian Journal on Aging/La Revue canadienne du vieillissement*, 24(1), 9-18.
- Chen, H. C., Ashton-Miller, J. A., Alexander, N. B., & Schultz, A. B. (1994). Effects of age and available response time on ability to step over an obstacle. *Journal of gerontology*, 49(5), M227-M233.
- Chen, H. C., Ashton-Miller, J. A., Alexander, N. B., & Schultz, A. B. (1994). Age effects on strategies used to avoid obstacles. *Gait & posture*, 2(3), 139-146. doi: 10.1016/0966-6362(94)90001-9
- Chippendale, T., & Raveis, V. (2017). Knowledge, behavioral practices, and experiences of outdoor fallers: Implications for prevention programs. *Archives of gerontology and geriatrics*, 72, 19-24.
- Chippendale, T., Gentile, P. A., James, M. K., & Melnic, G. (2017). Indoor and outdoor falls among older adult trauma patients: A comparison of patient characteristics, associated factors and outcomes. *Geriatrics & gerontology international*, 17(6), 905-912.
- Cho, B. L., Scarpace, D., & Alexander, N. B. (2004). Tests of stepping as indicators of mobility, balance, and fall risk in balance-impaired older adults. *Journal of the American Geriatrics Society*, 52(7), 1168-1173. doi: 10.1111/j.1532-5415.2004.52317.x

- Cigolle, C. T., Ha, J., Min, L. C., Lee, P. G., Gure, T. R., Alexander, N. B., & Blaum, C. S. (2015). The epidemiologic data on falls, 1998-2010: more older Americans report falling. *JAMA internal medicine*, 175(3), 443-445.
- Clemson, L., Cumming, R. G., & Heard, R. (2003). The development of an assessment to evaluate behavioral factors associated with falling. *American Journal of Occupational Therapy*, 57(4), 380-388.
- Cole, S., Balciotis, E., & Dunning, D. (2013). Affective signals of threat increase perceived proximity. *Psychological science*, 24(1), 34-40. doi: 10.1177/0956797612446953
- Cruz-Almeida, Y., & Fillingim, R. B. (2014). Can quantitative sensory testing move us closer to mechanism-based pain management?. *Pain medicine*, 15(1), 61-72.
- Dantoine, T., Pele, I., Meyer, S., & Tchalla, A. Études médico-économiques et chutes graves du sujet âgé: quelle évaluation pour les nouvelles technologies appliquées à la prévention? Réflexions à partir de l'exemple des systèmes de Détection.
- Davidson, R. J. (1992). Anterior cerebral asymmetry and the nature of emotion. *Brain and cognition*, 20(1), 125-151. doi:10.1016/0278-2626(92)90065-T
- Deakin, J., Aitken, M., Robbins, T., & Sahakian, B. J. (2004). Risk taking during decision-making in normal volunteers changes with age. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 10(4), 590-598.
- Decullier, E., Couris, C. M., Beauchet, O., Zamora, A., Annweiler, C., Dargent-Molina, P., & Schott, A. M. (2010). Falls' and fallers' profiles. *The journal of nutrition, health & aging*, 14(7), 602-608.
- Delbaere, K., Close, J. C., Mikolaizak, A. S., Sachdev, P. S., Brodaty, H., & Lord, S. R. (2010). The falls efficacy scale international (FES-I). A comprehensive longitudinal validation study. *Age and Ageing*, 39(2), 210-216. doi: 10.1093/ageing/afp225
- DeLucia, P. R., Bleckley, M. K., Meyer, L. E., & Bush, J. M. (2003). Judgments about collision in younger and older drivers. Transportation research part F: traffic psychology and behaviour, 6(1), 63-80.
- Delzenne, J.: La traversée de rue chez le piéton sénior: conception d'un simulateur, étude biomécanique et comportementale. Doctoral dissertation, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis (2013)
- Dommes, A., & Cavallo, V. (2011). The role of perceptual, cognitive, and motor abilities in street-crossing decisions of young and older pedestrians. *Ophthalmic and physiological optics*, 31(3), 292-301.
- Dommes, A., Cavallo, V., & Oxley, J. (2013). Functional declines as predictors of risky street-crossing decisions in older pedestrians. *Accident Analysis & Prevention*, 59, 135-143.

- Dommes, A., Cavallo, V., Dubuisson, J. B., Tournier, I., & Vienne, F. (2014). Crossing a two-way street: comparison of young and old pedestrians. *Journal of safety research*, 50, 27-34. Pubmed. doi: 10.1016/j.jsr.2014.03.008
- Dommes, A., Cavallo, V., Vienne, F., & Aillerie, I. (2012). Age-related differences in street-crossing safety before and after training of older pedestrians. *Accident Analysis & Prevention*, 44(1), 42-47.
- Doriot, N., & Wang, X. (2006). Effects of age and gender on maximum voluntary range of motion of the upper body joints. *Ergonomics*, 49(3), 269-281. doi: 10.1080/00140130500489873
- Duim, E., Lebrão, M. L., & Antunes, J. L. F. (2017). Walking speed of older people and pedestrian crossing time. *Journal of Transport & Health*, 5, 70-76.
- Dunbar, G. (2012). The relative risk of nearside accidents is high for the youngest and oldest pedestrians. *Accident Analysis & Prevention*, 45, 517-521.
- Dunbar, G., Holland, C. A., & Maylor, E. A. (2004). *Older pedestrians: a critical review of the literature*. Department of Transport.
- Eder, A. B., & Rothermund, K. (2008). When do motor behaviors (mis) match affective stimuli? An evaluative coding view of approach and avoidance reactions. *Journal of Experimental Psychology: General*, 137(2), 262.
- Fawver, B., Beatty, G. F., Naugle, K. M., Hass, C. J., & Janelle, C. M. (2015). Emotional state impacts center of pressure displacement before forward gait initiation. *Journal of applied biomechanics*, 31(1), 35-40. doi:10.1123/JAB.2013-0306
- Fawver, B., Hass, C. J., Park, K. D., & Janelle, C. M. (2014). Autobiographically recalled emotional states impact forward gait initiation as a function of motivational direction. *Emotion*, 14(6), 1125. doi:10.1037/a0037597
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). "Mini-mental state": a practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of psychiatric research*, 12(3), 189-198.
- Fontaine, H., & Gurllet, Y. (1997). Fatal pedestrian accidents in France: A typological analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 29(3), 303-312.
- Fraga, M. J., Cader, S. A., Ferreira, M. A., Giani, T. S., & Dantas, E. H. (2011). Aerobic resistance, functional autonomy and quality of life (QoL) of elderly women impacted by a recreation and walking program. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 52(1), e40-e43.
- Francis, G. (2012). Publication bias and the failure of replication in experimental psychology. *Psychonomic Bulletin & Review*, 19(6), 975-991.

- Frijda, N. H. (2009). Emotion experience and its varieties. *Emotion Review*, 1(3), 264-271. doi:10.1177/1754073909103595
- Fujimoto, A., Hori, H., Tamura, T., Hirai, T., Umemura, T., Iguchi, F., ... & Kusaka, Y. (2015). Relationships between estimation errors and falls in healthy aged dwellers. *Gerontology*, 61(2), 109-115. doi: 10.1159/000363571
- Gabell, A., & Nayak, U. S. L. (1984). The effect of age on variability in gait. *Journal of gerontology*, 39(6), 662-666.
- Gärling, T., Laitila, T., & Westin, K. (1998). *Theoretical foundations for travel choice modeling*. Elsevier.
- Garrard, J. (2009). Active transport: Children and young people. *VicHealth* (www.vichealth.vic.gov.au).
- Gates, T. J., Noyce, D. A., Bill, A. R., Van Ee, N., & Gates, T. J. (2006, January). Recommended walking speeds for pedestrian clearance timing based on pedestrian characteristics. In *Proceeding of TRB 2006 Annual Meeting*.
- Gélat, T., & Chapus, C. F. (2015). Reaction time in gait initiation depends on the time available for affective processing. *Neuroscience letters*, 609, 69-73. doi:10.1016/j.neulet.2015.10.003
- Gélat, T., Coudrat, L., & Le Pellec, A. (2011). Gait initiation is affected during emotional conflict. *Neuroscience letters*, 497(1), 64-67. doi:10.1016/j.neulet.2011.04.030
- Gillespie, L. D., Robertson, M. C., Gillespie, W. J., Sherrington, C., Gates, S., Clemson, L. M., & Lamb, S. E. (2012). Interventions for preventing falls in older people living in the community. *Cochrane database of systematic reviews*, (9).
- Golledge, R. G. (Ed.). (1999). *Wayfinding behavior: Cognitive mapping and other spatial processes*. JHU press.
- Goodwin, V. A., Richards, S. H., Taylor, R. S., Taylor, A. H., & Campbell, J. L. (2008). The effectiveness of exercise interventions for people with Parkinson's disease: A systematic review and meta-analysis. *Movement disorders*, 23(5), 631-640.
- Grabiner, P. C., Biswas, S. T., & Grabiner, M. D. (2001). Age-related changes in spatial and temporal gait variables. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 82(1), 31-35.
- Granié, M. A. (2008). Influence de l'adhésion aux stéréotypes de sexe sur la perception des comportements piétons chez l'adulte. *Recherche, transports, sécurité*, (101), 253-263.
- Grasso, R., Bianchi, L., & Lacquaniti, F. (1998). Motor patterns for human gait: backward versus forward locomotion. *Journal of Neurophysiology*, 80(4), 1868-1885.
- Gray, J. A., McNaughton, N. (2003) *The neuropsychology of anxiety: an enquiry into the function of the septo-hippocampal system*. Oxford University Press, Oxford

- Grillner, S., Deliagina, T., El Manira, A., Hill, R. H., Orlovsky, G. N., Wallén, P., ... & Lansner, A. (1995). Neural networks that co-ordinate locomotion and body orientation in lamprey. *Trends in neurosciences*, 18(6), 270-279.
- Grillner, S., McClellan, A., Sigvardt, K., Wallén, P., & Wilen, M. (1981). Activation of NMDA-receptors elicits “Fictive locomotion” in lamprey spinal cord in vitro. *Acta physiologica Scandinavica*, 113(4), 549-551.
- Groessler, E. J., Kaplan, R. M., Rejeski, W. J., Katula, J. A., King, A. C., Frierson, G., ... & Pahor, M. (2007). Health-related quality of life in older adults at risk for disability. *American journal of preventive medicine*, 33(3), 214-218.
- Guo, H., Wang, W., Guo, W., Jiang, X., & Bubb, H. (2012). Reliability analysis of pedestrian safety crossing in urban traffic environment. *Safety Science*, 50(4), 968-973.
- Haegerstrom-Portnoy, G., Schneck, M. E., & Brabyn, J. A. (1999). Seeing into old age: vision function beyond acuity. *Optometry and Vision Science*, 76(3), 141-158.
- Hainaut, J. P., Caillet, G., Lestienne, F. G., & Bolmont, B. (2011). The role of trait anxiety on static balance performance in control and anxiogenic situations. *Gait & posture*, 33(4), 604-608.
- Hajcak, G., & Olvet, D. M. (2008). The persistence of attention to emotion: brain potentials during and after picture presentation. *Emotion*, 8(2), 250.
- Hamer, M., & Chida, Y. (2008). Walking and primary prevention: a meta-analysis of prospective cohort studies. *British journal of sports medicine*, 42(4), 238-243.
- Hare, R., Wood, K., Britain, S., & Shadman, J. (1970). Autonomic responses to affective visual stimulation. *Psychophysiology*, 7(3), 408-417.
- Harrell, W. A. (1990). Perception of risk and curb standing at street corners by older pedestrians. *Perceptual and Motor Skills*, 70(3_suppl), 1363-1366. doi: 10.2466/pms.1990.70.3c.1363
- Harruff, R. C., Avery, A., & Alter-Pandya, A. S. (1998). Analysis of circumstances and injuries in 217 pedestrian traffic fatalities. *Accident Analysis & Prevention*, 30(1), 11-20.
- Hartholt, K. A., van Beeck, E. F., Polinder, S., van der Velde, N., van Lieshout, E. M., Panneman, M. J., ... & Patka, P. (2011). Societal consequences of falls in the older population: injuries, healthcare costs, and long-term reduced quality of life. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 71(3), 748-753.
- Hatfield, J., & Murphy, S. (2007). The effects of mobile phone use on pedestrian crossing behaviour at signalised and unsignalised intersections. *Accident analysis & prevention*, 39(1), 197-205.

