

LAMIH-UMR CNRS 8201

Equipe DEMoH

Université de Valenciennes

Le Mont Houy

59313 Valenciennes cedex 9

+33 (0)3.27.51.13.50

Responsable des travaux

Garnier Cyril, LAMIH : +33 (0)3.27.51.11.18 ; cyril.garnier@univ-valenciennes.fr

Naveteur Janick, LAMIH : +33 (0)3.27.51.14.90 ; janick.naveteur@univ-valenciennes.fr

Watelain Eric, LAMIH : +33 (0)3.27.51.14.93 ; eric.watelain@univ-valenciennes.fr

Date de publication

Janvier 2014

Rapport final

Sénior en Ville à Pied :

**Etude biomécanique et psychophysiological
de l'initiation de la traversée de rue en milieu urbain
chez le piéton âgé**

Auteur(s)

Bourrelly Aurore, LAMIH : +33 (0)3.27.51.14.96 ; aurore.bourrelly@univ-valenciennes.fr

Naveteur Janick, LAMIH : +33 (0)3.27.51.14.90 ; janick.naveteur@univ-valenciennes.fr

Watelain Eric, LAMIH : +33 (0)3.27.51.14.93 ; eric.watelain@univ-valenciennes.fr

N° de contrat FSR

20091MPH IPISTES : Appel d'offres 2007

Date de notification du contrat

Conseil d'Administration de la Fondation Sécurité Routière en date du 22 avril 2009

Durée du contrat

Initiale : 36 mois

Report de 9 mois, Avenant n°1 du 18/09/2012

Nom du responsable FSR

Yves Page : yves.page@renault.com

Confidentialité

Non

Sommaire



Introduction	3
Partenaires et de répartition financière de l'aide	5
Synthèse des Livrables	6
Tâches annoncées vs travail réalisé	7
Bilan Financier	30
Conclusion générale	37
Bibliographie	38
Liste des publications scientifiques et valorisation du projet SEVAP	39
Liste des annexes	41

Introduction

Le projet *Seniors en Ville A Pied*, **SEVAP** (pilote par l'Université de Valenciennes – LAMIH UMR CNRS 8201) est une réponse au 1^{er} appel à projet de la Fondation Sécurité Routière (FSR) lancé en 2007. Initialement proposé seul, il avait pour objectif de se focaliser sur les premières étapes de la traversée de rue par le piéton âgé : la prise de décision, l'arrivée en bord de trottoir, la descente de celui-ci jusqu'à l'atteinte d'une vitesse de marche stabilisée. Pour cela, une approche d'analyse tridimensionnelle du mouvement et une étude des éléments biomécaniques et psychophysiologiques qui conditionnent la traversée de rue a été proposée. Sans que soient dénaturées ses ambitions initiales, ce projet a été regroupé avec d'autres projets portant sur la même thématique, pour créer un vaste programme de recherche sur le piéton. Une option d'imagerie médicale associée à l'analyse en simulateur a également été ajoutée.

SEVAP a finalement été financé dans le cadre du programme de recherche *PIétonS et comportement de Traversée de rueS*, **PISTES** – soutenu par la FSR. Il a été officialisé par la convention signée les 21 octobre et 22 décembre 2009 par les deux parties. PISTES était alors porté par un consortium de 20 partenaires issus du monde universitaire et de laboratoires de recherches publiques mais aussi de l'implication de grandes villes soucieuses de la sécurité de leur population. Ce dernier, se composait de quatre autres projets complémentaires, ayant un objectif commun et des objectifs spécifiques, consolidés entre eux par trois projets transversaux utiles aux cinq projets initiaux et en renforçant l'homogénéité. Il s'agissait des projets :

- Simulation de traversée de Carrefour par des Piétons (**SICAP**), piloté par l'IFSTTAR (Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux) au sein du LEPSIS (Laboratoire Exploitation, Perception, Simulateurs et Simulation) ;
- Aménagement Urbain et Conformité à la REglementation (**AUCRE**), piloté par l'Université Paris 8 au sein de l'unité de recherche CHArt (Cognition Humaine et Artificielle) ;
- Sécurité du Piéton Agé (**SEPIA**), piloté par l'IFSTTAR au sein du LEPSIS ;
- Prise de médicaments HYPnotiques et COMportement du PIéton A risque, (**HYPCOPIA**), piloté par l'Université de Caen au sein de l'équipe MCT (Mobilités Cognition et Temporalité).

Les trois projets transversaux étaient :

- « Observation des sites », PT1 (coordonné par IFSTTAR-MSIS),
- « Questionnaire et tests », PT2 (coordonné par IFSTTAR-LPC),
- « Scénarios et simulateurs », PT3 (coordonné par IFSTTAR-MSIS).

Malheureusement, le programme PISTES a été abandonné (27/05/2011) devant les difficultés de coopération et le manque d'homogénéité dans l'avancée des travaux. En son

sein, les projets HYPCOPIA, AUCRE et le PT3 ont également été abandonnés même si une partie du travail de PT3 incombant à SEVAP a été réalisée. Cette activité a été réinjectée dans les parties poursuivies.



Le projet SEVAP est arrivé à son terme et les engagements au sein des PT1 et PT2 respectés mais l'option d'imagerie a dû être abandonnée devant les difficultés rencontrées (Cf tâche 4.7). En compensation, une étude de laboratoire explorant l'incidence des modulations induites par le vieillissement sur la perception du temps dans un contexte de traversée de rue a été incluse dans le cadre de SEVAP. Son apport scientifique a renforcé les hypothèses théoriques de l'étude en simulateur. Sans reprendre les éléments présentés dans les livrables précédents (Cf. p 5) ni dans la thèse de science correspondant à ce projet (soutenue par Julie Delzenne le 12 décembre 2013 : Annexe 1), ce rapport présente essentiellement une synthèse de l'ensemble du travail réalisé et plus particulièrement l'expérimentation réalisée dans le simulateur conçu dans le cadre de ce projet.

Partenaires et répartition financière de l'aide

Partenaires

LAMIH UMR CNRS 8201, Laboratoire d'Automatique de Mécanique et d'Informatique industrielles et Humaines, Université de Valenciennes

CHRU de Lille :

- Hôpital Gériatrique des Bateliers, Hôpital Pierre Swynghedauw, Service de médecine physique et réadaptation,
- Service de Neurophysiologie Clinique (CHRU-Lille)

Handibio EA 4330: Equipe Biomodélisation des Handicaps, Université du Sud Toulon-Var

LNFP: UMR CNRS 8160 Laboratoire de Neurosciences Fonctionnelles et Pathologies, Equipe Perception et orientation dans l'espace 3D, Université de Lille

LSC EA 2445, Laboratoire des Sciences de la Communication, Le Mont Houy — Université de Valenciennes

TEVS Territoires, Villes, Environnement et Société — Equipe Mobilités et structuration des espaces métropolitains — Université des Sciences et des Technologies de Lille



Budget

Le montant global de l'Opération s'élève à 324 441 Euros HT.

L'assiette de l'aide est de 174 231 Euros HT.

Le taux d'aide proposée est de:

88,8% sur l'assiette pour l'Université de Valenciennes : - 85,1% pour LAMIH
- 3,7% pour LSC

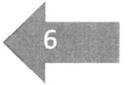
5,6% sur l'assiette pour CHRU Lille

3,5% sur l'assiette pour USTV

1% sur l'assiette pour LNFP

1,1% sur l'assiette pour TEVS

Synthèse des Livrables



Propres : SEVAP

Livrables	Date / Auteurs
Rapport d'étape (M6)	Novembre 2010 Eric Watelain / Julie Delzenne
Etat de l'art: Approche biomécanique & Psychophysique en simulateur (M12)	Février 2011 Julie Delzenne / Janick Naveteur / Eric Watelain
Rapport intermédiaire (M18)	Septembre 2011 Julie Delzenne / Eric Watelain / Janick Naveteur
Plateforme expérimentale d'analyse biomécanique & psychophysique de la traversée piétonnier sur le site de Valenciennes (M20 : Démontrable)	Février 2012 Visite du simulateur sur le site de valenciennes
Note d'information pour demande de report de fin de projet (+9)	Aout 2012 Eric Watelain / Janick Naveteur / Aurore Bourrelly
Etat d'avancement du projet SEVAP	Mars 2013 Eric Watelain
Rapport final (M45)	Janvier 2014 Aurore Bourrelly / Janick Naveteur / Eric Watelain

Collectifs : PT1

Livrables	Date / Auteurs
Projet Transversal PT1 'Recueil Vidéo et bases de données'	Février 2012 Jean-Michel Auberlet / Eric Watelain

Collectifs : PT2

Livrables	Date / Auteurs
Projet Transversal PT2 'Questionnaires et tests', Tome 1 : Synthèse	Juillet 2010 SEPIA / SEVAP / HYPCOPIA / AUCRE / SICAP / Marie-Axelle Granié
Projet Transversal PT2 'Questionnaires et tests', Tome 2 : Questionnaires	Décembre 2010 SEPIA / SEVAP / HYPCOPIA / AUCRE / SICAP / Marie-Axelle Granié
Projet Transversal PT2 'Questionnaires et tests', Tome 3 : Sélection de tests et questionnaires communs	Décembre 2010 Aurélie Dommes / Janick Naveteur

Tâches annoncées vs travail réalisé



Présentation générale

L'objet général du projet SEVAP est de contribuer à l'étude biomécanique et psychophysiologique du comportement de traversée de route en milieu urbain, chez le piéton âgé.

Pour cela, il se décompose en deux grands sous objectifs qui sont :

- d'une part, concevoir un simulateur de traversée de rue pour piéton, à partir d'images réelles, dispositif totalement sécurisé et intégrant des mesures biomécaniques et électrophysiologiques,
- et d'autres part, de réaliser une première série d'expérimentations, portant sur les premières phases de la traversée de rue, sur des sujets âgés, à partir d'images réelles de l'arrondissement de Valenciennes.

Le travail a été initialement découpé en 6 tâches, présentées rapidement dans cette partie pour une vue d'ensemble. Elles seront ensuite reprises plus en détails dans les parties suivantes. Les tâches ne sont pas tout à fait chronologiques. Les tâches 4.1 et 4.2 ainsi que 4.3 et 4.4 se sont déroulées en parallèle, bien que présentées successivement ici pour une meilleure lisibilité.

Tâche 4.1 Agencement matériel & logiciel (Responsable de tâche : Dr Eric Watelain, LAMIH, UVHC). Si le LAMIH possède une sérieuse expérience en termes de simulateurs (conception et exploitation de simulateurs : de conduite automobile, de conduite de train, de contrôle aérien...), il ne l'était pas en termes de simulateur de traversée de rue, tant d'un point de vue matériel que fonctionnel. Cette tâche a donc consisté en un travail qualitativement et quantitativement important. Globalement, la réalisation répond au cahier des charges.

Tâche 4.2 Enquêtes sociologiques et urbanistiques (Responsable de tâche : Pr Patricia Laudati, LSC, UVHC). Les urbanistes et architectes partenaires en charge de cette tâche sont aguerries à l'utilisation des questionnaires et entretiens. Ils ont notamment déterminé avec ces outils les bases des critères de choix des lieux à filmer pour projeter dans le simulateur ainsi que des éléments de perception du danger chez la personne âgée. Ces données ont ensuite été croisées avec l'étude accidentologique réalisée en complément du travail initialement prévu dans le projet.

Tâche 4.3 Réalisation audiovisuelle (Responsable de tâche : Gaëtan Parment, IE, département audiovisuel). Les compétences du département audiovisuel de l'UVHC ont été mises à contribution pour réaliser les séquences vidéo et le travail de post-production nécessaire à leur utilisation dans le simulateur lors des expérimentations. Le travail effectué par le partenaire a permis un fonctionnement répondant au cahier des charges ; à noter toutefois que la mise en œuvre s'est révélée beaucoup plus complexe qu'initialement estimée conduisant à restreindre les recueils sur un seul site.

Tâche 4.4 Pre-expérimentation (Responsables de tâche : Dr Janick Naveteur et Dr Rajaonah Bako, LAMIH, UVHC). Outre les vérifications techniques telles que la synchronisation des acquisitions biomécaniques et électrophysiologiques avec la vidéo ou encore l'absence de cinétoxe, des mesures supplémentaires telles que la vérification de la

perception des distances ou des vitesses dans le simulateur ont été ajoutées à cette tâche. En parallèle, au regard des premiers travaux, une approche complémentaire à celle du travail initialement prévu a également été ajoutée (présenté dès le rapport intermédiaire à 6 mois) et concerne l'étude du rôle que pourrait jouer l'accélération temporelle subjective liée à l'âge sur la traversée de rue. La phase de pré-expérimentation n'était pas planifiée en détails dans le cahier des charges. Elle a toutefois été effectuée avec le maximum de rigueur autorisée par le planning, tenant compte de délais non prévus dans l'agencement ultime du dispositif. La pré-expérimentation non planifiée, insérée dans SEVAP a exploité au mieux ces retards et compense en partie l'échec de mise en œuvre de l'expérimentation portant sur les indices électrophysiologiques centraux (cf. Tâche 4.7). Les pré-expérimentations mais aussi la réalisation audio-visuelle ont conduit à modifier sensiblement le plan d'expérience initialement envisagé à titre indicatif.

Tâche 4.5 Expérimentation (Responsable de tâche : Dr Aurore Bourrelly, LAMIH, UVHC). Cette première campagne de mesures dans le simulateur avait pour objectif d'étudier les effets de l'âge sur les stratégies décisionnelles et sensori-motrices avec, pour hypothèse, une interaction entre l'âge et les conditions de traversée qui pourrait notamment s'exercer sur des variables biomécaniques. Il s'agissait alors d'identifier des caractéristiques individuelles (motrices, cognitives, émotionnelles, habitudes de déplacement) susceptibles d'influencer le comportement de traversée et le ressenti de la situation. Outre des difficultés de recrutement des participants âgés (cf. ci-dessous), les expérimentations se sont déroulées sans incident. La charge de travail liée au traitement des données (extraction des paramètres et analyses statistiques) a été conséquente et a requis le développement de plusieurs codes de calculs spécifiques. Malgré l'automatisation, l'analyse transversale des données au niveau individuel impose de nombreuses vérifications, généralement effectuées par duplication des analyses et par une lecture très vigilante des fichiers de données. Cet investissement avait été sous-estimé dans la réponse à l'appel d'offre.