- Hausdorff, J. M., Yogev, G., Springer, S., Simon, E. S., & Giladi, N. (2005). Walking is more like catching than tapping: gait in the elderly as a complex cognitive task. *Experimental Brain Research*, 164(4), 541-548. doi: 10.1007/s00221-005-2280-3
- Helbostad, J. L., Leirfall, S., Moe-Nilssen, R., & Sletvold, O. (2007). Physical fatigue affects gait characteristics in older persons. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 62(9), 1010-1015.
- Henary, B. Y., Ivarsson, J., & Crandall, J. R. (2006). The influence of age on the morbidity and mortality of pedestrian victims. *Traffic injury prevention*, 7(2), 182-190.
- Hétu, S., Taschereau-Dumouchel, V., Meziane, H. B., Jackson, P. L., & Mercier, C. (2016). Behavioral and TMS Markers of Action Observation Might Reflect Distinct Neuronal Processes. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, 458. doi: 10.3389/fnhum.2016.00458
- Hill, K., Schwarz, J., Flicker, L., & Carroll, S. (1999). Falls among healthy, community-dwelling, older women: a prospective study of frequency, circumstances, consequences and prediction accuracy. *Australian and New Zealand journal of public health*, 23(1), 41-48.
- Hilliard, M. J., Martinez, K. M., Janssen, I., Edwards, B., Mille, M. L., Zhang, Y., & Rogers, M. W. (2008). Lateral balance factors predict future falls in community-living older adults. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 89(9), 1708-1713.
- Hillman, C. H., Rosengren, K. S., & Smith, D. P. (2004). Emotion and motivated behavior: postural adjustments to affective picture viewing. *Biological psychology*, 66(1), 51-62.
- Hollman, J. H., McDade, E. M., & Petersen, R. C. (2011). Normative spatiotemporal gait parameters in older adults. *Gait & posture*, 34(1), 111-118. doi:10.1016/j.gaitpost.2011.03.024
- Horak, F. B. (2006). Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls?. *Age and ageing*, 35(suppl_2), ii7-ii11.
- Horslen, B. C., & Carpenter, M. G. (2011). Arousal, valence and their relative effects on postural control. *Experimental brain research*, 215(1), 27-34. doi: 10.1007/s00221-011-2867-9
- Hoxie, R. E., & Rubenstein, L. Z. (1994). Are older pedestrians allowed enough time to cross intersections safely?. *Journal of the American Geriatrics Society*, 42(3), 241-244.
- Hse (Health Service Executive). Strategy to prevent falls and fractures in Ireland's ageing population. Department of Health and Children and National Council on Ageing and Older people. 2008, 1-162
- Hull C. (1943), *Principles of Behavior*, New York, Appleton-Century-Crofts.
- Ilhanli, I., Guder, N., & Celik, C. (2016). STOP-Bang Test Results of a Randomly Selected Group of Fibromyalgia Patients. *American Journal of Clinical and Experimental Medicine*, 4(1), 1-6.

- Incidence de la survenue de stimulations émotionnelles sur la dynamique d'initiation d'une traversée de rue chez le piéton âgé. In N. Bonnardel, L. Pellegrin & H. Chaudet (Eds). Actes du Huitième colloque de psychologie ergonomique EPIQUE 2015, Paris : Arpege science Publishing, Aix en Provence, pp. 367-372, juillet.
- Insee, projections de population 2005-2050, scénario central et les six variantes qui ne diffèrent du scénario central que pour une composante.
- Ishida, M., Saitoh, J., Wada, M., & Nagai, M. (2010). Effects of anticipatory anxiety and visual input on postural sway in an aversive situation. *Neuroscience letters*, 474(1), 1-4.
- Islam, M. S., Serhiyenko, V., Ivan, J. N., Ravishanker, N., & Garder, P. E. (2014). Explaining pedestrian safety experience at urban and suburban street crossings considering observed conflicts and pedestrian counts. *Journal of Transportation Safety & Security*, 6(4), 335-355.
- Islam, S., & Hossain, A. B. (2015). Comparative analysis of injury severity resulting from pedestrian–motor vehicle and bicycle–motor vehicle crashes on roadways in Alabama. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2514), 79-87.
- Jang, J. A., Kim, J., & ChoI, K. (2016). An Investigation of Road Crossing Behaviour of Older Pedestrians at Unsignalized Crosswalk. *Journal of Korean Society of Transportation*, 34(3), 207-221.
- Jeannerod, M. (1994). The representing brain: Neural correlates of motor intention and imagery. *Behavioral and Brain Sciences*, 17(2), 187-202.
- Jensen, J., Nyberg, L., Gustafson, Y., & Lundin-Olsson, L. (2003). Fall and injury prevention in residential care—effects in residents with higher and lower levels of cognition. *Journal of the American Geriatrics Society*, 51(5), 627-635.
- Job, R. F. S., Haynes, J., Prabhakar, T., Lee, S. H. V., & Quach, J. (1998). Pedestrians at traffic light controlled intersections: Crossing behaviour in the elderly and nonelderly. In K. Smith & B. G. Aitken & R. H. Grzebieta (Eds.), *Proceedings of the Conference on Pedestrian Safety* (pp. 3-11). Canberra: Australian College of Road Safety and Federal Office of Road Safety.
- Joël, M. È. (2002). La consommation de médicaments des personnes âgées: éléments d'analyse économique. *Gérontologie et société*, 25(4), 29-38.
- Johnson, C. A., & Keltner, J. L. (1983). Incidence of visual field loss in 20,000 eyes and its relationship to driving performance. *Archives of Ophthalmology*, 101(3), 371-375.
- Kadaba, M. P., Ramakrishnan, H. K., Wootten, M. E., Gainey, J., Gorton, G., & Cochran, G. V. B. (1989). Repeatability of kinematic, kinetic, and electromyographic data in normal adult gait. *Journal of Orthopaedic Research*, 7(6), 849-860.

- Kanis, J. A. (2002). Diagnosis of osteoporosis and assessment of fracture risk. *The Lancet*, 359(9321), 1929-1936. doi:10.1016/S0140-6736(02)08761-5
- Kelsey, J. L., Berry, S. D., Procter-Gray, E., Quach, L., Nguyen, U. S. D., Li, W., ... & Hannan, M. T. (2010). Indoor and outdoor falls in older adults are different: the maintenance of balance, independent living, intellect, and Zest in the Elderly of Boston Study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 58(11), 2135-2141.
- Kelsey, J. L., Procter-Gray, E., Berry, S. D., Hannan, M. T., Kiel, D. P., Lipsitz, L. A., & Li, W. (2012). Reevaluating the implications of recurrent falls in older adults: location changes the inference. *Journal of the American Geriatrics Society*, 60(3), 517-524.
- Kelsey, J. L., Procter-Gray, E., Hannan, M. T., & Li, W. (2012). Heterogeneity of falls among older adults: implications for public health prevention. *American journal of public health*, 102(11), 2149-2156.
- Kim, J. K., Ulfarsson, G. F., Shankar, V. N., & Kim, S. (2008). Age and pedestrian injury severity in motor-vehicle crashes: A heteroskedastic logit analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 40(5), 1695-1702.
- Kim, J. K., Ulfarsson, G. F., Shankar, V. N., & Mannering, F. L. (2010). A note on modeling pedestrian-injury severity in motor-vehicle crashes with the mixed logit model. *Accident Analysis & Prevention*, 42(6), 1751-1758.
- Kim, S., & Ulfarsson, G. F. (2018). Traffic safety in an aging society: Analysis of older pedestrian crashes. *Journal of Transportation Safety & Security*, 1-10.
- King, M. B., Judge, J. O., & Wolfson, L. (1994). Functional base of support decreases with age. *Journal of gerontology*, 49(6), M258-M263. doi: 10.1093/geronj/49.6.M258
- Kirby, R. L., Price, N. A., & MacLeod, D. A. (1987). The influence of foot position on standing balance. *Journal of biomechanics*, 20(4), 423-427.
- Klein, J. T. (1990). *Interdisciplinarity: History, theory, and practice*. Wayne state university press.
- Kluft, N., Bruijn, S. M., Weijer, R. H., van Dieën, J. H., & Pijnappels, M. (2017a). On the validity and consistency of misjudgment of stepping ability in young and older adults. *PLoS one*, 12(12), e0190088. doi: 10.1371/journal.pone.0190088
- Kluft, N., Bruijn, S. M., Weijer, R. H., van Dieën, J. H., & Pijnappels, M. (2017). On the validity and consistency of misjudgment of stepping ability in young and older adults. *PloS one*, 12(12), e0190088.
- Kluft, N., van Dieën, J. H., & Pijnappels, M. (2017b). The degree of misjudgment between perceived and actual gait ability in older adults. *Gait & Posture*, 51, 275-280. doi: 10.1016/j.gaitpost.2016.10.019

- Knoblauch, R., Pietrucha, M., & Nitzburg, M. (1996). Field studies of pedestrian walking speed and start-up time. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1538), 27-38.
- Koch, S., Holland, R. W., Hengstler, M., & van Knippenberg, A. (2009). Body locomotion as regulatory process: Stepping backward enhances cognitive control. *Cognitive Control in Motion*, 81.
- Koepsell, T., McCloskey, L., Wolf, M., Moudon, A. V., Buchner, D., Kraus, J., & Patterson, M. (2002). Crosswalk markings and the risk of pedestrian–motor vehicle collisions in older pedestrians. *Jama*, 288(17), 2136-2143.
- Kuhlman, K. A. (1993). Cervical range of motion in the elderly. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 74(10), 1071-1079.
- Lafargue, G., Noël, M., & Luyat, M. (2013). In the elderly, failure to update internal models leads to over-optimistic predictions about upcoming actions. *PLoS One*, 8(1), e51218. doi: 10.1371/journal.pone.0051218
- Land, M. F. (2004). The coordination of rotations of the eyes, head and trunk in saccadic turns produced in natural situations. *Experimental brain research*, 159(2), 151-160.
- Lang P, Bradley M, Cuthbert B (2005) International affective picture system (IAPS): affective ratings of pictures and instruction Exp Brain Res (2017) 235:777–785 7851 3 manual. Technical Report A-6 Gainesville, University of Florida, USA
- Lang, P. J., Bradley, M. M., & Cuthbert, B. N. (1997). Motivated attention: Affect, activation, and action. *Attention and orienting: Sensory and motivational processes*, 97, 135.
- Lazarus, R. S. (1991). *Emotion and adaptation*. New York, NY: Oxford University Press on Demand.
- Le Jeannic, T. (2010). La mobilité des Français, panorama issu de l'enquête nationale transports et déplacements 2008. *Paris: ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement*.
- Leccardi, C. (2007). New Temporal Perspectives in the " High-Speed Society" 35. *Issues and Trends in Italian Sociology*, 111.
- Lecroart, A., Froment, O., Marbot, C., & Roy, D. (2013). Projection des populations âgées dépendantes: deux méthodes d'estimation. *Dossier solidarité santé*, (43).
- Legters, K. (2002). Fear of falling. *Physical therapy*, 82(3), 264-272.
- Li, W., Keegan, T. H., Sternfeld, B., Sidney, S., Quesenberry Jr, C. P., & Kelsey, J. L. (2006). Outdoor falls among middle-aged and older adults: a neglected public health problem. *American journal of public health*, 96(7), 1192-1200.

- Liddell, B. J., Brown, K. J., Kemp, A. H., Barton, M. J., Das, P., Peduto, A., ... & Williams, L. M. (2005). A direct brainstem–amygdala–cortical ‘alarm’ system for subliminal signals of fear. *Neuroimage*, 24(1), 235-243.
- Lin, M. R., Hwang, H. F., Hu, M. H., Wu, H. D. I., Wang, Y. W., & Huang, F. C. (2004). Psychometric comparisons of the timed up and go, one-leg stand, functional reach, and Tinetti balance measures in community-dwelling older people. *Journal of the American Geriatrics Society*, 52(8), 1343-1348.
- Lindemann, U., Lundin-Olsson, L., Hauer, K., Wengert, M., Becker, C., & Pfeiffer, K. (2008). Maximum step length as a potential screening tool for falls in non-disabled older adults living in the community. *Aging Clinical and Experimental Research*, 20(5), 394-399.
- Lipovac, K., Vujanic, M., Maric, B., & Nesic, M. (2012). Pedestrian behavior at signalized pedestrian crossings. *Journal of transportation engineering*, 139(2), 165-172.
- Liu-Ambrose, T., Ahamed, Y., Graf, P., Feldman, F., & Robinovitch, S. N. (2008). Older fallers with poor working memory overestimate their postural limits. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 89(7), 1335-1340. doi: 10.1016/j.apmr.2007.11.052
- Lobjois, R., & Cavallo, V. (2007). Age-related differences in street-crossing decisions: The effects of vehicle speed and time constraints on gap selection in an estimation task. *Accident Analysis & Prevention*, 39(5), 934-943.
- Lobjois, R., & Cavallo, V. (2009). The effects of aging on street-crossing behavior: from estimation to actual crossing. *Accident Analysis & Prevention*, 41(2), 259-267.
- Lord, S. R., Menz, H. B., & Sherrington, C. (2006). Home environment risk factors for falls in older people and the efficacy of home modifications. *Age and ageing*, 35(suppl_2), ii55-ii59.
- Lord, S. R., Sherrington, C., Menz, H., & Close, J. C. T. (2001). Falls in older people: Risk factors and strategies for prevention Cambridge University Press.
- Lord, S. R., Ward, J. A., Williams, P., & Anstey, K. J. (1993). An epidemiological study of falls in older community-dwelling women: the Randwick falls and fractures study. *Australian journal of public health*, 17(3), 240-245.
- Lord, S. R., Ward, J. A., Williams, P., & Anstey, K. J. (1994). Physiological factors associated with falls in older community-dwelling women. *Journal of the American Geriatrics Society*, 42(10), 1110-1117.
- Lupien, S. J., & Wan, N. (2004). Successful ageing: from cell to self. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 359(1449), 1413.

- Luukinen, H., Koski, K., Honkanen, R., & Kivelä, S. L. (1995). Incidence of injury-causing falls among older adults by place of residence: A population-based study. *Journal of the American geriatrics society*, 43(8), 871-876.
- Lythgo, N., Begg, R., & Best, R. (2007). Stepping responses made by elderly and young female adults to approach and accommodate known surface height changes. *Gait & posture*, 26(1), 82-89. doi: 10.1016/j.gaitpost.2006.07.006
- Mackenzie, L., Byles, J., & Higginbotham, N. (2002). A prospective community-based study of falls among older people in Australia: frequency, circumstances, and consequences. *OTJR: Occupation, Participation and Health*, 22(4), 143-152.
- Maden-Wilkinson, T. M., McPhee, J. S., Rittweger, J., Jones, D. A., & Degens, H. (2014). Thigh muscle volume in relation to age, sex and femur volume. *Age*, 36(1), 383-393.
- Maki, B. E. (1997). Gait changes in older adults: predictors of falls or indicators of fear?. *Journal of the American geriatrics society*, 45(3), 313-320. doi:10.1111/j.1532-5415.1997.tb00946.x
- Maki, B. E., Edmondstone, M. A., & McIlroy, W. E. (2000). Age-related differences in laterally directed compensatory stepping behavior. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 55(5), M270-M277. doi:10.1093/gerona/55.5.M270
- Maki, B. E., Edmondstone, M. A., & McIlroy, W. E. (2000). Age-related differences in laterally directed compensatory stepping behavior. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 55(5), M270-M277. doi: 10.1016/j.jelekin.2007.06.005
- Maki, B. E., Holliday, P. J., & Topper, A. K. (1991). Fear of falling and postural performance in the elderly. *Journal of gerontology*, 46(4), M123-M131.
- Maki, B. E., Holliday, P. J., & Topper, A. K. (1994). A prospective study of postural balance and risk of falling in an ambulatory and independent elderly population. *Journal of gerontology*, 49(2), M72-M84. doi: 10.1093/geronj/49.2.M72
- Marcilly, R., & Luyat, M. (2008). The role of eye height in judgment of an affordance of passage under a barrier. *Current Psychology Letters. Behaviour, Brain & Cognition*, 24(1, 2008).
- Markus, H. R., & Kitayama, S. (1991). Culture and the self: Implications for cognition, emotion, and motivation. *Psychological review*, 98(2), 224.
- Maxwell, S. E., Lau, M. Y., & Howard, G. S. (2015). Is psychology suffering from a replication crisis? What does “failure to replicate” really mean?. *American Psychologist*, 70(6), 487. doi:10.1037/a0039400
- Mbourou, G. A., Lajoie, Y., & Teasdale, N. (2003). Step length variability at gait initiation in elderly fallers and non-fallers, and young adults. *Gerontology*, 49(1), 21-26. doi: 10.1159/000066506

- McIlroy, W. E., & Maki, B. E. (1997). Preferred placement of the feet during quiet stance: development of a standardized foot placement for balance testing. *Clinical Biomechanics*, 12(1), 66-70. doi: 10.1016/S0268-0033(96)00040-X
- Medell, J. L., & Alexander, N. B. (2000). A clinical measure of maximal and rapid stepping in older women. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 55(8), M429-M433. doi: 10.1093/gerona/55.8.M429
- Menant, J. C., Steele, J. R., Menz, H. B., Munro, B. J., & Lord, S. R. (2009). Effects of walking surfaces and footwear on temporo-spatial gait parameters in young and older people. *Gait & posture*, 29(3), 392-397. doi:10.1016/j.gaitpost.2008.10.057
- Menz, H. B., Lord, S. R., & Fitzpatrick, R. C. (2003). Age-related differences in walking stability. *Age and ageing*, 32(2), 137-142.
- Mesulam, M. M. (1999). Spatial attention and neglect: parietal, frontal and cingulate contributions to the mental representation and attentional targeting of salient extrapersonal events. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 354(1387), 1325-1346.
- Michael, G. A., & Naveteur, J. (2011). The tickly homunculus and the origins of spontaneous sensations arising on the hands. *Consciousness and cognition*, 20(3), 603-617.
- Michael, G. A., Dupuy, M. A., Deleuze, A., Humblot, M., Simon, B., & Naveteur, J. (2012). Interacting effects of vision and attention in perceiving spontaneous sensations arising on the hands. *Experimental brain research*, 216(1), 21-34.
- Michael, G. A., Naveteur, J., Dupuy, M. A., & Jacquot, L. (2015). My heart is in my hands: the interoceptive nature of the spontaneous sensations felt on the hands. *Physiology & behavior*, 143, 113-120.
- Milat, A. J., Watson, W. L., Monger, C., Barr, M., Giffin, M., & Reid, M. (2011). Prevalence, circumstances and consequences of falls among community-dwelling older people: results of the 2009 NSW Falls Prevention Baseline Survey. *New South Wales public health bulletin*, 22(4), 43-48.
- Mitchell, R., Curtis, K., Watson, W. L., & Nau, T. (2010). Age differences in fall-related injury hospitalisations and trauma presentations. *Australasian journal on ageing*, 29(3), 117-125.
- Mourey, F., Manckoundia, P., & Pfitzenmeyer, P. (2009). La peur de tomber et ses conséquences: mise au point Fear of falling and its consequences: the current situation. *Les cahiers de l'année gériatologique*, 1(2), 102-108.
- Murayama, K., Pekrun, R., & Fiedler, K. (2014). Research practices that can prevent an inflation of false-positive rates. *Personality and Social Psychology Review*, 18(2), 107-118.

- Naugle, K. M., Hass, C. J., Joyner, J., Coombes, S. A., & Janelle, C. M. (2011). Emotional state affects the initiation of forward gait. *Emotion, 11*(2), 267. doi:10.1037/a0022577
- Naugle, K. M., Hass, C. J., Joyner, J., Coombes, S. A., & Janelle, C. M. (2011). Emotional state affects the initiation of forward gait. *Emotion, 11*(2), 267.
- Naugle, K. M., Joyner, J., Hass, C. J., & Janelle, C. M. (2010). Emotional influences on locomotor behavior. *Journal of biomechanics, 43*(16), 3099-3103. doi:10.1016/j.jbiomech.2010.08.008
- Naumann, R. B., Dellinger, A. M., Haileyesus, T., & Ryan, G. W. (2011). Older adult pedestrian injuries in the United States: causes and contributing circumstances. *International journal of injury control and safety promotion, 18*(1), 65-73.
- Naveteur, J., Delzenne, J., Sockeel, P., Watelain, E., & Dupuy, M. A. (2013). Crosswalk time estimation and time perception: An experimental study among older female pedestrians. *Accident Analysis & Prevention, 60*, 42-49. doi: 10.1016/j.aap.2013.08.014
- Naveteur, J., Dupuy, M. A., Gabrielli, F., & Michael, G. A. (2015). How we perceive our own hands: Effects of attention, aging, and sex. *Somatosensory & motor research, 32*(4), 227-235.
- Nevitt, M. C., Cummings, S. R., & Study of Osteoporotic Fractures Research Group. (1993). Type of fall and risk of hip and wrist fractures: the study of osteoporotic fractures. *Journal of the American Geriatrics Society, 41*(11), 1226-1234.
- Noël, M., Bernard, A., & Luyat, M. (2011). The overestimation of performance: a specific bias of aging? *Gériatrie et Psychologie Neuropsychiatrie du Vieillissement, 9*(3), 287-294. doi: 10.1684/pnv.2011.0290
- Nummenmaa, L., Glerean, E., Hari, R., & Hietanen, J. K. (2014). Bodily maps of emotions. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 111*(2), 646-651.
- Nummenmaa, L., Hyönä, J., & Calvo, M. G. (2006). Eye movement assessment of selective attentional capture by emotional pictures. *Emotion, 6*(2), 257.
- Nyman, S. R., Ballinger, C., Phillips, J. E., & Newton, R. (2013). Characteristics of outdoor falls among older people: a qualitative study. *BMC geriatrics, 13*(1), 125.
- O'Hern, S., Oxley, J., & Logan, D. (2015). Older adults at increased risk as pedestrians in Victoria, Australia: an examination of crash characteristics and injury outcomes. *Traffic injury prevention, 16*(sup2), S161-S167.
- Ohno, H., Wada, M., Saitoh, J., Sunaga, N., & Nagai, M. (2004). The effect of anxiety on postural control in humans depends on visual information processing. *Neuroscience letters, 364*(1), 37-39.

- Okimoto, A., Toriyama, M., Deie, M., & Maejima, H. (2017). Decline of Hip Joint Movement Relates to Overestimation of Maximum Forward Reach in Elderly Persons. *Journal of Motor Behavior*, 49(6), 611-618. doi: 10.1080/00222895.2016.1250714
- O'Loughlin, J. L., Boivin, J. F., Robitaille, Y., & Suissa, S. (1994). Falls among the elderly: distinguishing indoor and outdoor risk factors in Canada. *Journal of epidemiology and community health*, 48(5), 488.
- Open Science Collaboration. (2015). Estimating the reproducibility of psychological science. *Science*, 349(6251), aac4716.
- Oxley, J. A., Ihlen, E., Fildes, B. N., Charlton, J. L., & Day, R. H. (2005). Crossing roads safely: an experimental study of age differences in gap selection by pedestrians. *Accident Analysis & Prevention*, 37(5), 962-971.
- Oxley, J., & Charlton, J. (2009). Attitudes to and mobility impacts of driving cessation: differences between current and former drivers. *Topics in Geriatric Rehabilitation*, 25(1), 43-54.
- Oxley, J., Fildes, B., & Dewar, R. (2004). Safety of older pedestrians. *Transportation in an ageing society: A Decade of Experience, Proceedings*, 27, 167-191.
- Oxley, J., Fildes, B., Ihlen, E., Charlton, J., & Day, R. (1997). Differences in traffic judgements between young and old adult pedestrians. *Accident Analysis & Prevention*, 29(6), 839-847.
- Oxley, J., O'Hern, S., Burt, D., & Rossiter, B. (2018). Falling while walking: a hidden contributor to pedestrian injury. *Accident Analysis & Prevention*, 114, 77-82.
- Peel, N. M. (2011). Epidemiology of falls in older age. *Canadian Journal on Aging/La Revue canadienne du vieillissement*, 30(1), 7-19.
- Personnier, P., Kubicki, A., Laroche, D., & Papaxanthis, C. (2010). Temporal features of imagined locomotion in normal aging. *Neuroscience Letters*, 476(3), 146-149. doi:10.1016/j.neulet.2010.04.017
- Phaf, R. H., Mohr, S. E., Rottevel, M., & Wicherts, J. M. (2014). Approach, avoidance, and affect: a meta-analysis of approach-avoidance tendencies in manual reaction time tasks. *Frontiers in psychology*, 5, 378. doi:10.3389/fpsyg.2014.00378
- Piitulainen, H., Seipäjärvä, S., Avela, J., Parviainen, T., & Walker, S. (2018). Cortical proprioceptive processing is altered by aging. *Frontiers in aging neuroscience*, 10.
- Podsiadlo, D., & Richardson, S. (1991). The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *Journal of the American Geriatrics Society*, 39(2), 142-148. doi: 10.1111/j.1532-5415.1991.tb01616.x
- Potocanac, Z., Hoogkamer, W., Carpes, F. P., Pijnappels, M., Verschueren, S. M., & Duysens, J. (2014). Response inhibition during avoidance of virtual obstacles while walking. *Gait & posture*, 39(1), 641-644. doi:10.1016/j.gaitpost.2013.07.125