Tâche 4.6 Synthèse et perspectives (Responsable de tâche : Dr Janick Naveteur LAMIH, UVHC). La synthèse de l'approche à caractère pluridisciplinaire et ambitieux du projet a nécessité des incursions dans plusieurs disciplines (notamment urbanisme, audiovisuel, psychologie des transports, biomécanique et contrôle moteur). Ceci en rend d'autant plus complexe la synthèse mais permet cependant des contributions significatives à l'objet de recherche. Les prolongements de SEVAP actuellement en projet s'appuient sur cette synthèse. Ils devraient ultimement permettre d'envisager des propositions concrètes dans différents domaines applicatifs.

Tâche 4.1 Agencement matériel & Logiciel (Responsable de tâche : Dr Eric Watelain, LAMIH, UVHC)

La partie « matériel et logiciel » du simulateur a été réalisée en adéquation avec le projet initial que ce soit en termes de taille des écrans, de capacités de vidéo projection ou encore de capacités d'acquisition des données biomécaniques et électrophysiologique de SEVAP. Toutefois, une différence significative avec le projet initial concerne son utilisation avec la projection de 3 scènes issues de 3 points de vue au lieu de 5 initialement prévues. Ce choix s'est fait devant les difficultés rencontrées en post-production des images pour avoir un rendu réaliste et ne provoquant pas de saut d'images lors du passage d'un écran à l'autre. Cependant, le simulateur, tel qu'il est conçu actuellement, peut tout à fait restituer ces 5 images simultanément. Les coûts des matériels et logiciels s'élèvent à un peu plus de 50 k€

TTC dont 30k€ utilisés sur les fonds alloués par la FSR et le reste sur CISIT et sur fonds propres. Ce montant est assez proche de celui présenté dans le projet initial. Pour l'ensemble du projet SEVAP, s'ajoutent à ceci des dépenses de frais de mission pour 1,6 k€ et de salaires pour 42 k€, soit près de 75 k€ (43% du budget). Pour plus de détails, sur la conception du simulateur, nous renvoyons le lecteur au livrable 3 (18 mois) et à la thèse de Julie Delzenne (annexe 1) pour les aspects plus fonctionnels et descriptifs. Il est également possible de visualiser le rendu du simulateur sur la page internet du LAMIH de l'Université de Valenciennes avec le lien suivant : <http://univ-valenciennes.fr/LAMIH/simulateur-de-rue-pour-pietons> une vidéo de quelques minutes est également disponible à l'adresse suivante : http://eric.watelain.free.fr/Telecharger/SRP_presentation_rapide_2012.wmv.

Le simulateur est constitué de 5 écrans aux dimensions maximales définies en fonction de la taille de la salle d'expérimentation de 80 m² dont nous disposons et du recul nécessaire pour la vidéo projection. Ces écrans sont de dimensions 2,7 m * 2 m pour les écrans latéraux, 1,5 m * 2 m pour les écrans intermédiaires et 2 m * 2 m pour l'écran central. Les angles entre les écrans sont de 135° (Figures 1 & 2).

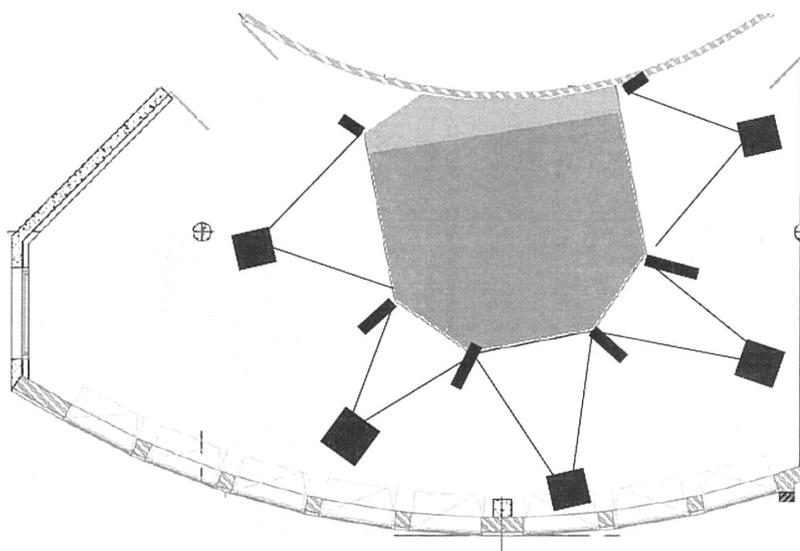


Figure 1 : Vue du dessus de l'insertion du simulateur (vert) dans la salle avec son trottoir (orange) ses 5 écrans. Les vidéo projecteurs (bleu) permettent une projection arrière des images sur les écrans. Les traits noirs associés aux écrans représentent des caches évitant la superposition des images.

Un harnais de sécurité permet d'assurer une protection maximale des participants en limitant les risques de chute sans pour autant entraver la liberté de mouvement. Une mini caméra placée à l'intersection entre l'écran central et l'écran intermédiaire de droite permet depuis le poste de contrôle un retour visuel permanent sur le sujet. L'ossature portant les écrans est présentée dans la figure 2.

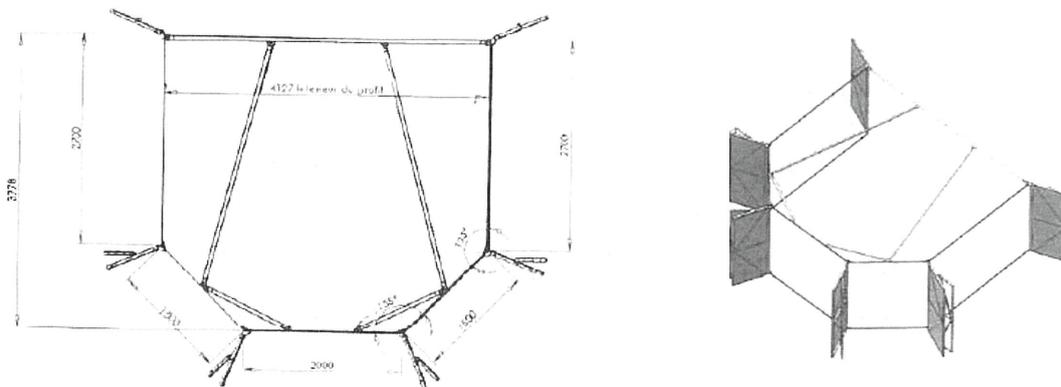


Figure 2 : Ossature portant les écrans de rétroprojection.

A l'intérieur du simulateur, un plancher intégral permet l'insertion des plateformes de force qui, confondues avec le niveau du sol, sont rendues invisibles du participant. L'ajout éventuel d'un trottoir reste compatible avec leur fonctionnement. Le plancher améliore également le rendu de la jonction entre le sol et les écrans. L'ensemble est recouvert d'un Lino imitant la couleur qu'une route. Une ligne blanche discontinue de séparation des voies, dans la continuité de celle des images, complète le réalisme et le raccordement images/sol. Le simulateur en cours d'utilisation est présenté sur la Figure 3.



Figure 3 : A gauche, un sujet âgé est en position d'attente. A droite, un sujet jeune initie son premier pas de traversée, chaque pied étant disposé à cet instant sur une plateforme de forces. Le harnais jaune de sécurité est relié à un rail suspendu au plafond sécurisant ainsi la traversée. Le trottoir amovible est présent dans cette condition.

L'acquisition synchronisée des signaux est réalisée à partir d'un système Vicon Nexus (© Oxford metrics) qui permet l'enregistrement simultané des données issues de la capture du mouvement à partir de 10 caméras, du système EMG zerowire à 16 voies, des 2 plateformes de forces, et d'une source vidéo enrichie (cf. partie synchronisation de la tâche 4.4).

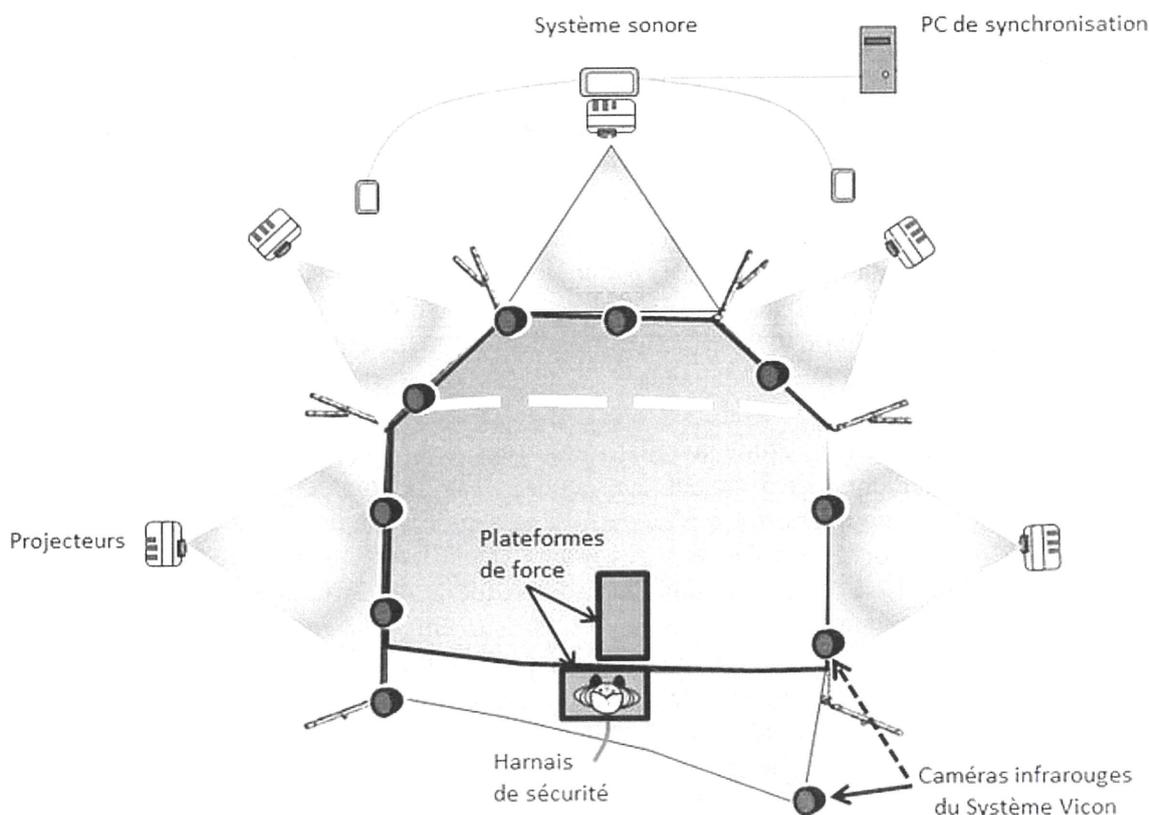


Figure 4. Placement des caméras (en rouge) pour la capture du mouvement.

Après sa conception, différents aspects des performances du simulateur ont été testés. La perception des distances et des vitesses de véhicules ont été évaluées, au même titre que le ressenti des participants en terme de réalisme du simulateur et d'occurrence de cinétose. Les conclusions seront présentées dans la partie 4.4 de ce rapport. En revanche, nous regrettons de n'avoir pu tester l'effet image réelles vs images de synthèse initialement prévue dans le PT3 abandonnés.

Tâche 4.2 Enquêtes sociologique et urbanistique (Responsable de tâche : Pr Patricia Laudati, LSC, UVHC, en lien avec Gaëtan Parment, IE, département audiovisuel)

Les trois parties de cette tâche relatives aux critères de sélection de la section routière, aux usages des piétons âgés et au choix de la section routière sur l'arrondissement de valenciennes ont été réalisés. Cette partie a également été enrichie d'une approche plus ciblée sur la perception du danger chez la personne âgée et une étude accidentologique spécifiques à la personne âgée ainsi que par le choix de quatre sites aux caractéristiques variés pour anticiper sur les études futures. Pour plus de détails sur ces différentes parties, nous invitons le lecteur à consulter le rapport de PT1 et la thèse de Julie Delzenne (annexe 1).

1) Détermination des critères de sélection de la section routière à exploiter

Nous avons défini une méthodologie de sélection de la section routière à exploiter reposant sur quatre étapes :

- *L'analyse des données accidentologiques* de Valenciennes, qui permet notamment de déterminer les critères les plus accidentogènes dans l'absolu, mais aussi au regard des mêmes paramètres mesurés sur des villes de grande ou très grande taille en comparant les résultats valenciennes avec ceux de Lille et Paris ;
- *L'analyse de la perception du danger* de la population particulière que constitue les personnes âgées afin notamment de déterminer les éléments entraînant le plus d'appréhension dans les déplacements ;
- *L'analyse des contraintes de prise de vue et de restitution vidéo* (éclairage, décors, recul pour positionner les caméras, trafic, possibilité de bloquer la rue par la ville...) ;
- *L'analyse des contraintes de mise en scénario* et notamment la proximité avec un 'pâté de maison' afin de permettre aux véhicules (acteurs) de tourner et repasser plusieurs fois sur la même séquence.

En ce qui concerne l'étude **accidentologique**, nous avons effectué une recherche systématique des accidents sur 5 années consécutives (du 1er janvier 2005 au 31 décembre 2009) ayant touché la population des plus de 60 ans dans l'arrondissement de Valenciennes. Sur cette base, 61 accidents ont été recensés pour l'arrondissement de Valenciennes et 13 à Valenciennes même. L'analyse a notamment montré que la majorité des accidents avait lieu hors intersection (68,5%), en plein jour (78%), sur une surface sèche en conditions climatiques normales (75%). Les victimes sont principalement percutées par des véhicules légers (78%) dans des rues à double sens (de largeur > 7 mètres pour 28,5%, entre 5 et 7 mètres pour 19,3%, et <5 mètres pour 17,5%). En ce qui concerne les données temporelles, il s'avère que chaque mois de l'année, des piétons âgés sont victimes d'un accident, mais 25% de ces accidents ont eu lieu en décembre (puis en mai pour 14,5% et en novembre pour 11%). Les résultats sur le jour de la semaine indiquent que lundi et mardi sont les 2 jours les plus accidentogènes (22,5%) puis le samedi (14%). En revanche, aucune particularité n'émerge au niveau de l'horaire, les accidents ayant eu lieu entre 10 heures et 20 heures. La comparaison avec les autres secteurs géographique montre de nombreux points communs mais aussi des différences, par exemple sur les jours les plus risques ou encore sur la largeur des rues où se produisent les accidents.