- Prince, F., Corriveau, H., Hébert, R., & Winter, D. A. (1997). Gait in the elderly. *Gait & posture*, 5(2), 128-135.
- Projections des populations âgées dépendantes », Dossiers solidarité et santé no 43, Drees, 2013.
- Quah, C., Boulton, C., & Moran, C. (2011). The influence of socioeconomic status on the incidence, outcome and mortality of fractures of the hip. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, 93(6), 801-805.
- Reason, J. (1990). *Human error*. Cambridge university press.
- Reason, J. (2013). A life in error. *From little slips to big disasters*, Asgate.
- Ren, G., Zhou, Z., Wang, W., Zhang, Y., & Wang, W. (2011). Crossing behaviors of pedestrians at signalized intersections: observational study and survey in China. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2264), 65-73.
- Riley, M. W., & Riley Jr, J. W. (1994). Structural lag: Past and future.
- Robinovitch, S. N., & Cronin, T. (1999). Perception of postural limits in elderly nursing home and day care participants. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*, 54(3), B124-B130.
- Rowe, J. W., & Kahn, R. L. (1987). Human aging: usual and successful. *Science*, 237(4811), 143-149.
- Rowe, J. W., & Kahn, R. L. (1997). Successful aging. *The gerontologist*, 37(4), 433-440.
- Rubenstein, L. Z. (2006). Falls in older people: epidemiology, risk factors and strategies for prevention. *Age and ageing*, 35(suppl_2), ii37-ii41.
- Rubin, D. B. (1997). Estimating causal effects from large data sets using propensity scores. *Annals of internal medicine*, 127(8_Part_2), 757-763.
- Rush, K. L., Murphy, M. A., & Kozak, J. F. (2012). A photovoice study of older adults' conceptualizations of risk. *Journal of Aging Studies*, 26(4), 448-458. doi: 10.1016/j.jaging.2012.06.004
- Saimpont, A., Malouin, F., Tousignant, B., & Jackson, P. L. (2012). The influence of body configuration on motor imagery of walking in younger and older adults. *Neuroscience*, 222, 49-57. doi: 10.1016/j.neuroscience.2012.06.066
- Sakamoto, Y., & Ohashi, Y. (2016). Characteristics of tasks utilized for evaluation of judgment errors in the elderly. *Journal of Physical Therapy Science*, 28(10), 2877-2882. doi: 10.1589/jpts.28.2877
- Sakurai, R., Fujiwara, Y., Ishihara, M., Higuchi, T., Uchida, H., & Imanaka, K. (2013). Age-related self-overestimation of step-over ability in healthy older adults and its relationship to fall risk. *BMC Geriatrics*, 13(1), 44. doi: 10.1186/1471-2318-13-44

- Sakurai, R., Fujiwara, Y., Ishihara, M., Yasunaga, M., Ogawa, S., Suzuki, H., & Imanaka, K. (2017a). Self-estimation of physical ability in stepping over an obstacle is not mediated by visual height perception: a comparison between young and older adults. *Psychological Research*, 81(4), 740-749. doi: 10.1007/s00426-016-0779-9
- Sakurai, R., Fujiwara, Y., Sakuma, N., Suzuki, H., Ishihara, M., Higuchi, T., & Imanaka, K. (2014). Influential factors affecting age-related self-overestimation of step-over ability: focusing on frequency of going outdoors and executive function. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 59(3), 577-583. doi: 10.1016/j.archger.2014.07.017
- Sakurai, R., Fujiwara, Y., Yasunaga, M., Suzuki, H., Murayama, Y., Imanaka, K., ... & Ishii, K. (2016). Neural correlates of older adults' self-overestimation of stepping-over ability. *Age*, 38(4), 351-361. doi: 10.1007/s11357-016-9932-z

- Sakurai, R., Fujiwara, Y., Yasunaga, M., Suzuki, H., Sakuma, N., Imanaka, K., & Montero-Odasso, M. (2017b). Older adults with fear of falling show deficits in motor imagery of gait. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, 21(6), 721-726. doi: 10.1007/s12603-016-0811-1
- Schachter, S., & Singer, J. (1962). Cognitive, social, and physiological determinants of emotional state. *Psychological review*, 69(5), 379.
- Scheffer, A. C., Schuurmans, M. J., Van Dijk, N., Van Der Hooft, T., & De Rooij, S. E. (2008). Fear of falling: measurement strategy, prevalence, risk factors and consequences among older persons. *Age and ageing*, 37(1), 19-24.
- Schenkman, M., Shipp, K. M., Chandler, J., Studenski, S. A., & Kuchibhatla, M. (1996). Relationships between mobility of axial structures and physical performance. *Physical therapy*, 76(3), 276-285.
- Schiff, W., Oldak, R., & Shah, V. (1992). Aging persons' estimates of vehicular motion. *Psychology and aging*, 7(4), 518.
- Schott, N. (2012). Age-related differences in motor imagery: Working memory as a mediator. *Experimental Aging Research*, 38(5), 559-583. doi: 10.1080/0361073X.2012.726045
- Schott, N., & Munzert, J. (2007). Temporal accuracy of motor imagery in older women. *International Journal of Sport Psychology*.
- Schrager, M. A., Kelly, V. E., Price, R., Ferrucci, L., & Shumway-Cook, A. (2008). The effects of age on medio-lateral stability during normal and narrow base walking. *Gait & posture*, 28(3), 466-471. doi: 10.1016/j.gaitpost.2008.02.009
- Scialfa, C. T., Guzy, L. T., Leibowitz, H. W., Garvey, P. M., & Tyrrell, R. A. (1991). Age differences in estimating vehicle velocity. *Psychology and aging*, 6(1), 60.
- Shinar, D., & Schieber, F. (1991). Visual requirements for safety and mobility of older drivers. *Human factors*, 33(5), 507-519.
- Shkuratova, N., Morris, M. E., & Huxham, F. (2004). Effects of age on balance control during walking¹. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 85(4), 582-588.
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. (2000). Attentional demands and postural control: the effect of sensory context. *Journals of Gerontology-Biological Sciences and Medical Sciences*, 55(1), M10.
- Simone, P. M., & Haas, A. L. (2013). Frailty, leisure activity and functional status in older adults: Relationship with subjective well being. *Clinical Gerontologist*, 36(4), 275-293.
- Snowden, R. J., & Kavanagh, E. (2006). Motion perception in the ageing visual system: Minimum motion, motion coherence, and speed discrimination thresholds. *Perception*, 35(1), 9-24.

- Spencer, R. J., Wendell, C. R., Giggey, P. P., Katzel, L. I., Lefkowitz, D. M., Siegel, E. L., & Waldstein, S. R. (2013). Psychometric limitations of the mini-mental state examination among nondemented older adults: an evaluation of neurocognitive and magnetic resonance imaging correlates. *Experimental Aging Research*, 39(4), 382-397. doi: 10.1080/0361073X.2013.808109
- Steffen, T. M., Hacker, T. A., & Mollinger, L. (2002). Age-and gender-related test performance in community-dwelling elderly people: Six-Minute Walk Test, Berg Balance Scale, Timed Up & Go Test, and gait speeds. *Physical therapy*, 82(2), 128-137.
- Stel, V. S., Smit, J. H., Pluijm, S. M., & Lips, P. (2004). Consequences of falling in older men and women and risk factors for health service use and functional decline. *Age and ageing*, 33(1), 58-65.
- Stephan, E., Ousset, P. J., Lafont, C., Hostier, P., Vellas, B., & Albaredo, J. L. (1995). L'évaluation du sujet âgé en médecine gériatrique. *L'Année gériatrique*, 9, 251-272.
- Stins, J. F., & Beek, P. J. (2011). Organization of voluntary stepping in response to emotion-inducing pictures. *Gait & posture*, 34(2), 164-168. doi:10.1016/j.gaitpost.2011.04.002
- Stins, J. F., Lobel, A., Roelofs, K., & Beek, P. J. (2014). Social embodiment in directional stepping behavior. *Cognitive processing*, 15(3), 245-252.
- Stins, J. F., Roelofs, K., Villan, J., Kooijman, K., Hagenaars, M. A., & Beek, P. J. (2011). Walk to me when I smile, step back when I'm angry: emotional faces modulate whole-body approach-avoidance behaviors. *Experimental brain research*, 212(4), 603-611. doi:10.1007/s00221-011-2767-z
- Stins, J. F., van Gelder, L. M., Oudenhoven, L. M., & Beek, P. J. (2015). Biomechanical organization of gait initiation depends on the timing of affective processing. *Gait & posture*, 41(1), 159-163. doi:10.1016/j.gaitpost.2014.09.020
- Stolof, E., McGee, H., & Eccles, K. A. (2007). Pedestrian signal safety for older persons.
- Sugovic, M., & Witt, J. K. (2013). An older view on distance perception: Older adults perceive walkable extents as farther. *Experimental Brain Research*, 226(3), 383-391. doi: 10.1016/j.aap.2016.02.031
- Tamietto, M., & De Gelder, B. (2010). Neural bases of the non-conscious perception of emotional signals. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(10), 697. doi:10.1038/nrn2889
- Tapiro, H., Borowsky, A., Oron-Gilad, T., & Parmet, Y. (2016, September). Where do older pedestrians glance before deciding to cross a simulated two-lane road? A pedestrian simulator paradigm. In *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting* (Vol. 60, No. 1, pp. 11-15). Sage CA: Los Angeles, CA: Sage Publications.

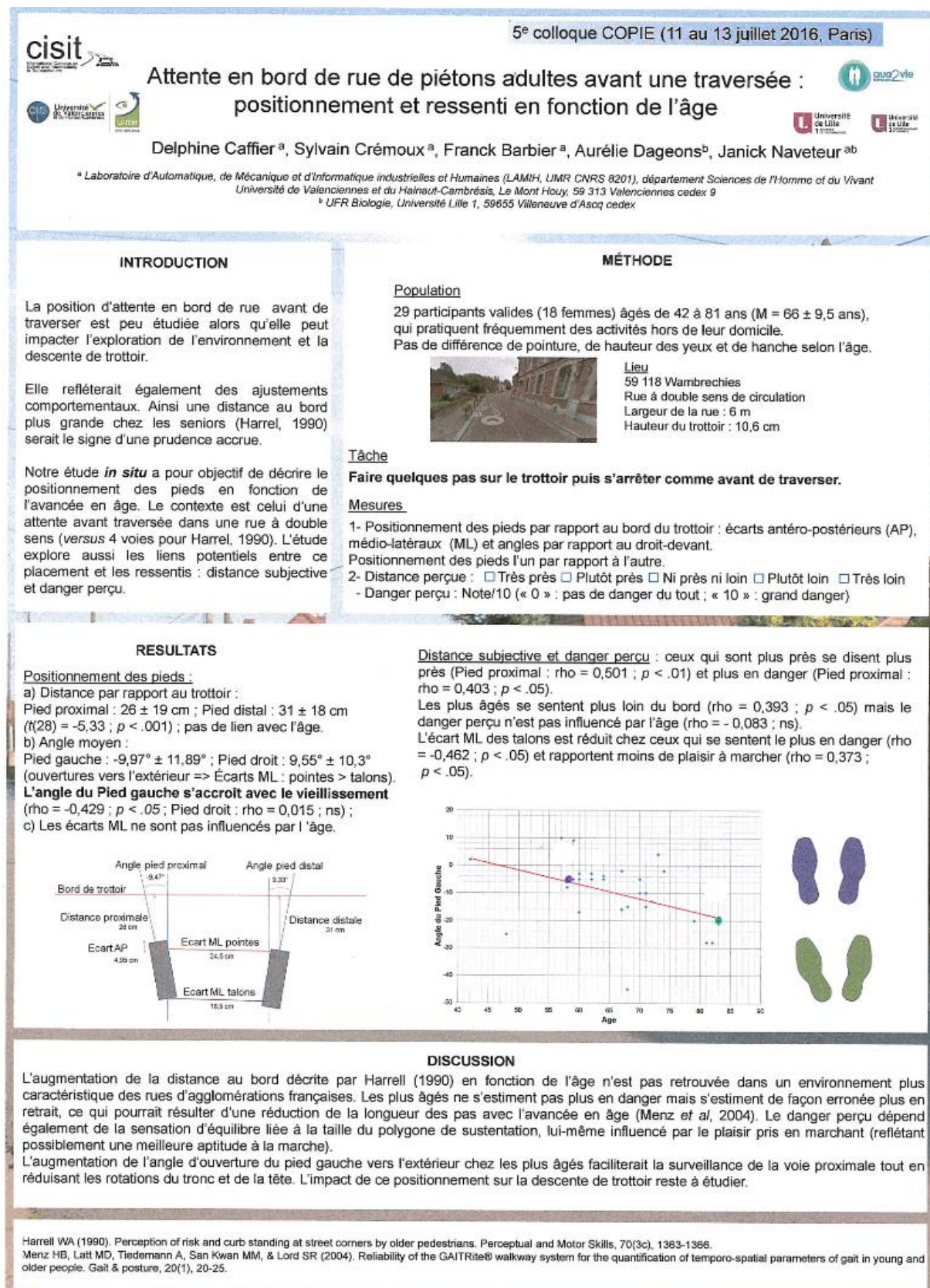
- Teixeira, I. N. D. A. O. (2008). Literature review on the concepts and definitions of frailty in elderly. *Revista Brasileira em Promocao da Saude*, 21(4), 297.
- Thélot, B., Pédrone, G., & Lasbeur, L. (2018). Epidemiological surveillance of falls in the elderly in France. *Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique*, 66, S336.
- Thomas, C. (2011). Briefing: Minimum effective kerb height for blind and partially sighted people. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Municipal Engineer* (Vol. 164, No. 1, pp. 11-13). Thomas Telford Ltd.
- Thomas, R. (2010). *Marcher en ville: faire corps, prendre corps, donner corps aux ambiances urbaines*. Archives contemporaines.
- Thorstensson, A. (1986). How is the normal locomotor program modified to produce backward walking?. *Experimental Brain Research*, 61(3), 664-668.
- Tinetti, M. E. (1986). Performance-oriented assessment of mobility problems in elderly patients. *Journal of the American Geriatrics Society*, 34(2), 119-126.
- Tinetti, M. E., Doucette, J., Claus, E., & Marottoli, R. (1995). Risk factors for serious injury during falls by older persons in the community. *Journal of the American geriatrics society*, 43(11), 1214-1221.
- Tournier, I., Dommès, A., & Cavallo, V. (2016). Review of safety and mobility issues among older pedestrians. *Accident Analysis & Prevention*, 91, 24-35.
- Ulfarsson, G. F., Kim, S., & Booth, K. M. (2010). Analyzing fault in pedestrian–motor vehicle crashes in North Carolina. *Accident Analysis & Prevention*, 42(6), 1805-1813.
- van Reekum, C. M., Johnstone, T., Urry, H. L., Thurow, M. E., Schaefer, H. S., Alexander, A. L., & Davidson, R. J. (2007). Gaze fixations predict brain activation during the voluntary regulation of picture-induced negative affect. *Neuroimage*, 36(3), 1041-1055.
- Vassallo, M., Sharma, J. C., & Allen, S. C. (2002). Characteristics of single fallers and recurrent fallers among hospital in-patients. *Gerontology*, 48(3), 147-150.
- Verlinden, V. J., van der Geest, J. N., Hoogendam, Y. Y., Hofman, A., Breteler, M. M., & Ikram, M. A. (2013). Gait patterns in a community-dwelling population aged 50 years and older. *Gait & posture*, 37(4), 500-505.
- Vieira, E. R., Lim, H. H., Brunt, D., Hallal, C. Z., Kinsey, L., Errington, L., & Gonçalves, M. (2015). Temporo-spatial gait parameters during street crossing conditions: a comparison between younger and older adults. *Gait & posture*, 41(2), 510-515.
- Vilensky, J. A., & Larson, S. G. (1989). Primate locomotion: utilization and control of symmetrical gaits. *Annual review of Anthropology*, 18(1), 17-35.

- Wang, J., Huang, H., & Zeng, Q. (2017). The effect of zonal factors in estimating crash risks by transportation modes: Motor vehicle, bicycle and pedestrian. *Accident Analysis & Prevention*, 98, 223-231.
- Waters, R. L., & Mulroy, S. (1999). The energy expenditure of normal and pathologic gait. *Gait & posture*, 9(3), 207-231.
- Watson, D., Clark, L. A., & Tellegen, A. (1988). Development and validation of brief measures of positive and negative affect: the PANAS scales. *Journal of personality and social psychology*, 54(6), 1063.
- Webber, S. C., Porter, M. M., & Menec, V. H. (2010). Mobility in older adults: a comprehensive framework. *The Gerontologist*, 50(4), 443-450.
- Who (World Health Organization). Global report on falls prevention in older age. World Health Organization, France, 2007.
- Wilde, G. J. (1982). The theory of risk homeostasis: implications for safety and health. *Risk analysis*, 2(4), 209-225. doi: 10.1111/j.1539-6924.1982.tb01384.x
- Winter, D. A. (1995). Human balance and posture control during standing and walking. *Gait & posture*, 3(4), 193-214.
- Winter, D. A., Patla, A. E., Frank, J. S., & Walt, S. E. (1990). Biomechanical walking pattern changes in the fit and healthy elderly. *Physical therapy*, 70(6), 340-347.
- Wolpert, D. M., Ghahramani, Z., & Jordan, M. I. (1995). An internal model for sensorimotor integration. *Science*, 269(5232), 1880-1882.
- Woolf, S. H., & Aron, L. Y. (2013). The US health disadvantage relative to other high-income countries: findings from a National Research Council/Institute of Medicine report. *Jama*, 309(8), 771-772.
- Woollacott, M. H., & Pei-Fang, T. (1997). Balance control during walking in the older adult: research and its implications. *Physical therapy*, 77(6), 646.
- Xu, D., Hong, Y., Li, J., & Chan, K. (2004). Effect of tai chi exercise on proprioception of ankle and knee joints in old people. *British Journal of Sports Medicine*, 38(1), 50-54.
- Yeom, H. A., Fleury, J., & Keller, C. (2008). Risk factors for mobility limitation in community-dwelling older adults: a social ecological perspective. *Geriatric nursing*, 29(2), 133-140.
- Yiou, E., Gendre, M., Deroche, T., & Bozec, S. L. (2014). Influence of emotion on the biomechanical organization of backward and forward step initiation. *Motor control*, 18(4), 368-382.
- Zhuang, X., & Wu, C. (2011). Pedestrians' crossing behaviors and safety at unmarked roadway in China. *Accident analysis & prevention*, 43(6), 1927-1936.

- Zhuang, X., & Wu, C. (2012). The safety margin and perceived safety of pedestrians at unmarked roadway. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 15(2), 119-131.
- Zito, G. A., Cazzoli, D., Scheffler, L., Jäger, M., Müri, R. M., Mosimann, U. P., ... & Nef, T. (2015). Street crossing behavior in younger and older pedestrians: an eye-and head-tracking study. *BMC geriatrics*, 15(1), 176.
- Zivotofsky, A. Z., Eldror, E., Mandel, R., & Rosenbloom, T. (2012). Misjudging their own steps: why elderly people have trouble crossing the road. *Human Factors*, 54(4), 600-607. doi: 10.1177/0018720812447945

ANNEXES

Annexe 1 : poster COPIE



Annexe 2 : questionnaire en bord de rue en C2 et C3

Code participant : _____

Sexe : ☐ F ☐ M

Date de naissance : / /

Fréquentation de la rue : ☐ Parfois ☐ Souvent ☐ Très souvent

1. Avez-vous des activités qui vous font sortir de chez vous (courses, club...) ? Si, oui :

☐ Rarement ☐ Parfois ☐ Souvent ☐ Très souvent

2. Estimez la durée totale de vos déplacements à pied par jour quand le temps le permet :

☐ Moins de 10 min ☐ Entre 30 min et une heure

☐ Entre 10 min et 30 min ☐ Plus d'une heure

3. Aimez-vous marcher ?

☐ Pas du tout ☐ Un peu ☐ Modérément ☐ Beaucoup ☐ Énormément

4. La marche est-elle importante pour votre autonomie ?

☐ Pas du tout ☐ Un peu ☐ Modérément ☐ Beaucoup ☐ Énormément

5. Avez-vous fait une (des) chute(s) ces dernières années ?

☐ Oui ☐ Non - Si oui, dans la rue ? ☐ Oui ☐ Non

6. Est-ce qu'il vous arrive d'avoir peur lorsque vous allez traverser une rue ?

☐ Jamais ☐ Rarement ☐ Parfois ☐ Souvent ☐ Très souvent

7 Avez-vous déjà été victime d'un accident en tant que piéton?

☐ Oui ☐ Non - Si oui, grave ? _____

8 Avez-vous des difficultés pour descendre un trottoir ?

☐ Pas du tout ☐ Un peu ☐ Modérément ☐ Beaucoup ☐ Énormément

9. Avez-vous des problèmes de vue ou d'audition qui pourraient vous mettre en danger lorsque vous traversez ?

Vue : ☐ Pas du tout ☐ Un peu ☐ Modérément ☐ Beaucoup ☐ Énormément

Audition : ☐ Pas du tout ☐ Un peu ☐ Modérément ☐ Beaucoup ☐ Énormément

10. En tant que piéton, est-ce qu'il vous arrive de prendre des risques délibérément ?

☐ Jamais ☐ Rarement ☐ Parfois ☐ Souvent ☐ Très souvent

11. Avez-vous le permis de conduire ?

☐ Oui ☐ Non - Si oui, conduisez-vous encore ? ☐ Oui ☐ Non

Annexe 3 : informations sur le positionnement en bord de rue en C2 et C3

Code participant : _____

Pied dominant => « faites le geste de taper dans une balle avec votre pied » :

(1) G/D ; (2) G/D ; (3) G/D

Pointure : _____ Taille : _____ Hauteur des yeux : _____ Hauteur des hanches : _____

TEST – effectué deux fois en C3

Condition : _____ (précisée en C3)



Pied proximal (D, G, N)	Distance au bord (cm)	Écart antéro-postérieur (cm)	Écart médio latéral (cm)	Angle pied gauche (°)	Angle pied droit (°)

En C2 uniquement :

1. Par rapport au bord du trottoir, vous diriez que vous êtes ?

☐ Très près ☐ Plutôt près ☐ Ni près ni loin ☐ Plutôt loin ☐ Très loin

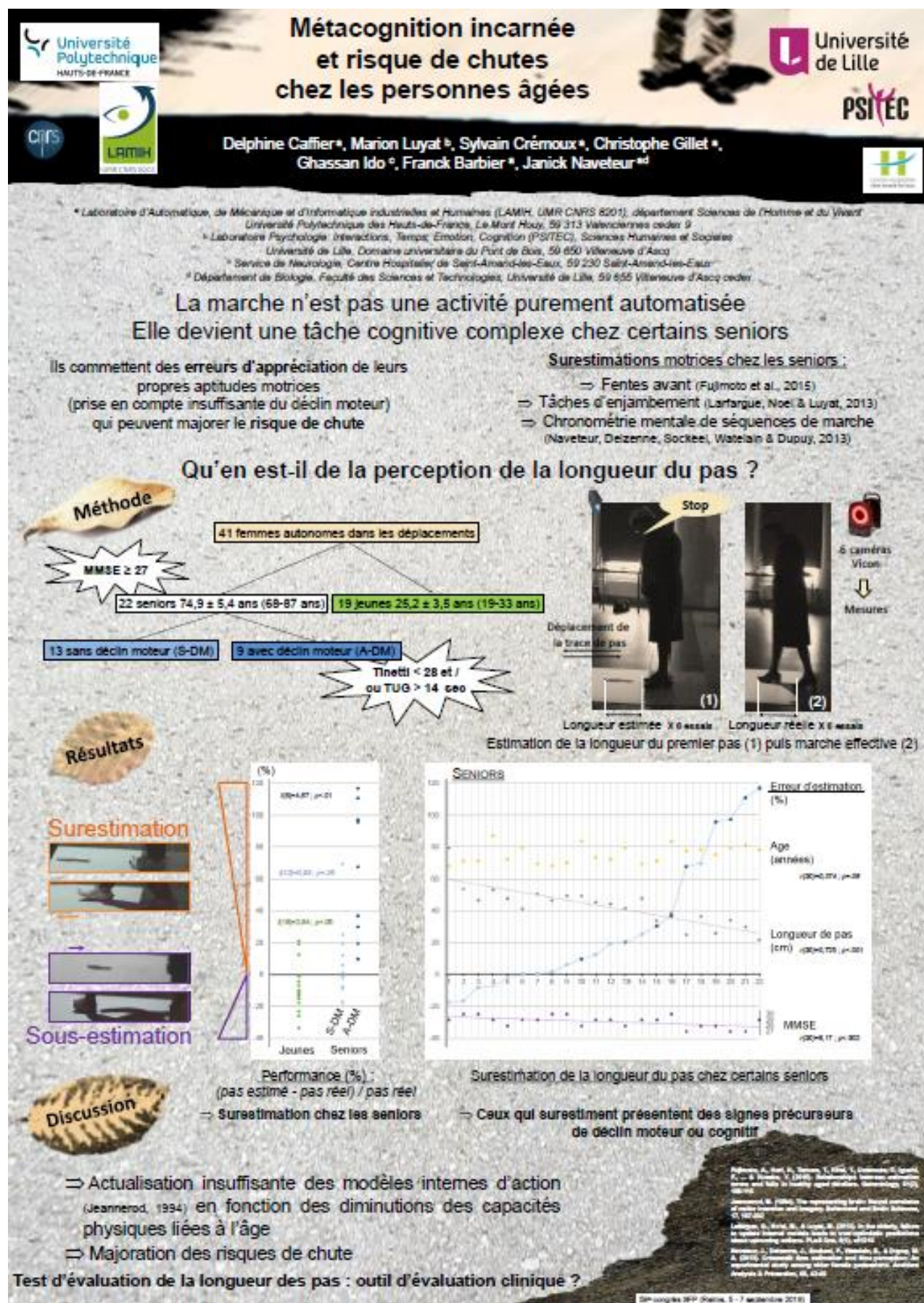
2. Estimer le danger que vous courez en étant comme cela en bord de rue ?