En ce qui concerne la **perception du danger** chez les plus de 60 ans se déplaçant dans Valenciennes la méthode EBAHIE (Ecoute des Besoins & Attentes et leur HIERarchisation) a été appliquée, basée sur la passation d'entretiens (dans la rue) suivi de questionnaires (au domicile). Les principaux éléments du danger perçu mis en avant sont les situations de double sens avec passage de gros véhicules dans des rues avec stationnement sur le côté de la voie. Les principales nuisances visuelles et sonores contribuant à un sentiment de danger sont le manque de signalisation et, en termes d'aménagement urbain, la conception des trottoirs (pas assez large, hauteur gênante) ainsi que le manque d'entretien et l'encombrement. A l'inverse, la présence d'un agent influence positivement le sentiment de sécurité, notamment lors de la traversée des piétons (74,3%), la principale raison invoquée étant une diminution de la vitesse des véhicules (80%). Ces données ont été obtenues dans un public autonome se déplaçant plutôt régulièrement dans les rues de Valenciennes : au total 80% des interrogés sortaient plus d'une fois par semaine (64,3% des 60/74 ans et 32,1% des 75/89 ans ; 72,4% des interviewés sortaient habituellement 2 fois par jour) et 11,4% sortait une fois par semaine (25% des 60/74 ans et 75% des 75/89 ans). Leurs sorties sont plutôt effectuées l'après-midi avant 16h (60%) et le matin avant 10h (48,6%) et ce, dans des rues à fort trafic (76,5%).

Le choix des sites a également été guidé par des **contraintes vidéo**. La capture d'image dépend notamment des contraintes du simulateur et des caractéristiques retenues dans

les différents scénarios. Le système de prise de vue fixe intègre des caméras latérales orientées de manière à capter une partie du trottoir (continuité avec le faux trottoir sur lequel se trouve le participant) et la rue dans des proportions identiques entre les caméras gauches et droites. La hauteur de prise de vue joue également un rôle important dans le rendu, après différents essais, nous avons opté pour un placement de la caméra entre 0 et 2 mètres de la bordure de trottoir avec une hauteur de 1,09 mètre (distance entre le sol et le centre de l'œil de l'objectif).

En outre, la tâche 4.2 a précisé de nombreuses **contraintes de mise en scénario**. Un pâté de maisons permettant de passer en boucle devant le système de prise de vue était nécessaire afin de limiter les risques d'accident et la perte de temps liés au demi-tour. La taille des bordures et du trottoir étaient aussi des éléments importants. Il était également nécessaire d'avoir suffisamment de distance pour que les véhicules puissent 'se lancer' et arriver à la vitesse souhaitée, mais aussi rester suffisamment longtemps dans le champ visuel du piéton, en relation avec les hypothèses expérimentales.

Tâche 4.3 Réalisation audiovisuelle (Responsable de tâche : Gaëtan Parment, IE, département audiovisuel)

Ce travail a été présenté en détails dans le livrable PT1, le rapport intermédiaire et la thèse de Julie Delzenne (annexe 1).

1) Choix du site

La conception d'un simulateur fonctionnant initialement en réalité projetée a nécessité les compétences du département audiovisuel de l'université. Des séries d'essais sur images fixes de différents lieux ont permis d'affiner le réalisme du simulateur et d'aider au choix des angles de prise de vue. Lors des étapes initiales, la projection était réalisée sur un modèle réduit, respectant globalement l'agencement des écrans. Outre les critères exposés ci-dessous (cf. contraintes vidéo), les conclusions de ce travail ont également dégagé des critères supplémentaires concernant le choix du site, notamment la nécessité d'une zone de feuillage (ex. haie) projetée au niveau des raccords d'écrans. En absence de « morphing » des images, il est en effet important de prendre en compte le 'décor' (arbre, maison, mobilier urbain...) afin de ne pas complexifier inutilement le travail de post production ni induire des effets d'optiques susceptibles de dégrader la qualité du rendu ou de favoriser les cinétoses. Après étude approfondie de plusieurs sites, la rue Vaillant Couturier, F-59770 Marly-lez-Valenciennes (GPS : 50.33917°N, 3.52472°E) a été retenue.

2) Prises de vues

Une fois arrêté le choix du site et négocié en local (municipalité, information des riverains), les conditions de réalisation (déviation de la rue ; aucun déplacement de riverains), les conditions des prises de vues étaient réunies. La conception des scénarios a été affinée, et le tournage des films a été réalisé, des personnels du LAMIH ayant conduit les véhicules.

3) Synchronisation des projections

La synchronisation des projections est effectuée à l'aide d'un ordinateur de type compatible PC fonctionnant sous Windows XP. Il est équipé d'un processeur quadricore afin de répartir la charge de calcul entre les différents cores et de 3 cartes graphiques disposant

chacune de 2 sorties graphiques et à refroidissement passif afin de limiter les nuisances sonores. Des macros pour le logiciel VLC ont été développées afin de piloter la lecture simultanée des vidéos.

Pour rappel, le PT3 prévoyait que ces images soient ultérieurement reproduites en images de synthèse, travail pour lequel l'implication du LAMIH était réduite. PT3 n'a pas abouti. Le projet reste toutefois d'intérêt pour tester l'incidence du support sur le comportement et le ressenti des participants. En effet, si le réalisme est incontestablement optimal en réalité projetée (cf. tâche 4.4), la gestion des images n'est pas souple et il est notamment peu envisageable d'asservir la projection à l'angle de vue des participants. Des images de synthèse permettent une telle manipulation. En revanche, nous n'avons quasiment pas constaté de cinétose alors que, d'après ce que nous savons, cette difficulté est assez fréquente avec d'autres simulateurs fonctionnant en images de synthèse. La comparaison des deux supports dans un même simulateur serait donc intéressante à ce niveau.

Tâche 4.4 Pré-experimentations (Responsables de tâche : Dr Janick Naveteur et Dr Rajaonah Bako, LAMIH, UVHC)

1) Synchronisation des acquisitions biomécaniques et électrophysiologiques sur la vidéo

La synchronisation des images projetées avec les enregistrements biomécaniques et électrophysiologiques a été rendu possible grâce à l'insertion d'un time code sur l'une des sources vidéo. Cette source vidéo était filmée en temps réel, permettant la synchronisation par le système Vicon. La figure 5 représente les écrans de l'expérimentateur à son poste de contrôle.

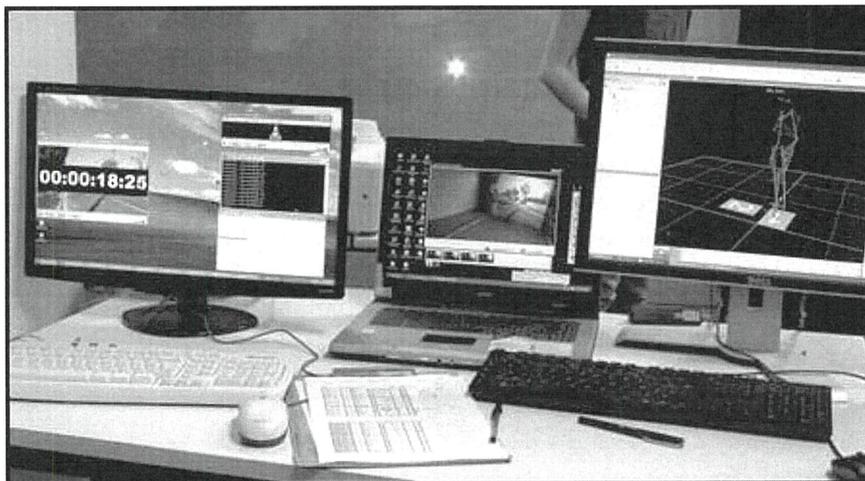


Figure 5 : L'écran de gauche correspond à l'ordinateur de contrôle et de synchronisation des images projetées. L'écran central permet une surveillance filmée du participant en simulateur. L'écran de droite est dédié à l'exploitation de la capture du mouvement via le système Vicon Nexus.

2) Synchronisation imagerie médicale et vidéo

Cette tâche était incluse dans le cahier des charges initial comme un prérequis pour l'extension de l'approche électrophysiologique à des indicateurs centraux. Une telle demande

avait été formulée par le comité scientifique de la FSR mais ne figurait pas dans la réponse initiale du LAMIH à l'appel d'offre, le LAMIH ne disposant pas en propre de compétences techniques suffisantes pour recueillir et analyser des signaux d'activation encéphalique (c.f. Tâche 4.7).

Le travail de synchronisation n'a pas été réalisé concrètement mais l'étude de sa faisabilité s'est révélée relativement aisée. En effet, la synchronisation du système EMG de 128 voies du CHRU de Lille avec notre système d'acquisition Vicon Nexus pouvait se faire simplement. Le Vicon utilisant des voies analogiques, il était facile de dériver l'une des voies de système EEG pour l'utiliser comme un signal de synchronisation a posteriori.

3) Prétests chez des personnes âgées

Tenant compte des observations de Harrell (1990) décrivant un positionnement des seniors plus en retrait de la chaussée, il nous était nécessaire de disposer d'informations quantifiées concernant ce positionnement dans un environnement urbain assez proches de celui retenu pour le simulateur. Nous avons donc étudié la **position d'attente** en bord de trottoir chez 12 piétons âgés de 60 à 80 ans. Des repères métriques de positionnement (pied proximal, distance à la bordure, écarts médio-latéral et antéro-postérieur) ont été obtenus. Les données, à l'exception de l'écart médio-latéral, présentent des dispersions importantes permettant la distinction de 3 profils de positionnement. Le placement optimal de la plateforme de force dans le simulateur a été déterminé en conséquence mais, ne pouvant satisfaire l'exigence initiale, il ne permet pas de prendre en compte la totalité des participants sur la base d'un positionnement naturel. L'option finalement retenue a été celle d'une contrainte partielle induite par une consigne peu précise, n'insistant que sur la nécessité d'un positionnement sur la plateforme.

Une seconde étude préliminaire (incluse dans SEVAP en dehors du cahier des charges initial) a testé l'idée que des erreurs commises par des piétons âgés dans **l'estimation de la durée de leur traversée** pouvaient être imputables à des distorsions de leur perception du temps. L'étude est divisée en deux parties, toutes deux réalisées en laboratoire sur un champ de marche symbolisant une rue de 7 m de large. Le principe consistait à comparer des temps de traversée réelle à des temps de traversée imaginée (le participant reste immobile sur une ligne de départ et produit une durée qui selon lui correspond à son temps de traversée). La vitesse supposée d'une horloge interne est évaluée par une tâche de production de durées. Dans la première étude, 24 femmes âgées de 63 à 91 ans ont été recrutées et 12 participantes âgées de 22 à 31 ans ont formé un groupe contrôle. L'hypothèse principale est vérifiée, les résultats montrant un risque de sous-estimation du temps de traversée chez les seniors dont l'horloge interne serait accélérée. L'effet ne peut s'expliquer par une absence de prise en compte d'un ralentissement de la marche induit par le vieillissement. Dans la seconde étude, un groupe de femmes souffrant de troubles locomoteurs a été inclus (empan d'âge : 63-78 ans). La comparaison avec des participantes âgées de l'étude 1 montre chez les secondes, une surestimation de leur temps de traversée, majorant ainsi leur marge de sécurité.

4) Tests du dispositif

Différents essais ont été réalisés sur des étudiants à différentes étapes de conception du simulateur. Les tests les plus structurés ont impliqué une population experte dans l'estimation des distances (N=12), invitée à estimer les distances et les vitesses sur l'écran de gauche du simulateur. La corrélation obtenue entre les distances réelles et les distances perçues suggère

que les participants prennent réellement en compte le déplacement à l'image du véhicule, et ce de façon linéaire, malgré une sous-estimation qui corrobore des résultats obtenus dans d'autres dispositifs. L'estimation des vitesses apparaît satisfaisante, sous réserve d'un biais éventuel par référence à la réglementation en vigueur.

Le rendu du simulateur a été testé par questionnaire chez 15 seniors et 14 jeunes. Les items ont concerné l'aspect réel de la rue (rue réelle), la sensation d'approche du véhicule (sensation d'approche), le sentiment de traverser comme en situation réelle (sentiment de traversée) et l'inconfort général du simulateur (inconfort). Indépendamment de l'âge, les résultats indiquent que le réalisme du simulateur est jugé positivement, quel que soit l'item concerné, même si un écart avec un environnement réel reste inévitable.

5) Précision des critères d'inclusion et d'exclusion pour l'expérimentation principale

L'ambition ultime d'un programme de recherche tel celui initié par SEVAP est la mise en évidence de facteurs de risques liés au vieillissement lors de la traversée de rue. Le vieillissement est un processus complexe, affectant avec de fortes différences interindividuelles de multiples dimensions sensorimotrices, cognitives et conatives, sur lesquels peuvent se greffer ou non des pathologies dont la fréquence d'apparition s'accroît avec l'avancée en âge. Même si la dangerosité en situation de traversée est probablement liée à l'importance des déficits, la première étape de l'investigation biomécanique doit être la caractérisation du comportement de seniors non affectés par un vieillissement pathologique. Ceci étant, contrôler exhaustivement l'ensemble des processus potentiellement impactés par l'âge se révèle une gageure, comme le montre le rapport transversal PT2 qui a inventorié bon nombre de tests potentiellement pertinents. En inclure ne serait-ce qu'un pour chaque type de processus ne peut être envisagé pour des participants dont l'investissement dans l'étude est temporellement limité. Le pragmatisme impose donc des limites à la rigueur et l'exhaustivité que le chercheur peut souhaiter atteindre. Dans le contexte d'une dynamique collective décrite dans le programme PISTES, il avait initialement été envisagé d'homogénéiser ces critères entre différentes études partenaires mais cette contrainte avait déjà perdu sa raison d'être au moment où les expérimentations de SEVAP ont été conduites. Les choix ont donc été opérés en interne.

Ainsi, les critères d'inclusion ont eu pour objectif de recruter des personnes autonomes et actives, sans contre-indication à la marche et à l'effort et attestant d'une vision binoculaire correcte (minimum 6/10, échelle de Monnoyer). En outre, les seniors ne devaient présenter aucun trouble cognitif mais les contraintes évoquées ci-avant ont conduit à limiter l'investigation au Mini-Mental State (score MMSE > 27 ; Folstein *et al.* 1975).

Les critères d'exclusion étaient de présenter un trouble ou une maladie cardiaque, neurologique ou visuelle majeure, ou un Indice de Masse Corporelle ou indice de Quetelet (IMC) supérieur à 30 (synonyme d'obésité).