Donnez-moi une note entre 0 (pas de danger du tout) et 10 (grand danger)

Note : _____ /10, **Si** _____ **>** **5,**
pourquoi ? _____

REMARQUES

Annexe 4 : poster SFP



Annexe 5 : tableau bibliographique récapitulatif des études ayant comparées des estimations de performances (conditions imaginées) à des performances effectives sur des déplacements du corps entier chez des seniors

Nombre d'études inventoriées : 12 études

Période couverte : 1992-2017

Auteurs - Année	Participants	Age S	Age J	Tâche	Précision procédure	EFFET
Kluft et al (2017)	15 S 9 J	74 ± 5 a	24 ± 2a	Enjambement		Bonne estimation ∀ soit l'âge
Konczak et al (1992)	24J 24S	71 ± 6 a	23,5 ± 4,1 a	Enjambement		Seniors (21% surestimation, 16% sous-estimation et 62% bonne estimation) Jeunes (34% bonne estimation 62% sous-estimation et 4% surestimation]
Sakurai et al (2013)	71J 343S 151S+	60-74 a et > 74 a	18-35 a	Enjambement		Sous-estimation ∀ l'âge. Les plus âgés sous-estiment moins 28% chez les chuteurs surestiment contre 16% chez les non chuteurs
Sakurai et al (2017a)	16J 47S	74 ± 5 a	23 ± 5a	Enjambement		Sous-estimation
Sakurai et al (2016b)	108S	74 ± 5 a		Enjambement		Sous-estimation en majorité (22% de surestimation et 62% de sous-estimation]
Sakurai et al. (2014)	194S	74 ± 5 a		Enjambement		Sous-estimation (mais + de « surestimateurs » si peu de sorties)
Fujimoto et al. (2015)	174 (dont 33 chuteurs)	76 ± 6 a		Longueur de pas (MSL)	Réalisé avec le pied dominant	Surestimation chez les chuteurs / petite sous-estimation chez les non-chuteurs
Kluft et al (2017)	15 S 9 J	74 ± 5 a	24 ± 2 a	Longueur de pas (MSL)		Bonne estimation des seniors
Butler et al. (2011)	415	70-90 a		Reaching		Ceux qui ne vont pas loin : surestimation ou sous-estimation / ceux qui vont loin : bonne estimation

Auteurs - Année	Participants	Age S	Age J	Tâche	Précision procédure	EFFET
Cordova & Gabbard (2014)	17J 30S	67 ± 6 a	22 ± 3 a	Reaching	Images projetées sur table. Atteinte de cibles (espace intra- ou extra-personnel)	Sous-estimation en position debout surestimation en position assise / surestimation chez les J
Fujimoto et al. (2015)	174 (dt 33 chuteurs)	76 ± 6 a		Reaching	Barre avancée vers le participant	Tendance de sous-estimation chez les non-chuteurs
Gabbard et al (2010)	30J 23S	77 ± 8,6 a	20 ± 1,4 a	Reaching	Images projetées sur table. Atteinte de cibles (espace intra- ou extra-personnel)	Surestimation (plus importante dans l'espace extra-personnel)
Kluft et al (2017)	15 S 9 J	74 ± 5 a	24 a	Reaching		Bonne estimation des seniors
Liu-Ambrose et al. (2008)	33	79 ± 7 a		Reaching		Surestimation
Okimoto et al. (2017)	22J 20S	81 ± 1 a	21 ± 0 a	Reaching		Surestimation chez les seniors / jeune bonne estimation
Robinovitch & Cronin (1999)	46s 44j	71-94 a	21-50 a	Reaching		Surestimation chez les seniors / jeune bonne estimation
Sakamoto & Ohashi (2016)	94	63-87 a		Reaching		Sous-estimation
Sakamoto & Ohashi (2016)	94	63-87 a		Reaching		Sous-estimation
Skoura et al. (2008)	15J 15S	70 ± 2 a	23 ± 3 a	Reaching		Surestimation chez les seniors en condition difficile
Sughiara et al. (2006)	91 (dont 13 chuteurs)	81 ± 7 a		Reaching		+ de sur- et de sous-estimation chez chuteurs
Noël et al. (2011)	10J 10S	75,7 ± 6 a	24 ± 5 a	Enjambement		Surestimation
Skoura et al. (2005)	8J 16S (2 x 8) =>	64-68 et 72-75 a	19-23 a	Tâche assis-debout		Surestimation ↯ soit l'âge.

Auteurs - Année	Participants	Age S	Age J	Tâche	Précision procédure	EFFET
Butler et al. (2014)	300 S	77,4 ± 4,6 a		Tâche de marche	Capacité à effectuer le chemin choisi (erreur directe du placement latéral du pied)	Plus d'erreur chez les plus âgés (sur- et sous-estimation) Surestimation chez ceux a risque de chute.
Kalicinski & Raab (2013)	22J 20S	70-75 a	24-31 a	Tâche de marche		Sous-estimation ∀ soit l'âge
Kluft et al (2017)	27S	74 ± 6 a		Tâche de marche		Sur- et sous-estimation
Naveteur et al. (2013)	12J 24 S	64-73 et 74-91 a	22-31 a	Tâche de marche		Surestimation avec avancée en âge / sous-estimation si problème de marche ancien
Personnier et al. (2011)	18 (9 s)	71 ± 3 a	26 ± 3 a	Tâche de marche		Sous-estimation / jeunes bonne estimation
Saimpont et al. (2012)	26J 26s	65-81 a	19-28 a	Tâche de marche		Sous-estimation ∀ l'âge
Sakamoto & Ohashi (2017)	106	63-89 a		Tâche de marche	Comparer un modèle à leur performance	Surestimation
Sakamoto & Ohashi (2016)	94	63-87 a		Tâche de marche		Surestimation
Schott (2012)	40J 117S	60-69, 70-79, 80+ a	20-30 a	Tâche de marche		Surestimation
Schott & Munzert (2007)	12J 13,10 et 12S=>	57-69, 70-79, 80+ a	19-29 a	Tâche de marche		Surestimation chez les plus de 70 ans
Zivotofsky et al. (2006)	17J 19S	Femmes : 74 a Hommes : 79 a	Non précisé (étudiants)	Tâche de marche		Surestimation chez les seniors / bonne estimation chez les jeunes
Fujimoto et al. (2015)	174 (dont 33 chuteurs)	76 ± 6 a		Tâche d'équilibre	Levée de 20 cm jusqu'à la pose	Surestimation chez les chuteurs / petite sous-estimation chez les non chuteurs

Auteurs - Année	Participants	Age S	Age J	Tâche	Précision procédure	EFFET
Lafargue et al. (2013)	20J 20S	66-84 a	18-32 a	Tâche d'équilibre		surestimation
Lafargue et al. (2013)	20J 20S	66-84 a	18-32 a	Tâche d'équilibre		Surestimation chez les seniors / tendance sous-estimation chez les jeunes
Noel et al. (2008)	15J 15S	72 ± 7 a	24 ± 5 a	Tâche d'équilibre		Surestimation
Beauchet et al. (2010)	162 (36 J 124S)	86 ± 7 a	26 ± 2 a	Timed Up and Go	Réel avant imaginé	Surestimation
Bridenbaugh et al. (2013)	193 S	77 ± 6 a		Timed Up and Go	Réel avant imaginé	Surestimation
Fujimoto et al. (2015)	174 (dont 33 chuteurs)	76 ± 6 a		Timed Up and Go		Surestimation chez les chuteurs
Sakamoto & Ohashi (2016)	94	63-87 a		Timed Up and Go		Surestimation
Sakurai et al. (2017)	285 S	74 ± 6 a		Timed Up and Go		Surestimation plus important chez ceux à risque de chute

Annexe 6 : Mini Mental State Examination (Folstein et al., 1975)

Mini Mental State Examination (MMSE) (Version consensuelle du GRECO)

Orientation

/ 10

Je vais vous poser quelques questions pour apprécier comment fonctionne votre mémoire.

Les unes sont très simples, les autres un peu moins. Vous devez répondre du mieux que vous pouvez.

Quelle est la date complète d'aujourd'hui ? _____

Si la réponse est incorrecte ou incomplète, posez les questions restées sans réponse, dans l'ordre suivant :

1. En quelle année sommes-nous ?
2. En quelle saison ?
3. En quel mois ?
4. Quel jour du mois ?
5. Quel jour de la semaine ?

☐
☐
☐
☐
☐

Je vais vous poser maintenant quelques questions sur l'endroit où nous trouvons.

6. Quel est le nom de l'hôpital où nous sommes ?*
7. Dans quelle ville se trouve-t-il ?
8. Quel est le nom du département dans lequel est située cette ville ?**
9. Dans quelle province ou région est située ce département ?
10. A quel étage sommes-nous ?

☐
☐
☐
☐
☐

Apprentissage

/ 3

Je vais vous dire trois mots ; je vous voudrais que vous me les répétiez et que vous essayiez de les retenir car je vous les redemanderai tout à l'heure.

- | | | | | |
|------------|----|--------|----|----------|
| 11. Cigare | | Citron | | Fauteuil |
| 12. Fleur | ou | Clé | ou | Tulipe |
| 13. Porte | | Ballon | | Canard |

☐
☐
☐

Répéter les 3 mots.

Attention et calcul

/ 5

Voulez-vous compter à partir de 100 en retirant 7 à chaque fois ?*

- | | |
|-----|----|
| 14. | 93 |
| 15. | 86 |
| 16. | 79 |
| 17. | 72 |
| 18. | 65 |

☐
☐
☐
☐
☐

Pour tous les sujets, même pour ceux qui ont obtenu le maximum de points, demander :

Voulez-vous épeler le mot MONDE à l'envers ?**

Rappel

/ 3

Pouvez-vous me dire quels étaient les 3 mots que je vous ai demandés de répéter et de retenir tout à l'heure ?

- | | | | | |
|------------|----|--------|----|----------|
| 11. Cigare | | Citron | | Fauteuil |
| 12. Fleur | ou | Clé | ou | Tulipe |
| 13. Porte | | Ballon | | Canard |

☐
☐
☐

Langage

/ 8

Montrer un crayon.

22. Quel est le nom de cet objet ?*

Montrer votre montre.

23. Quel est le nom de cet objet ?**

24. Ecoutez bien et répétez après moi : « PAS DE MAIS, DE SI, NI DE ET »***

☐
☐
☐

Poser une feuille de papier sur le bureau, la montrer au sujet en lui disant : « Ecoutez bien et faites ce que je vais vous dire :

25. Prenez cette feuille de papier avec votre main droite,

26. Pliez-la en deux,

27. Et jetez-la par terre. »****

☐
☐
☐

Tendre au sujet une feuille de papier sur laquelle est écrit en gros caractère : « FERMEZ LES YEUX » et dire au sujet :

28. « Faites ce qui est écrit ».

☐

Tendre au sujet une feuille de papier et un stylo, en disant :

29. « Voulez-vous m'écrire une phrase, ce que vous voulez, mais une phrase entière. »*****

☐

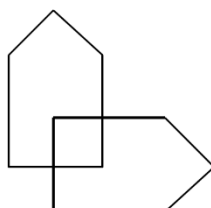
Praxies constructives

/ 1

Tendre au sujet une feuille de papier et lui demander : 30. « Voulez-vous recopier ce dessin ? »

☐

« FERMEZ LES YEUX »



Annexe 7 : Falls Efficacy Scale International (Mourey et al., 2009)

FES-I

Nous aimerions vous poser quelques questions qui ont pour but de déterminer si vous ressentez de l'inquiétude face à la possibilité de tomber. Répondez en pensant à la manière dont vous effectuez habituellement cette activité. Si actuellement vous ne faites pas cette activité (par exemple si quelqu'un fait les courses à votre place), répondez à la question en imaginant votre degré d'inquiétude **SI** vous réalisiez en réalité cette activité. Pour chacune des activités suivantes, mettez une croix dans la case qui correspond le plus à votre opinion et qui montre le degré d'inquiétude que vous ressentez face au fait de pouvoir tomber lors de la réalisation de cette activité.