1) Sélection des participants

Outre le respect des critères d'inclusion et d'exclusions rappelées ci-dessus, le recrutement des participants âgés s'est heurté à une difficulté additionnelle liée au fait qu'ils devaient revêtir des vêtements collants (short et maillot de running) ; cette condition s'est révélée rédhibitoire pour certaines personnes, initialement volontaires. Les problèmes de pudeur sont ainsi majorés en dehors d'un contexte médicalisé. En conséquences et compte tenu du temps disponible pour les expérimentations, l'ambition d'inclure deux groupes différenciés de participants seniors a été pragmatiquement abandonnée. L'expérimentation a porté sur 28 participants : 14 personnes (8 femmes et 6 hommes) âgées de 60 à 81 ans ($67 \pm 6,8$ ans) forment le groupe 'Seniors', et les 14 autres (8 femmes et 6 hommes), de 20 à 27 ans ($23 \pm 1,8$ ans), constituent le groupe 'Jeunes'. Deux autres participants seniors ont été inclus mais remplacés pour causes de problèmes techniques survenus lors de leur passation.

2) Agencement des protocoles

L'agencement des protocoles n'a pas arrêté dans la réponse à l'appel d'offre. Cependant, il était envisagé pour l'expérimentation en suivant le plan P15 <G3>*T4*E2*R2 ; avec P (participants), G (groupe à 3 degrés : personnes âgées de 65 ans et plus sans difficultés locomotrices, groupe d'âge équivalent décrivant l'émergence de difficultés de déplacements, et groupe contrôle de personnes jeunes), T (trottoirs, modulés par la hauteur et la configuration du caniveau) et E (environnement, modulé en fonction de sa complexité sur des caractéristiques d'environnement de route et de trafic). Au total, 8 conditions expérimentales étaient planifiées par participant, dans 3 conditions de trottoir, et testée deux fois (soit 48 essais). Les difficultés de recrutement évoquées ci-avant ont motivé un recentrage de SEVAP sur des personnes âgées représentatives du bien-vieillir. En outre, les différents pré-tests ont montré qu'il n'était pas prudent de limiter à 2 le nombre de tests effectués par condition, compte tenu de l'occurrence possible d'essais dont l'exploitation biomécanique pouvait se révéler limitée. Avec 3 tests par conditions, il devenait nécessaire de réduire le plan sur les autres facteurs intra-participants. Les choix ont tenu compte d'une hiérarchie d'intérêt et de considérations pratiques.

En conséquence, l'expérimentation conduite a suivi un plan P14<A2>*T2*C6*R3, avec A (Age : jeunes vs seniors), T (Trottoir : plat vs rehaussé), C (Condition : sans trafic, gap long-1 véhicule, gap long-2 véhicules, gap court-1 véhicule, gap court-2 véhicules, gap trop court). Après familiarisation, la tâche de traversée incluait 36 essais expérimentaux divisés en deux blocs : à plat (P) ou avec un trottoir (T). Dans chaque bloc, les 6 conditions de bases ont été réalisées 3 fois, dans un ordre pseudo-aléatoire randomisé.

Au début de chaque essai, les participants étaient positionnés sur la zone de départ dans une position naturelle d'attente ; ils avaient pour consigne d'orienter le regard vers une cible visuelle située sur l'écran central face à eux. La durée de fixation de cette cible variait selon la catégorie d'âge et l'ajustement de temps choisi. Ainsi, le temps de fixation de la cible pouvait varier entre 4,4 et 10,4 s. Lorsque la cible disparaissait de l'image, le participant était autorisé à explorer visuellement l'environnement et initier sa traversée, s'il estimait avoir le temps de traverser, en marchant à son rythme (donc sans courir), et sans se faire percuter par le(s) véhicule(s) à l'écran.

Dans ce premier cas, le participant effectuait sa traversée jusqu'à la ligne de marquage au sol, puis utilisait l'espace disponible entre cette marque et l'écran pour s'arrêter et faire demi-tour. Dans le cas contraire, il restait dans la zone de départ.

A la fin de chaque essai, il était demandé aux participants d'évaluer rétrospectivement leur ressenti sur le danger perçu lors de la traversée à travers une note allant de 0 : "absolument pas dangereux" à 10 : "très dangereux". Une fois cette tâche réalisée, les participants retournaient à la zone de départ jusqu'au lancement de l'essai suivant.

Hors simulateur, des tests physiques ont permis d'évaluer les capacités de marche des participants (TM6, vitesse de marche sur 10 mètres) et leur équilibre (Time Up and Go test (TUG) chronométré, temps d'appui unipodal, tandem) Dans l'objectif d'évaluer les capacités cognitives de chaque participant, un test a été sélectionné dans trois catégories de capacités : i) le Trail Making Test pour tester la flexibilité cognitive, ii) le temps de réaction visuelle et le temps de réaction auditif pour tester l'attention et iii) une tâche de Go/NoGo visuelle puis une tâche de Go/NoGo auditif pour tester l'inhibition. Les habitudes de déplacement ont été appréciées par questionnaires (notamment l'échelle EPCUR). La qualité de vie est estimée par le MOS-SF36. Une tâche de production de durées vides est utilisée pour évaluer la base de temps des participants.

3) Campagne d'expérimentation

L'accord du CPPRB a été obtenu le 23 mai 2012 après que le CNRS se soit porté promoteur du projet à la date du 6 juillet 2011. Le recueil des données a mobilisé l'équipe pendant 6 mois. Les passations ont nécessité la présence systématique de 3 personnes dans la salle expérimentale, chacune assurant toujours le même rôle afin de standardiser au mieux les interactions avec les participants. Les conditions de l'étude se sont révélées bien adaptées aux capacités des participants dans les deux classes d'âge, aucun d'entre eux n'a eu recours à l'option proposée de pauses supplémentaires durant les passations. A noter toutefois que le recrutement focalisé sur des seniors actifs a conduit à limiter la durée des passations (en excluant certains recueils), ces participants étant très peu disponibles. Les participants seniors ont été invités à la soutenance de la thèse ; certains se sont déplacés.

4) Traitement des données

En ce qui concerne les questionnaires et tests, le recueil initial des données a été effectué sur papier (ce qui réduit les risques d'erreurs) et suivi d'une saisie informatique ayant fait l'objet d'une vérification.

Le traitement numérique des données d'analyse 3D du mouvement a été réalisé à l'aide du logiciel Vicon Nexus 1.6.1. et de fonctions développées sous Matlab, certaines spécifiquement pour SEVAP. Le premier traitement des données requière l'utilisation du modèle biomécanique du système Vicon. Celui-ci consiste en une labellisation des marqueurs, d'interpolation des points manquants et de filtrage des données. Le calcul des paramètres cinématiques et cinétique est réalisé à l'aide du Plug In Gait Full Body Sacrum du logiciel Vicon Nexus.

Une seconde série de traitement des données a été effectuée à l'aide de fonctions développées sous Matlab, consistant à récupérer les valeurs des points caractéristiques des

angles articulaires ou de calculer des paramètres (ex. longueur ou largeur des pas). Dans le cas particulier de l'étude du centre de pression, les données brutes issues des plateformes de force sont ré-échantillonnées à 100 Hz puis filtrées de manière à éliminer le déphasage (double passe) et minimiser les effets de bord.

Les tableaux de données ultimes, correspondant aux différents paramètres agencés selon un plan P14<A2>*C5*R3, généré à partir d'un recueil chronologique propre à chaque participant ; la condition de traversée impossible est exclue. Le facteur R répétition a ensuite été soustrait du plan d'analyse par moyennage. Les données ont été traitées à l'aide du logiciel Statistica v7.1. Les données satisfaisant rarement les conditions de normalité et homogénéité des variances, des tests non-paramétriques ont été employés (U de Mann-Whitney, ANOVA de Friedman et T de Wilcoxon, coefficient de corrélation de Spearman ainsi que test du Chi carré). Les analyses ont été dupliquées en parallèle afin de réduire le risque d'erreur.

5) *Exploitation*

L'exploitation des données a été réalisée en deux temps, une approche globale (étude macroscopique de la traversée pour laquelle il pouvait exister des alternatives aux recueils biomécaniques, telle une exploitation de vidéos) puis un découpage séquentiel permettant une analyse biomécanique affinée dans les différentes phases de la traversée ; le découpage manuel des phases à différents points caractéristiques utilise une option du logiciel Vicon Nexus 1.16. L'idée initiale d'un gradient de difficulté entre les 5 conditions de traversées n'a pas été validée. Le plan expérimental en 5 conditions n'est donc rétrospectivement pas l'approche la plus euristique. Des analyses séparées ont été effectuées pour tester l'incidence de la pression temporelle (regroupant pour les intervalles longs et courts, les conditions à 1 ou 2 véhicules) et pour tester l'impact du nombre de véhicules (regroupant les intervalles longs et courts).

Tâche 4.6 Synthèse et perspectives (Responsable de tâche : Dr Janick Naveteur, LAMIH, UVHC)

1) *Approche comportementale globale*

Le premier corpus de résultats décrit de manière globale la traversée de rue du piéton. Les enregistrements biomécaniques permettent ici une précision de mesure accrue pour certains paramètres, mais ces derniers auraient pu être quantifiés par d'autres méthodes telles l'exploitation des vidéos. Globalement, il s'avère que, contrairement aux hypothèses suggérées par les statistiques accidentologiques et la description stéréotypée de cette classe d'âge, notre groupe âgé a adopté un comportement interprété comme plus sécuritaire que celui du groupe jeune. Ainsi, les seniors ont disposé de **marges de sécurité** plus grandes : surtout dans la condition de pression temporelle (le véhicule roulant sur la voie de gauche se trouvant plus proche d'eux au moment où ils étaient autorisés à traverser), ils ont contraint l'expérimentateur à leur accorder des intervalles plus longs que ceux programmés initialement afin d'initier leur traversée. En outre, face au trafic, ils ont initié leur traversée plus tard que les jeunes, possiblement en raison d'une analyse plus approfondie du contexte, et ils n'ont pas significativement réduit cette latence sous l'effet de la pression temporelle.

Par ailleurs, la **vitesse de marche** des participants âgés s'est révélée globalement plus rapide que celle des jeunes mais la différence disparaît en condition de pression temporelle suite à une accélération plus importante des jeunes et ce, surtout lorsqu'un véhicule est à l'approche sur les deux voies. Il est à noter que les corrélations intra-individuelles des vitesses de marche des seniors dans le simulateur sont significatives, marquant une caractéristique personnelle qui se retrouvent lors du test de marche de 6 minutes. Au total, quel que soit l'intervalle laissé pour traverser, les participants âgés récupèrent grâce à leur vitesse de marche le déficit temporel lié à leur prise de décision plus longue.

Si à ce stade de l'étude nos conclusions associent majoritairement le vieillissement à un comportement prudent, il a néanmoins été mis en évidence chez certains participants âgés un facteur de risque lié à une **mauvaise perception du temps**. Une distorsion de la base de temps, supposée refléter le fonctionnement d'une horloge interne, a été identifiée *via* la performance à une tâche de production de durées (bornage d'une durée requise par appui sur une touche); la production d'une durée plus courte que la durée requise traduirait l'accélération de la base de temps. Or, lorsque de tels participants sont invités à évaluer le temps qui leur est nécessaire pour traverser une rue (soit en l'occurrence dans notre expérience exploratoire en milieu appauvri, couvrir une distance correspondant à une largeur de rue sur un champ de marche), la durée de cette traversée imaginée est notablement plus courte que celle qui correspond à leur temps de traversée réelle. L'étude en simulateur conforte l'identification des distorsions temporelles liées à l'âge en tant que facteur de risque. Elle valide l'hypothèse initiale d'un lien positif entre la performance à la tâche de production de durée et la dangerosité perçue de la traversée. En effet, une personne dont la base de temps est plus rapide perçoit la durée de la traversée comme étant plus longue, elle percevra donc moins de pression temporelle, déterminant majeur de la sensation de danger. La survenue récurrente d'un tel biais pourrait donc conduire à réduire la vigilance de ces piétons par rapport au trafic.

2) *Approche biomécanique séquentielle*

- Attente initiale en bord de rue

L'approche biomécanique séquentielle de la traversée dans le simulateur permet d'approfondir la description des comportements dans les deux classes d'âge. Globalement, le positionnement par rapport au bord du trottoir n'est pas discriminant, ce qui peut résulter de l'obligation de poser les pieds sur la plateforme de force. Durant **la phase d'attente statique** (artificiellement dissociée de la phase d'exploration), l'écartement des pieds l'un par rapport à l'autre est toutefois plus important chez les jeunes et ce, alors que les déplacements du centre de pression sont supérieurs dans l'axe médiolatéral chez les participants âgés. L'élévation du trottoir ne modifie pas la position d'attente; en revanche, elle provoque une augmentation légère de l'amplitude et de la vitesse des oscillations posturales dans les deux groupes. L'axe antéro-postérieur semble le plus touché en termes d'amplitude et ce, plus particulièrement chez les participants âgés. L'élévation du trottoir induit également une augmentation de l'écart-type dans les deux plans et ce, principalement pour le groupe âgé. L'ensemble de ces résultats tend à montrer que la position d'attente est légèrement moins efficace chez les personnes âgées que chez les jeunes.

Conditionnée par un signal (disparition d'un point de fixation central), la latence de la réaction **d'exploration visuelle des voies de circulation** tend à être plus longue chez les seniors que chez les jeunes. Un manque de puissance statistique peut être suspecté pour cette

comparaison mais ce retard ne peut contribuer notablement à expliquer le temps d'initiation plus long de la traversée chez les participants âgés (cf. ci-dessus). La latence de la réaction exploratoire peut être influencée par le bruit des véhicules. De façon compatible, la condition de pression temporelle provoque une diminution de la latence de l'exploration mais uniquement chez les jeunes ; comparativement, le comportement des seniors aurait donc été moins influencé par cette information auditive. Les ajustements posturaux, exploratoires mobilisent davantage la tête que les épaules et, dans la population expérimentale, les différences liées à l'âge dans l'amplitude maximales des mouvements d'orientation sont minimales. L'analyse des répartitions des différentes explorations visuelles (bilatérale, gauche, droite) préalables à l'initiation de la marche concourt à décrire le comportement des participants âgés comme plus prudents, car l'exploration des voies est plus systématiquement bilatérale ; ce résultat conforte l'idée d'une analyse plus approfondie du contexte pour expliquer le retard d'initiation de la traversée des seniors par rapport aux jeunes. Dans le cadre d'une exploration bilatérale, la tête se dirige majoritairement vers la gauche en premier quel que soit l'âge. Une séquence d'exploration débutant vers la droite est toutefois plus fréquente chez les seniors, deux d'entre eux ayant adopté quasi systématiquement cette stratégie. La pression temporelle exerce une influence délétère sur les ajustements posturaux exploratoires, l'exploration bilatérale diminuant au profit d'une exploration uniquement du côté gauche. En outre, la présence d'un véhicule sur la voie de droite provoque une diminution de l'amplitude maximale de rotation de la tête vers la gauche et tend à augmenter celle des rotations vers la droite. Aucun effet de la hauteur de trottoir ne semble s'exercer sur ces paramètres. Enfin, par rapport à la phase d'attente statique, les ajustements exploratoires sont accompagnés d'une augmentation des déplacements et des vitesses du centre de pression dans les deux plans. La phase d'exploration visuelle provoque dans le plan antéro-postérieur des amplitudes d'oscillations (Range CP) et des vitesses de déplacement (moyenne et maximale) plus faibles chez les seniors que chez les jeunes. Ainsi, la prise d'information (essentiellement les ajustements posturaux) s'accompagnerait, dans le plan antéropostérieur, d'un balancement plus rapide et provoquerait une plus grande instabilité chez les jeunes comparativement aux seniors dont l'écartement des pieds est moindre. Le fait d'être moins instables dans le plan antéropostérieur pourrait faciliter l'initiation de la traversée des seniors. Dans ce plan, des oscillations moindre en amplitudes et vitesse pourraient aussi traduire une anxiété-état, vue comme une composante importante de la mise en œuvre de stratégies d'adaptation.

- Initiation de la traversée

Lors de **l'initiation de la marche**, il est classique d'observer un recul antéropostérieur du centre de pression suivi d'un déplacement vers le membre non oscillant qui prépare à l'élévation du membre oscillant. Or, lors de l'initiation de la traversée, ce recul est plus important chez les participants âgés et ce, principalement lors des conditions de pression temporelle (alors que globalement la pression temporelle n'impacte pas significativement ce paramètre). Pour rappel, dans cette condition, la vitesse de marche globale ne distingue pas les deux groupes d'âge. L'analyse plus fine montre toutefois que leur comportement n'est pas identique puisque la vitesse de marche des seniors au premier pas est supérieure à celle des jeunes, et l'association avec un recul plus ample du centre de pression est donc retrouvée au niveau de l'intergroupe. La comparaison portant sur le recul antéropostérieur du centre de pression perd toutefois en puissance dans la condition d'intervalle long où la vitesse plus grande des seniors par rapport aux jeunes est pourtant retrouvée tant au niveau global, qu'au niveau du premier pas, mais les vitesses atteintes sont globalement moindre. La pression temporelle influence également le comportement durant la phase d'exécution, induisant un premier pas plus large et plus long. L'augmentation de longueur contribue notamment à

l'acquisition d'une vitesse au premier pas supérieure, alors que l'augmentation de largeur contribue davantage à préserver voire améliorer l'équilibre des participants. La durée de la phase d'ajustement et le recul du centre de pression ne sont pas influencés par la hauteur du trottoir. Néanmoins, l'amplitude du transfert médiolatéral du poids y est augmentée pour l'ensemble des participants, alors que l'élévation du trottoir n'avait pas modifié l'écartement des pieds. De plus, pour les participants âgés, le décalage du centre de pression vers la droite est également augmenté, alors que comparativement aux jeunes, ils se tiennent sur le trottoir avec les pieds moins écartés. Ces différences reflèteraient la préparation à la descente de marche et plus particulièrement à une réception quasi systématique sur la pointe dans cette condition. En revanche, il se pourrait que le décalage du centre de pression vers la droite chez les seniors signe la persistance durant la phase d'ajustement en condition relevée de l'impact du comportement exploratoire au niveau des oscillation latérales et donc une plus grande instabilité. En outre, durant la phase d'exécution, la présence du trottoir induit une inclinaison supérieure de la tête chez l'ensemble des participants, suggérant un contrôle visuel de la descente. Cette phase est d'ailleurs marquée par une tendance chez les participants âgés à orienter davantage la tête vers le sol lorsqu'un trafic routier est présent à l'image. La négociation de la descente serait donc davantage contrôlée visuellement dans la situation où la survenue d'un véhicule à brève échéance pourrait majorer les conséquences d'une chute éventuelle. L'idée que les risques de chute puissent être augmentés par la hauteur de trottoir est soutenue par le fait qu'elle réduit la hauteur du pied (distance sol-pied) lors du franchissement de la bordure, en vue d'une réception sur la pointe. Toujours en condition de trottoir rehaussé, cette attaque par les orteils est majoritaire, mais la pression temporelle diminue l'élévation du talon lors du premier contact du pied sur la chaussée. Cette stratégie de réception permettrait par contre de davantage amortir l'impact au sol lors du premier pas. Un tel ajustement serait adaptatif, sachant que, quel que soit l'âge, la hauteur du trottoir induit un pic maximal de force supérieur à la condition de départ à plat, et que ce pic est majoré par la pression temporelle (et l'augmentation de vitesse qu'elle entraîne). En outre, ni la largeur ni la longueur du premier pas ne sont notablement influencés par le trottoir (avec uniquement quelques participants pouvant présenter une largeur de pas réduite en cas d'élévation, sans être représentatifs d'un groupe d'âge). En revanche, dans l'ensemble, la présence de celui-ci diminue sensiblement la vitesse de marche au premier pas, corroborant l'idée d'un contrôle majoré de la descente par rapport à un premier pas à plat, telle discutée ci-avant.

- La traversée engagée

La phase de traversée engagée met en exergue le fait que la vitesse supérieure des participants âgés (cf. ci-dessus) est liée à une **augmentation de la cadence** (pas/min) et non à la longueur des pas. La hauteur du trottoir provoque une légère adaptation du cycle permettant de pallier l'amortissement de la descente dans les deux groupes (la mise en charge du poids du corps vers l'avant induit une baisse de 4,6% de la durée du premier double appui et au final une réduction de 4 cm de la distance parcourue à l'issue du troisième pas, soit 3,5% de la longueur du cycle droit). La pression temporelle induit chez tous les participants une adaptation du cycle favorisant le mouvement vers l'avant (légère baisse des durées de doubles appuis au profit des simples appuis, réduction de la durée du cycle et augmentation de la distance parcourue au troisième pas). En revanche, contrairement aux hypothèses initiales, la vitesse de traversée dans le simulateur augmente à chaque pas observé. Il n'est pas possible d'attester que la vitesse du troisième pas soit stabilisée.

L'analyse cinématique révèle une moindre **inclinaison de la tête** vers le sol après qu'une descente du trottoir ait été nécessaire. Cette observation pourrait être liée au fait que

les participants ont orienté leur tête davantage vers le sol au moment de l'initiation de la marche afin de contrôler le passage de la bordure. La moindre inclinaison dans le cas d'un trottoir relevé pourrait aussi être liée à une modification générale de la posture permettant de maintenir au mieux l'équilibre dynamique. En outre, la pression temporelle augmente l'inclinaison de la tête, ce qui pourrait être relié à l'augmentation de la vitesse de marche et à l'intérêt d'un contrôle accru pour garantir l'équilibre dans cette condition.

L'analyse **cinématique du membre inférieur** met en évidence une baisse de l'efficacité de la cheville chez les participants âgés lors de la flexion plantaire. Toutefois, dans ce groupe, la moindre flexion plantaire lors du décolllement des orteils du pied droit semble être compensée par une augmentation de la flexion du genou. Cette observation refléterait une adaptation sécuritaire de la locomotion des seniors. La hauteur du trottoir induit, une préparation à la réception sur la pointe grâce à la diminution de la flexion de hanche et à la réception en flexion plantaire sur la chaussée. Cette phase d'amortissement se traduit par une baisse de la dorsiflexion, voire le maintien de la flexion plantaire à la fin du premier double appui, suivi d'une diminution de la flexion maximale du genou lors de la phase de simple appui droit et ce, principalement chez les participants âgés. Chez les jeunes, l'élévation du trottoir induit une légère baisse de la dorsiflexion maximale durant la phase de simple appui droit. Ces observations suggèrent la mise en place, quel que soit l'âge, d'une stratégie compensatrice de la hauteur de trottoir ; elle viserait probablement à favoriser la rigidité de la cheville afin de maintenir l'équilibre dynamique du mouvement et son accélération. L'étude ultérieure des moments et des puissances au niveau de ces 3 articulations lors de la descente pourrait contribuer à expliquer la nécessité d'adopter cette stratégie.

L'ajout d'une pression temporelle influence sensiblement le pattern de marche au niveau de **la hanche et de la cheville** dans les deux groupes d'âge. Même si la flexion plantaire maximale des seniors est plus faible que celle des jeunes, celle-ci est augmentée lors de la phase préoscillante dans l'ensemble de la population étudiée. En lien avec la dangerosité de la condition de traversée, l'augmentation de la flexion plantaire et de l'extension de hanche pourrait être le reflet d'une vitesse accrue en lien avec une réactivité permettant de s'adapter aux situations potentiellement dangereuse.

3) *Conclusion générale*

En résumé, nos données soutiennent l'idée d'un comportement de traversée plus prudent des participants âgés, tous actifs et en bonne santé, comparativement aux jeunes. Leur engagement sur la chaussée requiert une marge de sécurité accrue, et n'est effective qu'après une exploration plus poussée des voies de circulation. La vitesse de marche des seniors (traduisant essentiellement une augmentation de la cadence des pas) est également plus rapide que celle des jeunes dans des conditions de faible pression temporelle. Les caractéristiques biomécaniques portent néanmoins les signes du vieillissement. Il s'agit donc d'une marche optimisée, rarement décrite dans les environnements décontextualisés des laboratoires. Nul ne peut exclure que les différences intergroupes soient en partie imputables au fait que la participation à une recherche ait motivé davantage les retraités et qu'ils aient été, plus que les jeunes, animés par un souci de bien faire et/ou celui de donner une bonne image d'eux-mêmes. Cependant, il convient de souligner que leur comportement de traversée dans le simulateur se révèle cohérent avec la description sécuritaire que ces personnes font de leur comportement habituel en tant que piéton. Suggérée par les évaluations posturométriques, une anxiété-état (liée à une évaluation cognitive primaire) juste avant l'initiation motiverait donc

efficacement le comportement sécuritaire, conduisant à des évaluations secondaires favorables et donc, à la réduction de l'anxiété.

Si notre description de piétons âgés prudents rejoint la conclusion de quelques études antérieures, elle contraste avec les statistiques accidentologiques de cette classe d'âge. Comment rendre compte de ce paradoxe ? Si des traversées qui se seraient concrétisées par des collisions ont été peu fréquentes et observées davantage chez les jeunes, des facteurs de risque potentiels sont décrits chez certains participants retraités, en particulier en lien avec des distorsions de la perception du temps. Dans notre recherche, tant les critères d'inclusion des participants âgés (personnes actives et en bonne santé) que les paramètres contextuels (faible flux de véhicules ; marche sur de faibles distances) peuvent avoir été idoines ; nos seniors auraient ainsi été aptes à mettre en œuvre des stratégies d'adaptation et l'auraient fait pour des niveaux de menace bien moindres que ceux auxquels réagissent les plus jeunes. Cependant, certaines stratégies mises en œuvre pourraient parfois se révéler contreproductives. Transposée dans un contexte de flux continu, il est toutefois possible que trop d'hésitation à s'engager puisse conduire à des traversées dangereuses, si elles sont ultimement motivées par la fatigue et/ou l'énervement résultant d'une attente prolongée en bord de trottoir. La vitesse de marche accrue pourrait également, au-delà d'un certain seuil, prédisposer aux chutes.

Au total, SEVAP a permis de capitaliser une base normative pour un inventaire de paramètres relatifs à l'équilibre statique et dynamique ainsi qu'à l'initiation de la marche et la marche elle-même concernant la traversée de rues de piétons âgés en bonne santé.

4) *Perspectives*

Si certains résultats ont déjà donné lieu à la rédaction d'articles et à des communications orales, l'exploitation de certaines données recueillies dans le cadre de SEVAP nécessite encore d'être complétée. C'est le cas notamment de l'inclinaison du tronc, de la cinématique du cycle gauche et de l'étude cinétique en termes de moment et puissance. Une analyse de la vitesse du centre de masse et de la distance centre de masse par rapport au centre de pression pourrait aussi s'adjoindre à l'analyse pas par pas déjà réalisé. Les prolongements les plus directs consistent donc à poursuivre l'analyse des données et le travail de publication des résultats, notamment dans des revues de biomécanique appliquée.

Le soutien apporté par la FSR a été déterminant pour faire émerger la thématique du piéton au sein du LAMIH. Il en a résulté une dynamique interne favorable aux échanges interdisciplinaires, ce qui a été apprécié par les instances d'expertise tant au niveau de l'équipe que du laboratoire. Le couplage de l'approche comportementale avec celle de l'analyse du mouvement et de la biomécanique s'est révélé à la fois heuristique et original, malgré les difficultés inhérentes à sa mise en œuvre. Pour ces raisons, cette orientation stratégique a été retenue par le LAMIH comme étant à conforter.

Concrètement, une demande d'allocation de recherche va être déposée au Conseil Régional Nord – Pas de Calais, pour une thèse qui devrait débiter en octobre 2014. Le soutien régional est attendu dans le cadre de la thématique « Transport et écomobilité », axe fort de la Stratégie Recherche Innovation pour une Spécialisation Intelligente ; à noter également que le vieillissement est une problématique sensible au niveau régional puisque l'espérance de vie y est réduite par rapport à la moyenne nationale et les revenus des retraités y sont plus faibles. L'entreprise Damart s'est portée partenaire et couvrira le financement de l'allocation à hauteur de 50%. Elle exprime en cela le souhait de contribuer au bien-vieillir de sa clientèle

mais aussi l'intérêt qu'elle entrevoit à une adaptation du chaussant. Il s'agira principalement de poursuivre des expérimentations dans le SRP. Fort de ce dispositif fonctionnel, le nouveau projet devrait permettre d'optimiser le recueil de données sur les trois années, avec des coûts majoritairement limités à du fonctionnement. Compte tenu de l'implication financière conséquente de la FSR dans la réalisation du SRP et de l'effet levier, la possibilité d'étendre le partenariat initié dans SEVAP à d'autres expérimentations mises en œuvre dans ses prolongements pourrait être discutée. Sur le plan scientifique, les orientations possibles sont multiples.