		<i>Pas du tout inquiet 1</i>	<i>Un peu Inquiet 2</i>	<i>Assez Inquiet 3</i>	<i>Très Inquiet 4</i>
1	Faire votre ménage (par ex : balayer, passer l'aspirateur, ou la poussière)	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐
2	Vous habiller et vous déshabiller	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐
3	Préparer des repas simples	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐
4	Prendre une douche ou un bain	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐
5	Aller faire des courses	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐
6	Vous lever d'une chaise ou vous asseoir	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐
7	Monter ou descendre des escaliers	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐
8	Vous promener dehors dans le quartier	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐
9	Atteindre quelque chose au-dessus de votre tête ou par terre	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐
10	Aller répondre au téléphone avant qu'il s'arrête de sonner	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐
11	Marcher sur une surface glissante (par ex : mouillée ou verglacée)	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐
12	Rendre visite à un ami, ou à une connaissance	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐
13	Marcher dans un endroit où il y a beaucoup de monde	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐
14	Marcher sur un sol inégal (route caillouteuse, un trottoir non entretenu)	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐
15	Descendre ou monter une pente	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐
16	Sortir (par ex : service religieux, réunion de famille, rencontre d'une association)	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐

FES-I Swiss French translated by Prof Chantal Piot-Ziegler

Annexe 8 : test Tinetti (Tinetti, 1986)

1. Equilibre en position assise	• S'incline ou glisse sur la chaise • Stable, sûr	= 0 = 1	-
2. Lever	• Incapable sans aide • Capable mais utilise les bras pour s'aider • Capable sans utiliser les bras	= 0 = 1 = 2	-
3. Essai de se relever	• Incapable sans aide • Capable mais nécessite plus d'une tentative • Capable de se lever après une seule tentative	= 0 = 1 = 2	-
4. Equilibre en position debout (5 premières)	• Instable (titube, bouge les pieds, présente un balancement accentué du tronc) • Stable mais doit utiliser un déambulateur ou une canne ou saisir d'autres objets en guise de support • Stable en l'absence d'un déambulateur, d'une canne ou d'un autre support	= 0 = 1 = 2	-
5. Equilibre en position debout	• Instable • Stable avec un polygone de sustentation large (distance entre la partie interne des talons > 10 cm) ou utilise une canne, un déambulateur ou un autre support • Polygone de sustentation étroit sans support	= 0 = 1 = 2	-
6. Au cours d'une poussée (sujet en position debout avec les pieds rapprochés autant que possible, l'examineur pousse 3 fois légèrement le sternum du patient avec la paume)	• Commence à tomber • Chancelle, s'agrippe, mais maintient son équilibre • Stable	= 0 = 1 = 2	-
7. Les yeux fermés (même position que en 6)	• Instable • Stable	= 0 = 1	-
8. Rotation 360°	• Pas discontinus • Pas continus • Instable (s'agrippe, chancelle) • Stable	= 0 = 1 = 0 = 1	-
9. S'asseoir	• Hésitant (se trompe sur la distance, tombe dans la chaise) • Utilise les bras ou le mouvement est brusque • Stable, mouvement régulier	= 0 = 1 = 2	-
Score de l'équilibre :		- /16	
10. Initiation de la marche (immédiatement après l'ordre de marcher)	• Hésitations ou tentatives multiples • Sans hésitations	= 0 = 1	-
11. Longueur et hauteur du pas			
Balancement du pied droit	• Le pas ne dépasse pas le pied d'appui gauche • Le pas dépasse le pied d'appui gauche • Le pied droit ne quitte pas complètement le plancher • Le pied droit quitte complètement le plancher	= 0 = 1 = 0 = 1	-
Balancement du pied gauche	• Le pas ne dépasse pas le pied d'appui droit • Le pas dépasse le pied d'appui droit • Le pied gauche ne quitte pas complètement le plancher • Le pied gauche quitte complètement le plancher	= 0 = 1 = 0 = 1	-
12. Symétrie des pas	• Inégalité entre la longueur des pas du pied droit et gauche • Égalité des pas du pied droit et gauche	= 0 = 1	-
13. Continuité des pas	• Arrêt ou discontinuité des pas • Continuité des pas	= 0 = 1	-
14. Trajectoire (estimée par rapport à un carreau de 30 cm : observer le mouvement des pieds sur environ 3 m de trajet)	• Déviation marquée • Déviation légère ou modérée ou utilise un déambulateur • Marche droit sans aide	= 0 = 1 = 2	-
15. Tronc	• Balancement marqué ou utilisation d'un déambulateur • Sans balancement mais avec flexion des genoux ou du dos ou élargit les bras pendant la marche • Sans balancement, sans flexion, sans utilisation des bras et sans utilisation d'un déambulateur	= 0 = 1 = 2	-
16. Attitude pendant la marche	• Talons séparés • Talons presque se touchant pendant la marche	= 0 = 1	
Score de la marche :		- /12	
Score total (équilibre + marche) :		- /28	

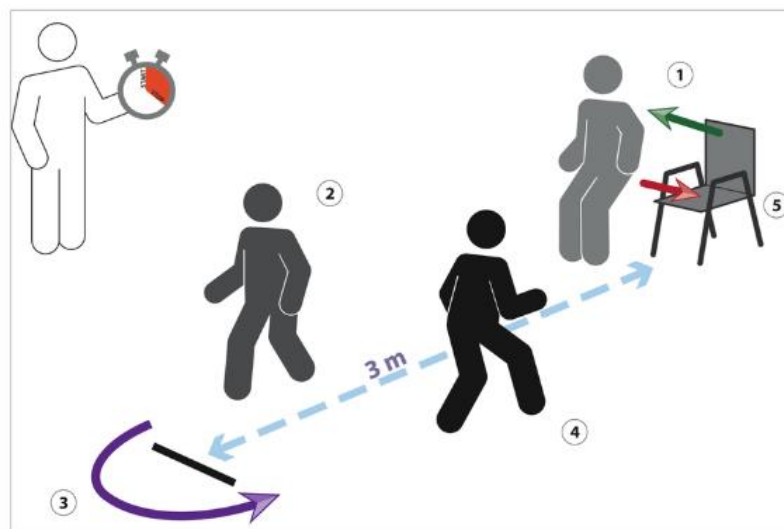
Annexe 9 : test Timed Up and Go (Podsiadlo & Richardson, 1991)

Matériel utilisé : un chronomètre, une chaise avec des accoudoirs d'une hauteur comprise entre 44 et 47 cm.

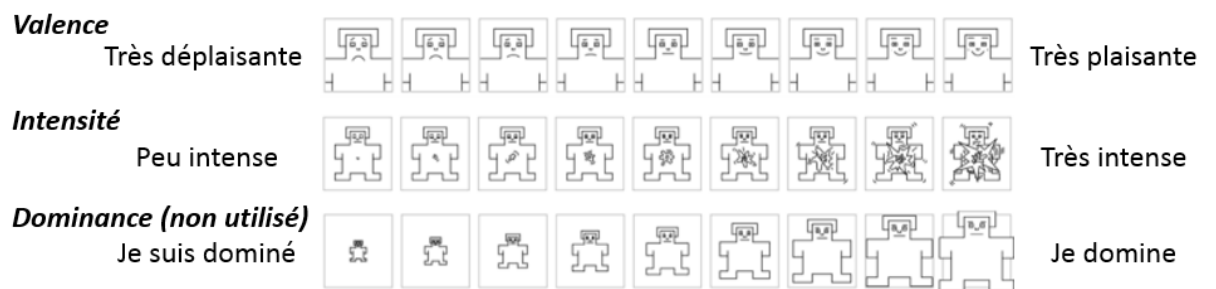
Durée du test : 5 minutes

Position initiale : le participant est assis, dos à la chaise avec les bras reposant sur les accoudoirs. Au signal (« à vos marques, prêt, partez »), le participant se lève (en essayant de ne pas prendre appui sur les accoudoirs) et marche à sa vitesse jusqu'à la ligne tracée (à une distance de 3 m), y faire demi-tour et revenir s'asseoir sur la chaise.

Résultat : le temps total (s) est retenu comme étant le score final. Le participant est considéré à risque de chute ou comme ayant des troubles de la locomotion si le score dépasse 12 à 14 secondes.



Annexe 10 : Self-Assessment Manikin (Bradley et Lang, 1994)



Annexe 11 : questionnaire utilisé dans les études sur l'estimation de la longueur de pas et sur l'impact émotionnel lors de l'initiation de la marche

Réservé à
l'expérimentation

Code participant :

Date de naissance : _____

Pied dominant : D / G

Pointure : _____

Longueur de la chaussure : _____ cm

Taille : 1m _____

Poids : _____ kg

Hauteur des hanches : _____ cm

Hauteur des yeux : 1 m _____

Niveau d'étude et/ou activité professionnelle réalisée (précisez même si vous êtes retraités) :

Activités pratiquées (sportives ou de loisirs) et nombre d'heures net par semaine :

1/ _____ = _____ h

2/ _____ = _____ h

3/ _____ = _____ h

4/ _____ = _____ h

5/ _____ = _____ h

6/ _____ = _____ h

Avez-vous déjà fait une chute:

☐ Oui

☐ Non

Si oui, à quand remonte cette chute : _____

Par rapport à vos activités de la vie quotidienne, vous pensez agir comme quelqu'un de quel âge ? _____ ans (*uniquement dans l'étude sur l'estimation de la longueur de pas – Chapitre 4*)

Annexe 12 : questionnaire sur les déplacements estimation de la longueur de pas / initiation de la marche

- 1- Quels sont les modes de déplacement que vous utilisez (voiture-conducteur, voiture-passager, marche à pied, transport en commun, vélo, ...) ?
Indiquez-les par ordre de fréquence d'utilisation décroissante (du plus utilisé au moins utilisé)

1/ _____

2/ _____

3/ _____

4/ _____

5/ _____

6/ _____

- 2- Estimez le temps total que vous passez hors de chez vous : _____ h / semaine

- 3- Estimez le temps total que vous passez à vous déplacer, quel que soit le mode de déplacement (voiture, transport en commun, vélo, marche à pied) :
_____ h / semaine

- 4- Estimez le temps total de vos déplacements à pied : _____ h / semaine

- 5- Quelle est la durée moyenne de vos déplacements à pied (cochez la colonne A) ? Pendant combien de temps pouvez-vous marcher sans fatigue ou difficulté (colonne B) ?

	A	B
- Moins de 10 min	☐	☐
- 10 à 20 min	☐	☐
- Environ 30 min	☐	☐
- Environ une heure	☐	☐
- Plus d'une heure	☐	☐

6- Êtes-vous accompagnée lors de vos déplacements ?

Jamais Rarement Parfois Souvent Très souvent

Si souvent ou très souvent, précisez pourquoi :

7- Pour chacune des phrases suivantes, **donnez une note de 0 à 10**, « 0 » si la phrase ne vous correspond pas du tout à « 10 » si elle vous correspond tout à fait (ex. « j'aime le chocolat », 0 si vous n'aimez pas du tout, 10 si vous adorez et une note intermédiaire si votre goût est moins tranché).

- « Les déplacements à pied sont importants pour mon autonomie. »

_____/10

- « Je ressens généralement du plaisir au cours d'un déplacement à pied. »

_____/10

- « J'appréhende de me déplacer à

_____/10

pied. »

- « En tant que piéton, je me sens

_____/10

vulnérable. »

Annexe 13 : questionnaire utilisé dans l'étude sur les ressentis corporels

Quelle est votre date de naissance ?

Avez-vous une prothèse de hanche ? ☐ Oui ☐ Non

Avez-vous une prothèse de genoux ? ☐ Oui ☐ Non

Avez-vous besoin d'une aide à la marche ? ☐ Oui ☐ Non

Avez-vous souvent des douleurs au niveau du cou, des hanches ou des genoux ?

☐ Oui ☐ Non

Avez-vous eu un accident de la route (piéton ou voiture) ces 6 derniers mois ?

☐ Oui ☐ Non

Avez-vous chuté ces 6 derniers mois ? ☐ Oui ☐ Non

Est-ce que vous avez des problèmes de vue qui pourraient vous mettre en danger avant de traverser ? ☐ Oui ☐ Non

Est-ce que vous avez des problèmes d'audition qui pourraient vous mettre en danger avant de traverser ? ☐ Oui ☐ Non

Annexe 14 : questionnaire sur les déplacements utilisé dans l'étude sur les ressentis corporels

Q1 : Avez-vous des activités qui vous font sortir de chez vous :

☐ Jamais ☐ Rarement ☐ Parfois ☐ Souvent ☐ Très souvent

Q2 : Quelle est la fréquence de vos déplacements à pieds quand le temps le permet :

☐ Moins d'une fois par semaine ☐ 3 fois par semaine
☐ 1 fois par semaine ☐ Tous les jours

Q3 : Estimez la durée moyenne de vos déplacements à pieds par jour :

☐ Moins de 10 min ☐ Entre 30 min et une heure
☐ Entre 10 et 30 min ☐ Plus d'une heure

Q4 : Est-ce qu'il vous arrive de ressentir du plaisir lors de vos déplacements à pied ?