- Caractérisation biomécanique et psychophysiologique des stratégies locomotrices

A court terme, le principal défi est de comparer les comportements observés et analysés dans SEVAP à ceux présentés dans des situations plus dégradées, soit touchant le piéton lui-même (ex. piétons chuteurs), soit étant de nature conjoncturelle exogène (ex. survenue de distracteurs, supposés réduire la focalisation attentionnelle sur les éléments pertinents du trafic) ou endogène (ex. augmentation de la charge mentale par l'adjonction d'une tâche de mémorisation comme celle d'une liste de courses). En lien avec une réduction des ressources attentionnelles, le comportement automatisé d'exploration du trafic pourrait être altéré chez les personnes âgées, de même que les capacités à optimiser la marche puisque cette dernière demanderait un contrôle cognitif et de ressources attentionnelles accrues.

L'adaptation posturale et celle de la marche à la survenue d'évènements émotionnels sera également étudiée, permettant de transposer dans un contexte de traversée de rue des approches expérimentales ayant illustré la propension à l'approche et à l'évitement en fonction de la coloration émotionnelles de diapositives présentées au moment de l'initiation de la marche ou au cours de celle-ci.

- Proposition pour le développement de stratégies éducatives et rééducatives

Des pistes de renforcement de la sécurité par stratégies éducatives/rééducatives seront explorées en lien avec les données de SEVAP. Si une partie de la population âgée se déplaçant à pied de façon autonome affiche un souci de prudence par rapport aux effets délétères du vieillissement dont elle a conscience (cf. résultats de l'expérience exploratoire de SEVAP montrant que des personnes âgées souffrant de troubles musculo-squelettiques surestiment leur temps de traversée même lorsque leur vitesse de marche n'est pas affectée ; Naveteur et al., 2013), aucun ajustement ne peut être mis en œuvre par rapport certains risques si ces derniers ne sont pas spontanément détectés par les personnes âgées. Il n'est toutefois pas irraisonné d'espérer que si ces facteurs de risque sont clairement identifiés et conscientisés, bon nombre de piétons âgés en tiendront compte et suivront les conseils préventifs qui leur seront prodigués.

Or, SEVAP a révélé des risques potentiels (sous-estimation du temps de traversée et sous-estimation de la dangerosité) liés à une altération de la perception du temps chez certaines personnes âgées qui, fort probablement, n'ont pas conscience de ce processus de vieillissement et/ou de ses conséquences. La psychophysique du temps a développé des méthodes simples qui permettent de constater les biais de jugement afférents. L'idée est donc de tester l'incidence d'une telle stratégie éducative/rééducative sur le comportement de traversée de participants préalablement identifiés comme étant à risque. Un plan expérimental pré et post entraînement sera mis en œuvre. Cette perspective serait également l'occasion de renforcer les collaborations avec les partenaires de l'IFSTTAR impliqués dans le programme

SEPIA (également financé par la FSR), en raison de leur expérience initiale dans l'entraînement des piétons âgés. En cas de succès, des programmes d'aide pourraient être initiés et diffusés via des Centres Communaux d'Action Sociale.

- Proposition pour le développement de dispositifs sécuritaires

Compte tenu des caractéristiques atypiques de la marche observées chez les participants âgés recrutés dans SEVAP, une des premières perspectives est l'amélioration du chaussant afin d'optimiser le contact pieds-sol pour limiter les risques de chute lors des interactions avec le trafic routier. Ce travail a été mentionné ci-dessus dans le cadre d'un co-financement de thèse avec l'entreprise Damart.

Afin de minimiser des conséquences potentiellement néfastes de l'impact du vieillissement sur la perception du temps, des systèmes d'aide individualisés pourraient aussi être conçus, le guidage reposant sur une confrontation des temps disponibles aux temps nécessaires. Il serait en effet concevable d'intégrer à ce dispositif un système de navigation intégrant des informations de largeurs de rues. Les piétons souffrant de déficiences visuelles constituent un autre public susceptible de tirer profit d'une telle démarche puisqu'ils ne disposent actuellement pas en continu de repères temporels lors de leurs traversées dans des environnements non familiers.

La sécurité des piétons n'est toutefois pas de leur seul ressort. Les conducteurs peuvent ne pas avoir adapté leur conduite afin d'éviter ces usagers vulnérables. Dans le cas des piétons âgés ralentis, les accidents pourraient d'ailleurs être imputables à une moindre capture attentionnelle comparativement à la dynamique des accidents touchant les jeunes enfants. Aussi, des dispositifs susceptibles de prévenir les conducteurs de la présence d'un piéton à risque aux abords du véhicule pourraient être étudiés en termes de réalisation, d'efficacité et d'acceptabilité.

- Propositions urbanistiques

Sur le plan urbanistique, les données de SEVAP liées aux distorsions temporelles ainsi que les publications in situ illustrant le fait que la durée des feux piétons est souvent trop courte pour les piétons les plus lents, pourraient conforter l'intérêt de systèmes de signalisations interactifs. Grâce à la possibilité d'identifier des piétons à risque, la durée des feux piétons pourrait être ajustable de façon dynamique, cette option n'imposant donc pas aux automobilistes un allongement systématique et injustifié du temps d'arrêt. Les développements technologiques sont susceptibles de réduire les coûts de réalisation et rendraient envisageable l'implantation de tels feux « intelligents » dans des zones où la concentration de piétons âgés est importante. L'impact d'une telle souplesse d'ajustement sur la fluidité de trafic requiert toutefois au préalable un travail de simulation informatique.

Tâche 4.7 Imagerie médicale (Responsable: CHRU Lille)

L'objectif de cette tâche, souhaitée par le conseil scientifique de la fondation, consistait à utiliser l'Imagerie à partir d'EEG haute résolution sur le site de Valenciennes, et dans un second temps, en synchrone avec de l'IRM fonctionnelle au CHRU de Lille. Le but en était de réaliser une cartographie fonctionnelle corticale et, autant que possible, sous

corticale pour une mise en relation des structures impliquées avec les comportements observés lors de la traversée de rue.

Le LAMIH ne dispose pas d'expérience significative en termes de traitement de l'EEG haute résolution ni d'imagerie fonctionnelle de type IRM. Il ne dispose pas non plus de ces deux outils de mesures. Dans le cadre de la proposition faite dans ce projet, nous nous sommes donc rapprochés de collègues Lillois du CHRU disposant de cette expertise, avec qui nous avons déjà collaboré sur d'autres projets. Si d'un point de vue théorique, nous continuons de penser que cette approche est possible et intéressante sa mise en œuvre pratique n'a pas été possible.

Pour rappel (cf. 4.4), la première étape qui consistait en la synchronisation du système EMG de 128 voies du CHRU de Lille avec notre système d'acquisition (Vicon Nexus) n'a pas posé de problème significatif. C'est dès la deuxième étape de cette tâche que s'est posé le problème majeur avec la faible disponibilité des collègues et du système pour les expérimentations sur le site de Valenciennes. De plus le système EEG du CHRU n'est pas conçu pour être utilisé lors de déplacement du sujet mais en pratique clinique lors de position très statique et le système filaire comme les prétraitements classiquement appliqués sont inadaptés.

Devant ces obstacles matériels et humains majeurs, que nous ne pouvions pas contrôler, couplés aux difficultés rencontrées lors de la première phase de conception du simulateur, nous avons recherché des solutions matérielles du commerce notamment en termes de système EEG dynamique. Les différentes sociétés rencontrées n'ont pas réussi à nous proposer des solutions adaptées à l'exception d'ANT Neuro qui propose depuis peu son système **eegosports**TM Ultramobile EEG & EMG recording plateforme (<http://www.ant-neuro.com/products/eegosports>). Ce système totalement portable et ultra léger de 64 voies correspond au type de matériel qui devrait permettre de mener à bien cette tâche mais que nous ne pouvions acquérir dans le cadre du projet.

L'analyse de la littérature scientifique suggère que nous ne sommes pas les seuls à nous être heurtés à ces difficultés. En effet, encore à ce jour, elle comporte très peu d'études avec de l'EEG haute résolution lors de la marche et ces rares études portent sur un déplacement sur tapis roulant, contournant ainsi la difficulté des systèmes filaires (Voir par exemple Graman *et al* 2010, Wagner *et al* 2012, Castermans *et al* 2014) comme le montre la figure 6.

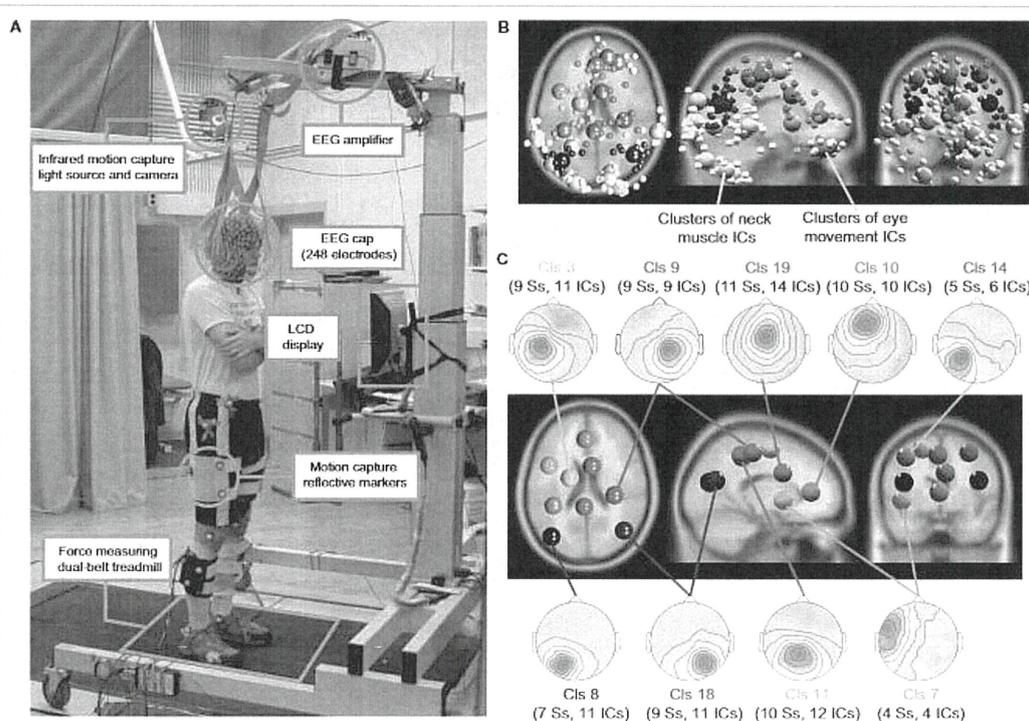
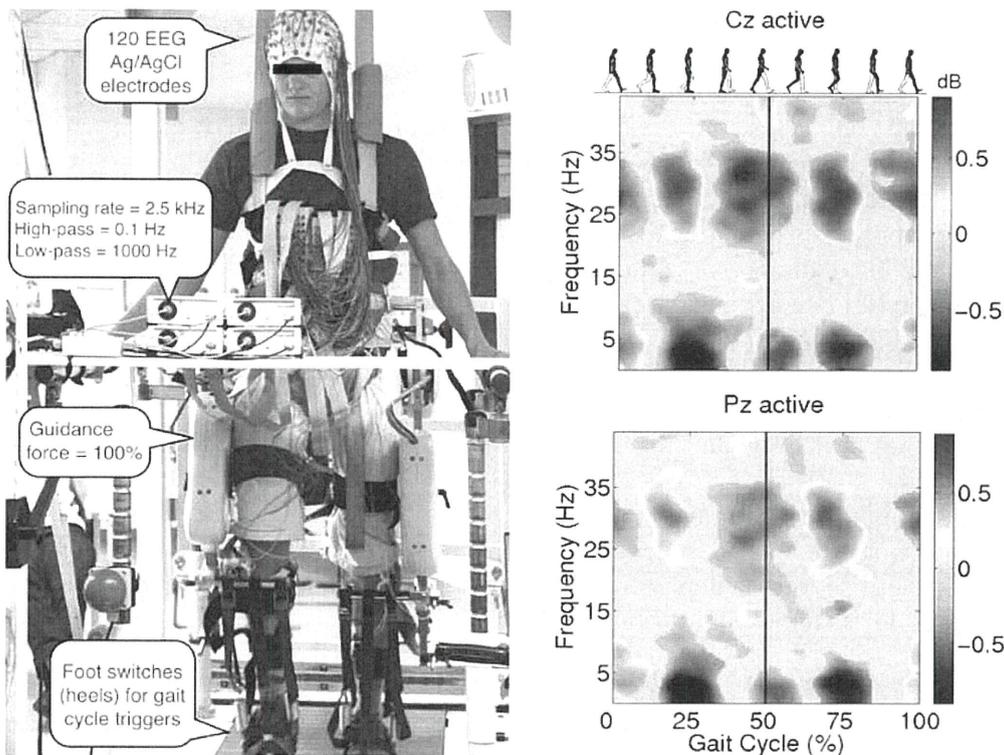


FIGURE 1 (A) Experimental setup: subject standing on the dual belt treadmill facing the LCD display. Components of the experimental setup are highlighted and described in the linked text boxes. (B) Equivalent dipole locations of independent component (IC) processes (small spheres) and IC cluster centroids (large spheres) projected on horizontal, sagittal, and coronal

views of the standard MNI brain. (Yellow) Neck muscle ICs; (gray) eye movement ICs; (other colors) brain-based ICs. (C) Scalp maps: Mean projections to the scalp of the indicated brain-based IC clusters. Labels give the index (ICs #), number of subjects (Ss), and number of independent components (# ICs) for each cluster.

Figure 6 : Dispositif expérimentaux d'EEG haute résolution lors de la locomotion sur tapis roulant de Graman *et al* 2010, Wagner *et al* 2012.

Aussi, nous avons préféré réinvestir le reste du temps imparti à cette tâche au développement de l'approche sur la perception du temps dans un contexte de traversée de rue. Si l'on souhaite poursuivre les investigations dans cette voie, il nous semble nécessaire de passer par l'achat d'un système portable du type de celui d'ANT Neuro (Figure 7). Dans tous les cas, un engagement dans ce type de projet nécessiterait un partenariat solide avec des experts de ce type de signaux. Le travail visant à préciser les hypothèses théoriques et opérationnelles est aussi un préalable qui n'a pas encore été finalisé. Sur le plan pratique, la mise en œuvre nécessiterait également un financement des participants car leur appareillage complet impliquerait des durées d'expérimentation conséquentes, et peu compatibles avec les disponibilités rencontrées dans cette population de seniors actifs lors du projet SEVAP.

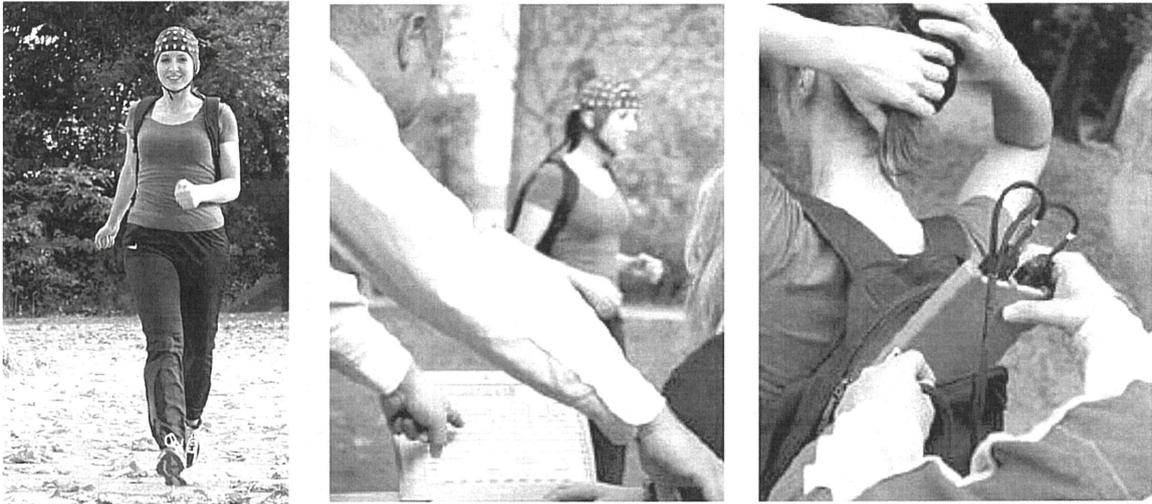


Figure 7 : Système EEG portable 64 voies sans fil d'ANT Neuro ©.

FRAIS D'EQUIPEMENT				
Nature	Valeur d'achat	Durée d'amortissement (mois)	Durée d'utilisation relative au projet (mois)	Amortissement
				-
TOTAL (en euros TTC)	-	0	0	-
Taux d'aide	100%			
AIDE FONDATION	0,00 €			

TABLEAU RECAPITULATIF	
	TOTAL
FRAIS DE FONCTIONNEMENT	18 387,41 €
Assiette	100%
Aide FONDATION	18 387,41 €
FRAIS D'EQUIPEMENT	0,00 €
Assiette	100%
Aide FONDATION	0,00 €
Total projet	18 387,41 €
Total Assiette	100%
Total aide FONDATION	18 387,41 €

PT2

Durée (mois)		14 mois					
Période de justification		du 1er septembre 2009 au 31 octobre 2010				Total Frais	Total Assiette
Dépense de personnel (en euros)		Total				0,00 €	0,00 €
	Noms						
	Ingénieur	Effort (mois)				0	0
	Ingénieur	Effort (h)				0	0
	€/heure	Coût				0,00	0,00
	Technicien	Effort (h)				0	0
	€/heure	Coût				0	0
Frais d'exploitation (en euros)		Total					
Communication et publication des résultats		Coût					
Missions						0,00	0,00
						0,00	0,00
						0,00	0,00
						0,00	0,00
						0,00	0,00
Frais d'exploitation (en euros) - option 1		Total				0,00 €	0,00 €
						0,00	0,00
						0,00	0,00
Frais de structure (en euros)		Total					
	€/heure	Coût					
TOTAL FRAIS DE FONCTIONNEMENT (en euros TTC)						0,00 €	0,00 €
ASSIETTE FRAIS DE FONCTIONNEMENT (en euros)						0,00 €	0,00 €
Taux d'aide							100%
Total aide FONDATION							

FRAIS D'EQUIPEMENT				
Nature	Valeur d'achat	Durée d'amortissement (mois)	Durée d'utilisation relative au projet (mois)	Amortissement
TOTAL (en euros TTC)		-	0	0
Taux d'aide		100%		
AIDE FONDATION		0,00 €		

TABLEAU RECAPITULATIF	
	TOTAL
FRAIS DE FONCTIONNEMENT	0,00 €
Assiette	100%
Aide FONDATION	
FRAIS D'EQUIPEMENT	0,00 €
Assiette	100%
Aide FONDATION	0,00 €
Total projet	0,00 €
Total Assiette	100%
Total aide FONDATION	

TABLEAU RECAPITULATIF	
	TOTAL
FRAIS DE FONCTIONNEMENT	4 361,99 €
Assiette	100%
Aide FONDATION	4 361,99 €
FRAIS D'EQUIPEMENT	0,00 €
Assiette	100%
Aide FONDATION	0,00 €
Total projet	4 361,99 €
Total Assiette	100%
Total aide FONDATION	4 361,99 €

SEVAP

RUB	LIBELLE	MONTANT	ENGAGE	MANDATE	DISPONIBLE REEL
6067	Petits équipements	4 995,50	0	2 681,42 €	2 314,08
6063	Petits équipements	4 995,50	0	1 084,95	3 910,55
6135	Location véhicule		0		0,00
6575	fond de concours	28 122,00		19 545,70 €	8 576,30
6254	frats d'inscription	800,00	0	690,00 €	110,00
628	prestations diverses	2 000,00	0	1 016,60	983,40
611	sous-traitance	2 500,00	0	832,01 €	1 667,99
62561	missions perso UVHC	2 550,00		2 219,54	330,46
62562	missions doctorants		0	289,61	-289,61
62563	missions personnel extérieur		0	0	0,00
65882	prestations internes	10 000,00		9 300,00 €	700,00
633	Finl		0	0	0,00
6411	Sabires	86 256,00	0	74 521,72 €	11 734,28
6415	Sfr		0	0	0,00
645	Urssaf		0	0	0,00
65881	Part. Forfaitaire		0	0	0,00
205	Logiciel		0	0	0,00
2153	Mat Scientifique	9 615,00		0	9 615,00
21877	Immo	22 397,00	0	28 008,85	-5 611,85
	TOTAL	174 231,00		140 190,40	34 040,60

COMPTE	LIBELLE	FRS MISS	ENGAGE	MANDATE	Payé le :	OM
6063	Vidéoprojecteurs = objectif-dalles retroprojection -table de projection	AVN		1 084,95		450002825
21877	Vidéoprojecteurs = objectif-dalles retroprojection -table de projection	AVN		28 008,85		450002825
628	mise en service sur site Vidéoprojecteurs = objectif-dalles retroprojection -table de projection	AVN		1 016,60		450002825
6411	Salaires de Bako RAJAONAH avril/mai 2010	B. RAJAONAH		7 695,71		
62561	Dpt Antonio PINTI, réunion IPROS INSERM CH Orléans le 26/07/2011	Antonio PINTI		203,64 €		13686
62561	Dpt Antonio PINTI, réunion de travail CH St Vincent Lille le 15/07/2011	Antonio PINTI		42,25 €		13689
62561	Dpt Cyril GARNIER, réunion PT1 et PT2 projet SEVAP, Paris, 10/03/2010	Cyril GARNIER		145,11		5286
62561	Dpt Eric WATELAIN, congrès ARIS / Action de dissémination - 23-24/05/12 Amiens	Eric WATELAIN		76,75		3903
62561	Dpt Eric WATELAIN, réunion PT1 et PT2 projet SEVAP, Paris, 09-10/03/2010	Eric WATELAIN		153,76		5284
62561	Dpt Eric WATELAIN, réunion comité de pilotage, LCPC, Paris, 10/05/2010	Eric WATELAIN		105,67		2893
62561	Dpt Eric WATELAIN, journée porteur de projet de la Fondation Sécurité Routière, Paris, 26/03/2010	Eric WATELAIN		174,86 €		1487
62561	Dpt Eric WATELAIN, réunion PT1 et PT2 projet SEVAP, Paris, 09-10/03/2010	Eric WATELAIN		153,76 €		5284
62561	Dpt Janick NAVETEUR, réunion de travail programme PISTES, Paris, 10/03/2010	Janick NAVETEUR		132,49		1023
62561	Dpt Janick NAVETEUR, présentation poster à Salon de Provence	Janick NAVETEUR		181,60 €		2651
62561	Dpt Julie DELZENNE, rdv à l'ODSR : base de données accidentologie, Lille, 05/05/2010	Julie DELZENNE		24,50		5137
62561	Dpt Julie DELZENNE, rdv à l'ODSR : base de données accidentologie, Lille, 25/05/2010	Julie DELZENNE		42,25		5140
62561	Dpt Julie DELZENNE, recherche dans bases de données accidentologie à la LMCU, Lille, 08/04/2010	Julie DELZENNE		39,75		5133
62561	Dpt Julie DELZENNE, participation à la 3ème journée TheRV, LAVAL, 06/04/2010 attention à justifier sur PT1	Julie DELZENNE		183,11		1872
611	611 - Sous traitance station sur mesure, connectiques et lecture de vidéos	ACFY		832,01 €		450003774
62561	billets de train Naveteur / Delzenne - 12 au 15/10/100 - Salon de Provence	PLACE VOYAGES		549,40 €		4500016478
6067	matériaux pour la recherche (contre plaque)	DELWARDE		710,59 €		4500016516
6254	Inscription de Julie DEZENNE - Colloque COPIE - les 13 & 14 oct 2011 - Salon de Provence	IFSTTAR		50,00 €		4500017448
6254	Inscription de Janick NAVETEUR - Colloque COPIE - les 13 & 14 oct 2011 - Salon de Provence	IFSTTAR		50,00 €		4500017457
6575	Fond de concours programme PISTE	UNIV DU SUD TOULON VAR		6 093,20 €		4500017577
6067	Electrodes ECM/EMG	BIOGESTA		203,32 €		4500023794
6254	Inscription de Maxime TANT et Eric WATELAIN - 7ème Biennale de PARIS - Amiens 2012	UNIV. JULES VERNES PICARDIE		290,00 €		4500023864
6575	Fond de concours programme PISTE	CHRU LILLE		9 765,00 €		4500023403
6575	Fond de concours programme PISTE	CNRS NPDC PICARDIE		1 817,50 €		4500023405
6067	marqueurs = rouleaux analogique	BIOGESTA		248,17 €		4500023719
6575	Fond de concours programme PISTE	USTL 1		1 870,00 €		4500023980
6411	Salaires de Julie DELZENNE	Julie DELZENNE		60 795,25 €		
6067	lampes projecteurs	AVN		1 519,34 €		4500030443
6254	inscription Eric Watelain	Université Montpellier 1		150,00 €		4500030951
6254	inscription Julie Delzenne	UVHC		150,00 €		4500036155
65882	système d'analyse 3D	UVHC	8 000,00 €			4500032655
65882	frais administratifs	UVHC	1 300,00 €			4500032659
62561	Congrès Montpellier	Eric WATELAIN	300,25 €			25586

Conclusion générale

L'intérêt scientifique de SEVAP réside dans la confrontation pluridisciplinaire des approches du piéton vieillissant. L'inclusion de la biomécanique est novatrice et s'est révélée heuristique. De façon générale, l'approche pluridisciplinaire est ancrée dans l'histoire du LAMIH mais SEVAP en constitue un des exemples les plus poussés. L'optimisation des protocoles dans le but d'alimenter de façon satisfaisante l'ensemble des approches dans des expérimentations communes est toutefois un processus complexe, impliquant des compromis entre les différents chercheurs. A l'extrême, ils peuvent gêner le processus de publications, certains détails de protocole pouvant avoir été motivés par une autre approche que celle de la cible disciplinaire.

Au final, la majeure partie des tâches au cahier des charges de SEVAP a été réalisée, malgré différents retards liés en local à la réalisation technique du simulateur et dans le cadre de PISTES, aux difficultés de mises en œuvre de l'action collective. Ces retards ont compliqué la coopération entre les intervenants, ces derniers se trouvant parfois mobilisés sur d'autres actions à concrétiser en parallèle de SEVAP suite au décalage du timing. La mise en œuvre montre que l'estimation initiale des charges de travail avait été sous-évaluée dans plusieurs tâches, mais la dynamique interne a permis de venir à bout des difficultés rencontrées. La gestion financière s'est également révélée critique (planification dans PISTES, nombreux intervenants, problèmes locaux).

L'exploitation scientifique de SEVAP est encore en cours, avec des traitements de données (ex. inclinaison du tronc, cinématique du cycle gauche et étude cinétique en termes de moment et puissance) et un travail de publication, notamment dans des revues de biomécanique appliquée. Des prolongements sont négociés. Malgré ses quelques aléas, le projet SEVAP compte parmi les actions phares conduites par le LAMIH ces dernières années. Le soutien de la FSR a été déterminant pour le développement local de cette thématique, et le simulateur est une valeur ajoutée. Ceci étant, la force de l'équipe en termes de perspectives réside maintenant dans les données capitalisées par le projet SEVAP, qui constituent une base comparative sans égal sur le comportement biomécanique des piétons âgés. C'est à ce public que sont dédiées les dernières phrases de ce rapport. L'intérêt d'un projet tel SEVAP est de développer une contribution scientifique solidement reliée à des préoccupations sociétales majeures : le développement du bien-vieillir qui dépend grandement des capacités à se déplacer, notamment à pied, apparaît de plus en plus comme la seule réponse possible au défi du vieillissement de la population. Grâce à la confiance que leur a accordée la Fondation Sécurité Routière, les auteurs du présent rapport espèrent y avoir modestement contribué.