☐ Jamais ☐ Rarement ☐ Parfois ☐ Souvent ☐ Très souvent

Q5 : Est-ce qu'il vous arrive d'avoir peur lorsque vous allez traverser une rue ?

☐ Jamais ☐ Rarement ☐ Parfois ☐ Souvent ☐ Très souvent

Q6 : Avez-vous déjà été victime d'un accident en tant que piéton ?

☐ Oui ☐ Non Si oui, dans quelles conséquences ?

Q7 : En tant que piéton, est-ce qu'il vous arrive de prendre des risques délibérément ?

☐ Jamais ☐ Rarement ☐ Parfois ☐ Souvent ☐ Très souvent

Si autre que jamais, quel type de risque prenez-vous ?

Q8 : Avant de traverser, vous regardez autour de vous :

En tournant uniquement votre tête :

☐ Jamais ☐ Rarement ☐ Parfois ☐ Souvent ☐ Très souvent

En tournant tout le haut de votre corps :

☐ Jamais ☐ Rarement ☐ Parfois ☐ Souvent ☐ Très souvent

En tournant votre corps entier (en adaptant la position de vos pieds) :

☐ Jamais ☐ Rarement ☐ Parfois ☐ Souvent ☐ Très souvent

Q9 : Avant de traverser, vous regardez des deux côtés de la rue ?

☐ Jamais ☐ Rarement ☐ Parfois ☐ Souvent ☐ Très souvent

Quand vous le faites, quel côté regardez-vous en premier ?

Annexe 15 : questionnaire utilisé dans l'étude sur les ressentis corporels

Consigne : *Pour cette position, je vais vous demander de noter les affirmations de 0 à 10 (0 correspond à « pas du tout » et 10 à « totalement »*

- Cette position d'attente est plutôt confortable, plutôt inconfortable ou ni l'un ni l'autre ? (pourquoi si inconfort)

Position 1 : ... / 10 Pourquoi ?

Position 2 : ... / 10 Pourquoi ?

- Dans cette position je me sens plutôt stable, plutôt instable ou ni l'un ni l'autre ?

Position 1 : ... / 10

Position 2 : ... / 10

Annexe 11 : Question sur le choix de la position

Consigne : *Pour finir, je vais vous demander de choisir entre les deux positions que vous avez prises précédemment.*

- En situations réelles, la position que vous adoptez spontanément avant de traverser ressemble :
 - ☐ Beaucoup à la position 1
 - ☐ Beaucoup à la position 2
 - ☐ Plutôt à la position 1
 - ☐ Plutôt à la position 2
 - ☐ Pas du tout aux positions 1 et 2

Pourquoi ?

Annexe 16 : questionnaire sur les images projetées

Remarques éventuelles :

.....

Annexe 17 : tableau bibliographique récapitulatif des études ayant comparées de l'impact de diapositives émotionnelles sur les caractéristiques de la marche

Nombre d'études inventoriées : 12 études

Période couverte : 2010-2017

E⁺ : images plaisantes
Erot : image érotique
Heu : image heureuse
Enf : image d'enfant
Sourir : image de personnes qui sourient
VieSau : image de vie sauvage
SportX : image de sport extrême

E⁻ : images déplaisantes
Att : images d'attaque
Mut : image de mutilation
Cont : image de contamination
Peur : image de peur
Col : image de colère
Dég : image suscitant le dégoût
Menac : image de menace
Tris : image de tristesse

N : image neutre

I⁺ : intensité forte
I⁻ : intensité faible

Onset : initiation de la marche à l'apparition de l'image
Offset : initiation de la marche à la disparition de l'image

a : ans ;

Av : avant
Arr : arrière

Tps : temps de mouvement
Lng : longueur de pas
Vit : vitesse de déplacement
Dep-CdP : déplacement du centre de pression
Tps Exp : temps d'exposition à l'image

JD : jambe dominante
JND : jambe non dominante

Auteurs Année	Participants	Images	Distance Taille d'écran	Départ	Durée de présentation	Marche	Evaluation SAM	Temps de réaction	Mouvement
Bouman et al. (2015)	F18 H14 (~ 23 a)	E+/E-/N 16 Erot / 16 SportX / 16 Mutil / 16 Menac / 16 N	Ecran à 1,5 m 55 inch	Offset	0,1 - 4 s	Vers l'avant	Arousal : E ⁻ > E ⁺	Tps Exp ↗ : ↘N Tps Exp ↗ : ↗E	Lng (Tps Exp ↗) : ↘ Vit (Tps Exp ↗) : Vit ↘
Bouman et Stins (2017)	F16 H14 (~ 24 a)	E+/E-/N 20 Erot / 20 Mut 20 N	Ecran à 30 cm 55 inch	Offset	2 - 4 s	Vers l'arrière	Valence : E+>N>E- Intensité : E- >E+>N		Lng : Erot > Mut
Fawver et al. (2016)	F14 H9 (~ 21 a)	Att-Tris-Erot-Heu- N	Non précisée (à + 4 pas) 36*50 cm	Offset	2 - 4 s	Vers l'avant (4 pas) Pas de déplacement si fond blanc			Dep-CP : Att > Heu & Erot
Gélat et al. (2011)	F9 H6 (20 - 32 a)	12 E ⁺ / 12 E ⁻ + N	Ecran à 5 m 95*160 cm	Onset	6 s	Vers l'avant Pas de déplacement si image neutre		E ⁺ > E ⁻	Tps : ns Lng 1 ^{er} pas : ns

Auteurs Année	Participants	Images	Distance Taille d'écran	Départ	Durée de présentation	Marche	Evaluation SAM	Temps de réaction	Mouvement
Gélat & Chapus (2015)	F11 H8 (18 - 26 a)	Valence et Intensité 10 E ⁺ I ⁺ / 10 E ⁺ I ⁻ / 10 E ⁻ I ⁺ / 10 E ⁻ I ⁻ / 14 N	Ecran à 5 m 86*125 cm	À l'apparition du mot « Go » sur l'image	0,5 - 3 s	Vers l'avant Pas de déplacement si image neutre	E ⁻ : 0,5 > 3 sec	0,5 : E ⁻ > E ⁺	
Naugle et al. (2010)	F17 H17 (~ 20 a)	E ⁺ /E ⁻ /N <i>Erot-Heu-Att- Mut-Con-N</i>	Ecran à 8 m 91*127 cm	Durant la marche	4 s	Vers l'avant			Lng 1 ^{er} pas : Er > Mut & Com Lng 2 ^{ème} pas : Er > Mut & Com Vit 1 ^{er} pas : Er > Com & Mut Vit 2 ^{èm} : Er > les autres
Naugle et al. (2011)	F17 H17 (étudiants)	Valence et Intensité 5 E ⁺ I ⁺ / 5 E ⁺ I ⁻ / 5 E ⁻ I ⁺ / 5 E ⁻ I ⁻ / 5 N	Ecran à 6 m 36*50 cm	Offset	2 - 4 s	Vers l'avant Pas de déplacement si image neutre		E ⁻ > E ⁺	Vit 1 ^{er} pas : E ⁺ I ⁻ > E ⁻ I ⁻ et E ⁻ I ⁺ Vit 2 ^{ème} pas : ns Lng : ns

Auteurs Année	Participants	Images	Distance Taille d'écran	Départ	Durée de présentation	Marche	Evaluation SAM	Temps de réaction	Mouvement
Stins & Beek (2011)	F16 H14 ($\approx$ 22 a)	24 E ⁻ : <i>Peur-Col-Mut-Deg</i> 24 E ⁺ : <i>Enf-Heu-Sourir-VieSau</i>	Ecran à 1 m 17 inch	Onset	5 s	Vers l'avant ou vers l'arrière (positif / négatif ou congruent / incongruent)	Intensité : E ⁻ > E ⁺	E ⁻ (avant) > E ⁺ (avant) & E ⁻ (arrière)	Lng 1 ^{er} pas : Av > Arr Tps : ns
Stins et al. (2011)	F52 (18 - 35 a)	E ⁺ /E ⁻ 80 visages : joie/colère	Ecran à 1 m 17 inch	Onset	3 s	Vers l'avant ou vers l'arrière (positif / négatif ou congruent / incongruent)		Avant : E ⁻ > E ⁺ E ⁺ : Av > Arr	Tps : Arr > Av Vit (Av) : ns Vit (Arr) : E ⁺ > E ⁻
Stins et al. (2014)	F24 ($\approx$ 21 a)	E ⁺ /E ⁻ 72 visages : <i>Heu-Trist-N</i>	Ecran à 1 m 17 inch	Onset	5 s	Vers l'avant ou vers l'arrière (homme / femme)		E ⁺ & N > E ⁻	Lng : Av > Arr Vit : ns

Auteurs Année	Participants	Images	Distance Taille d'écran	Départ	Durée de présentation	Marche	Evaluation SAM	Temps de réaction	Mouvement
Stins et al. (2015)	F16 H11 ($\approx$ 28 a)	5 E ⁺ I ⁺ / 5 E ⁺ I ⁻ / 5 E ⁻ I ⁺ / 5 E ⁻ I ⁻ / 5 N	Ecran à 1,5 m 17 inch	Onset / Offset	3 - 5 s	Vers l'avant Pas de déplacement fond blanc		Onset : E ⁻ > E ⁺ Offset : I ⁺ > I ⁻	Vit (Offset) : E ⁺ > E ⁻ Lng (Offset) : E ⁺ > E ⁻
Yiou et al. (2014)	F15 H16 ($\approx$ 26 a)	E ⁺ /E ⁻ /N <i>Mut / Erot /</i> N	Pas Av : 1,6 m Pas Arr : 0,6 m 86*67 cm	Onset		Vers l'avant ou vers l'arrière (positif / négati f * JD/JND)	Valence : E ⁺ > N > E ⁻ Arousal : E ⁻ > E ⁺ > N	Av : E ⁻ > E ⁺ Arr : ns	Vit (Arr) : N > E ⁺ Lng : ns

RÉSUMÉ

Dans un contexte de vieillissement général de la population et de mise en place de politiques en faveur des transports actifs, la mobilité du piéton senior retient l'attention à la fois en tant composante du bien-vieillir mais aussi en tant que facteur de risque de chutes ou d'accidents. L'objectif global de cette thèse est d'améliorer les connaissances relatives aux risques potentiels, d'une part, ceux liés au positionnement en bord de rue avant une traversée et, d'autre part, les conséquences motrices d'une confrontation à un danger sur la voie proximale lors de l'initiation de la marche. La première étude a été réalisée en bord de rue. Comparativement à des jeunes adultes, certains piétons âgés ouvrent davantage le pied gauche vers l'extérieur, facilitant l'exploration de la voie proximale. L'étude en laboratoire des ressentis corporels montre que ce positionnement avec ouverture du pied gauche sollicite moins de rotation du cou mais un peu plus de rotation des hanches ; il donne également une meilleure sensation de stabilité. In situ, il a aussi été constaté que certains piétons âgés se positionnent plus en retrait du bord du trottoir. Tentant d'en préciser les causes, une étude en laboratoire révèle que des seniors dont la marche présente des signes de déclin moteur sous-estiment la longueur de leur premier pas, possiblement en raison d'une mise à jour insuffisante du modèle d'action interne. Modélisant la découverte tardive d'un véhicule à l'approche lors de l'initiation d'une traversée, deux autres études en laboratoire ont été menées sur l'incidence de la survenue latérale d'une stimulation émotionnelle conditionnée par la levée du talon. Des déplacements médio-latéraux compatibles avec un comportement de retrait sont décrits dans la première étude, pour les deux premiers pas et sans distinction d'âge. Repris chez des jeunes adultes avec une présentation plus tardive des stimulations (conséquence d'une marche plus rapide), les données font ressortir un comportement d'approche lors du second pas. Ce résultat est mis en lien avec une capture attentionnelle par les images émotionnelles et non plus un effet réactif probablement plus proche des réactions in situ. Si la littérature sur l'entraînement décisionnel chez le piéton âgé est peu concluante, la conscientisation des comportements critiques que nous observons en bord de rue pourrait être plus facile et donc plus efficace. En l'état, l'intérêt des données concernant l'impact des émotions sur l'initiation de la marche relève davantage de la recherche fondamentale. Les résultats capitalisés suggèrent des prolongements quelle que soit l'étude, mais aussi des pistes de valorisation méthodologique.

Mots-clés : mobilité ; piéton ; vieillissement ; traversée de rue ; initiation de la marche ; interoception ; métacognition ; émotions.