Bibliographie

- Folstein MF, Folstein SE & McHugh PR 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.
- Harrell WA. 1990
Perception of risk and curb standing at street corners by older pedestrians. *Perceptual and Motor Skills*, 70(3c), 1363-1366.
- Harrell WA. 1991
Precautionary street crossing by elderly pedestrians. *International Journal of Aging and Human Development*, 32(1), p. 65-80.
- Lau TM, Gwin JT, McDowell KG & Ferris DP. 2012
Weighted phase lag index stability as an artifact resistant measure to detect cognitive EEG activity during locomotion. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* 9:47.
- Naveteur J, Delzenne J, Sockeel P, Watelain E & Dupuy MA. 2013
Crosswalk time estimation and time perception: an experimental study among older female pedestrians. *Accident Analyses Prevention*. 60:42-9. doi: 10.1016/j.aap.2013.08.014
- Gramann K, Gwin JT, Bigdely-Shamlo N, Ferris DP & Makeig S., 2010
Visual evoked responses during standing and walking. *Frontiers Human Neuroscience*. 29;4:202. doi: 10.3389/fnhum.2010.00202.

Liste des publications scientifiques et valorisations du projet SEVAP

Publications

- 1) Naveteur J., Delzenne J., Sockeel P., Watelain E., Dupuy M.A., Crosswalk time estimation and time perception: An experimental study among elderly female pedestrians, *Accident Analysis and Prevention* [IF 2,391] 60:42-9
- 2) Bourelly A., Delzenne J., Watelain E., Garnier C., Luyat M., Kurek F., Naveteur J., Security-margin of elderly pedestrians: An experimental study in a street-crossing simulation device, *PLOSone* [IF 3,730] *Soumis*

Travaux universitaires

- 3) Julie Delzenne (2013) La traversée de rue chez le piéton senior : Conception d'un simulateur, étude biomécanique et comportementale. Thèse de doctorat de l'université de Valenciennes, 279p
- 4) François Kurek (2013) Analyse du comportement et de la prise de décision lors de la traversée de rue chez le piéton âgé, Master 2 recherche de l'université de Valenciennes, 73p
- 5) François Kurek (2012) Analyse neurophysiologique du processus décisionnel de l'initiation de la marche lors de la traversée de rue chez la personne âgée, Master 1 recherche de l'université de Valenciennes, 71p

Chapitre d'ouvrage

- 6) Watelain E., J. Delzenne, A. Bourelly, A. Pinti, C. Garnier, P. Laudati, Dupuy M.A., (2013) Le simulateur SRP 'Simulateur de Rue pour Piétons' : un outil avancé pour contribuer à l'autonomie et la sécurité des piétons, *HyperUrbain4*, Valenciennes 18-20 juin, 10p, ISBN XXXX : *sous presse*

Communications

- 7) Watelain E., Naveteur C., Bourelly A., Delzenne J., Pinti A., Garnier C., Dupuy M.A., (2013) Is postural stability of older pedestrians perturbed by the sound of an approaching car?, *Euromov conference*, June 24-25, 2013 - Montpellier, France
- 8) Delzenne J., Dupuy M.A., Watelain E., Sockeel P., Courbois Y., Naveteur J. (2011) Traversée de rues et vieillissement: troubles locomoteurs et estimation du temps de traversée. 13^e colloque francophone international du GERI COPIE "Qualité et sécurité du déplacement piéton: facteurs, enjeux et nouvelles actions, Salon De Provence, F., octobre. In Les collections de l'INRETS, Réf A135, ISBN 978 2 85782 701 6, pp223-229

Le simulateur de rues pour piétons a été présenté sur la page d'accueil du site internet de l'université de Valenciennes pendant plusieurs semaines dès sa mise en service. Il est également présenté sur le site du LAMIH comme une des plateformes technologiques à l'adresse suivante : <http://www.univ-valenciennes.fr/LAMIH/simulateur-de-rue-pour-pietons>. Une vidéo de présentation générale du simulateur est également disponible sur http://eric.watelain.free.fr/Telecharger/SRP_presentation_rapide_2012.wmv.

Le simulateur de rues pour piétons a également été utilisé pour valoriser l'activité du laboratoire à plusieurs reprises notamment lors de l'évaluation par le Comité Scientifique International du laboratoire le 21-22 février 2013. Durant ce dernier, chaque équipe du laboratoire a présenté deux de ses points forts devant 12 experts internationaux.

Le simulateur de rues pour piétons fait également partie des plateformes technologiques mises en avant lors de différentes manifestations réalisées sur le campus universitaire de Valenciennes notamment :

- Journées Automatique et Automobile du 27 et 28 novembre 2012 à Valenciennes
 - TRANSPORT & MOBILITÉ du Mercredi 28 Novembre 2012, Stade du Hainaut, Valenciennes
 - Visite de la délégation de l'Université Royale de Fahd (Arabie Saoudite) 30 mai 2013.
-

Le simulateur et quelques résultats de notre première campagne de mesure ont également été présentés le 6 décembre 2013 à l'IFSTTAR lors du premier séminaire du GERI PRELUDE (Groupe d'échanges et de Recherche IFSTTAR sur Perception et Simulateurs de déplacement) par Mme Aurore Bourrely : "Le simulateur SRP 'Simulateur de Rue pour Piétons' : un nouvel outil pour contribuer à l'autonomie et la sécurité des piétons".

Liste des annexes

- 1> Thèse de Julie Delzenne (*document joint*)
- 2> Doc eegsportsTM d'antneuro (*document joint*)
- 3> Publications et communications en relation avec le projet (*document joint*)
- 4> Accord de promotion du projet par le CNRS (*document joint*)
- 5> Accord du comité d'éthique (*document joint*)
- 6> Autorisation de l'AFSSAPS (*document joint*)
- 7> Autorisation de lieux de la salle de biomécanique du LAMIH (*document joint*)
- 8> Déclaration de début de recherche (*document joint*)

Seniors en Ville à Pied :

Etude biomécanique et psychophysiological de l'initiation de la traversée de rue en milieu urbain chez le piéton âgé

N° de contrat FSR : 20091MPh IPISTES
Rapport Final - Note de synthèse
Mars 2014

La qualité de vie et l'autonomie des personnes âgées dépendent grandement de la capacité à se déplacer à pied ; il convient donc de la préserver le plus souvent et le plus longtemps possible, en parallèle à d'autres actions visant à favoriser le maintien à domicile. Les politiques incitatives ne peuvent toutefois ignorer que les piétons âgés constituent une population à risque, avec une probabilité majorée de décès et de basculement dans la dépendance. Ce constat motive des démarches de sécurité active, certaines centrées sur le piéton lui-même, dont il est nécessaire de préciser les comportements potentiellement accidentogènes. La traversée de rue est la phase la plus critique où s'expriment différents facteurs de risque moteurs, sensoriels et cognitifs... L'approche scientifique de cette problématique est diverse, incluant des observations *in situ*, des enquêtes ou questionnaires et des études expérimentales en laboratoire, en environnement naturel ou en simulateur.

L'objectif principal du projet SEVAP est de contribuer à la sécurité des piétons âgés en développant une exploration biomécanique de l'initiation de la traversée de rue chez le piéton âgé. Pour cela, il se décompose en deux grands sous objectifs qui sont :

- d'une part, de concevoir un simulateur de traversée de rue pour piéton intégrant des mesures biomécaniques et électrophysiologiques,
- et d'autre part, de réaliser une série d'expérimentations, étudiant les premières phases de la traversée de rue, chez des piétons âgés.

Outre son intérêt intrinsèque, l'analyse fine des ajustements posturaux anticipatoires et du mouvement peut contribuer à une meilleure compréhension des processus décisionnels. Une attention particulière est également portée à l'incidence du vieillissement sur la perception du temps dans le contexte de traversée de rue.

Le projet SEVAP a permis l'agencement matériel et logiciel d'un simulateur nommé Simulateur de Rue pour Piétons (SRP). Ce simulateur est une structure en U formée de 5 écrans. L'espace disponible intègre un trottoir de hauteur modulable et une section de rue correspondant à une voie proximale et l'amorce d'une voie distale. Grâce à l'intégration des équipements biomécaniques et électrophysiologiques, le comportement statique et dynamique du piéton peut y être étudié, à savoir la station debout en bord de rue et les caractéristiques des trois premiers pas. Un harnais de sécurité permet d'assurer une protection maximale des participants en limitant les risques de chute, sans pour autant entraver la liberté de mouvement. Dans le cadre de SEVAP, le SRP a fonctionné en réalité projetée. Des prises de vues ont été réalisées dans une rue du Valenciennois (choisie sur la base de contraintes techniques et d'une analyse accidentologique), avec des scénarios de trafic précisément définis et orchestrés. Travaillés en post-production, les films sont projetés sur les écrans latéraux, alors qu'une image fixe est projetée sur les écrans de face. Une série de pré-tests a été conduite pour finaliser et évaluer le simulateur. L'ensemble offre un réalisme satisfaisant malgré quelques distorsions perceptives quasiment inévitables avec ce

type de dispositif ; comme dans la littérature, la perception des distances est notamment affectée mais sans pour autant invalider les résultats expérimentaux comparatifs. Il est intéressant de constater que le SRP n'induit quasiment pas de cinétose.

Hors simulateur, une étude préliminaire a testé l'idée selon laquelle des erreurs commises par des piétons âgés dans l'estimation de la durée de leur traversée peuvent être imputables à des distorsions de leur perception du temps. Sur un champ de marche modélisant une section transversale de rue, des temps de traversée réelle de participantes de deux classes d'âges (seniors et contrôles jeunes) ont été comparés à des temps de traversée imaginée fournis par ces mêmes participantes restant immobiles sur une ligne de départ (elles produisent une durée qui, selon elles, correspond à leur temps de traversée). La vitesse de la base de temps (« horloge interne ») a été évaluée par une tâche de production de durées. Un risque de sous-estimation du temps de traversée est révélé chez les seniors dont l'horloge interne est accélérée. L'effet ne peut s'expliquer par une absence de prise en compte d'un ralentissement de la marche induit par le vieillissement. En effet, un groupe de femmes souffrant de troubles locomoteurs, testés avec la même procédure, a révélé non pas une sous-estimation mais une surestimation du temps de traversée, majorant ainsi la marge de sécurité.

En simulateur, l'expérimentation a également porté sur deux classes d'âge, seniors et contrôles jeunes, tous actifs et en bonne santé. Les participants étaient invités à initier des traversées de rue, dans 6 conditions de trafic différentes : sans trafic, intervalle long-1 véhicule, intervalle long-2 véhicules, intervalle court-1 véhicule, intervalle court-2 véhicules, intervalle trop court. Chaque condition était répétée 3 fois, avec soit un départ sur un trottoir plat, soit un départ sur un trottoir rehaussé. Au début de chaque essai, les participants étaient positionnés sur la zone de départ dans une position naturelle d'attente ; ils avaient pour consigne d'orienter le regard vers une cible visuelle située sur l'écran central face à eux. Lorsque la cible disparaissait, les participants étaient autorisés à explorer visuellement l'environnement et à initier la traversée, s'ils estimaient avoir le temps de traverser en marchant à leur rythme (donc sans courir) et sans se faire percuter par le(s) véhicule(s) à l'écran. Si tel était le cas, ils marchaient jusqu'à la ligne centrale, puis utilisaient l'espace disponible entre cette marque et l'écran pour s'arrêter. Dans le cas contraire, ils restaient dans la zone de départ. A la fin de chaque essai, les participants évaluaient rétrospectivement leur ressenti concernant le danger perçu lors de la traversée, à travers une note allant de 0 (absolument pas dangereux) à 10 (très dangereux). Une fois cette tâche réalisée, les participants retournaient à la zone de départ jusqu'au lancement de l'essai suivant.

Les principaux résultats soutiennent l'idée d'un comportement de traversée plus prudent des participants âgés, comparativement aux plus jeunes. Leur engagement sur la chaussée requiert une marge de sécurité accrue, et n'est effectif qu'après une exploration plus poussée des voies de circulation. La vitesse de marche des seniors est également plus rapide que celle des jeunes (traduisant essentiellement une augmentation de la cadence des pas) dans des conditions de faible pression temporelle. Les caractéristiques biomécaniques portent néanmoins les signes du vieillissement. Il s'agit donc d'une marche adaptée, rarement décrite dans les environnements décontextualisés des laboratoires. Si des biais de contexte ne peuvent pas être totalement exclus, il convient de souligner que le

comportement de traversée dans le simulateur se révèle cohérent avec la description sécuritaire que ces personnes font de leur comportement habituel en tant que piéton. Suggérée par les mesures posturométriques, une anxiété-état (liée à une évaluation cognitive primaire) accrue chez les seniors juste avant l'initiation motiverait donc efficacement le comportement sécuritaire, conduisant à des évaluations secondaires favorables et donc, à la réduction de l'anxiété.

Si notre description de piétons âgés prudents rejoint la conclusion de quelques études antérieures, elle contraste avec les statistiques accidentologiques de cette classe d'âge. Dans notre recherche, tant les critères d'inclusion des participants âgés (personnes actives et en bonne santé) que les paramètres contextuels (faible flux de véhicules ; marche sur de courtes distances) peuvent avoir été favorables. Nos seniors auraient ainsi été aptes à mettre en œuvre des stratégies d'adaptation et l'auraient fait pour des niveaux de menace bien moindres que ceux auxquels réagissent les plus jeunes. Cependant, certaines stratégies pourraient parfois se révéler contreproductives. Transposée dans un contexte de flux continu, il est possible que trop d'hésitation à s'engager puisse conduire à des traversées dangereuses, si elles sont ultimement motivées par la fatigue et/ou l'énerverment résultant d'une attente prolongée en bord de trottoir. La vitesse de marche accrue pourrait également, au-delà d'un certain seuil, prédisposer aux chutes. Enfin, quelques facteurs de risques potentiels sont décrits chez certains participants retraités, en particulier des distorsions de la perception du temps : une accélération de la base de temps sous l'effet du vieillissement réduit la perception du danger, en lien avec une réduction de la pression temporelle. Les piétons seniors concernés sont donc doublement à risque : sous-estimation *a priori* du temps requis pour traverser et sous-estimation *a posteriori* du danger encouru.

Au final, le projet SEVAP a permis de capitaliser une base comparative sans égale sur le comportement biomécanique des piétons âgés et illustre l'intérêt d'une approche pluridisciplinaire. Les perspectives sont multiples. A court terme, le défi principal est de comparer les comportements observés dans SEVAP à ceux présentés dans des situations plus dégradées, soit touchant le piéton lui-même, soit étant de nature conjoncturelle exogène ou endogène. Des pistes de renforcement de la sécurité par stratégies éducatives/rééducatives seront explorées dans le cadre de collaborations stimulées par la FSR. Enfin, SEVAP ouvre des perspectives de développement de systèmes d'assistance, notamment pour aider les piétons présentant des distorsions conséquentes de leur base de temps.

