



*Jean-Baptiste DUBUISSON*

*Aurélie DOMMES*

*Viola CAVALLO*

*Fabrice VIENNE*

*Isabelle AILLERIE*

*Jacky ROBOUANT*

*Isabelle TOURNIER*

*Sabine LANGEVIN*

*Jennifer OXLEY*

## **SEPIA : SÉcurité du PIéton Âgé**

**Elaboration et évaluation de plusieurs méthodes d'entraînement pour  
améliorer la sécurité des piétons âgés lors de la traversée de rue**

*Livrable intermédiaire N°4 (rapport final)*

*Convention IFSTTAR/Fondation Sécurité Routière*

*Décembre 2012*



## Sommaire

Résumé .....	5
1 Introduction.....	7
2 Les difficultés des piétons âgés : état des lieux et principales causes. ....	8
2.1 Les effets du vieillissement sur la traversée de rue. ....	8
2.2 Les principales causes des difficultés des seniors. ....	9
3 L'entraînement des piétons âgés. ....	11
3.1 Entraînement perceptivo-cognitif. ....	12
3.2 Entraînement comportemental. ....	13
3.3 Entraînement éducatif.....	14
4 Etude préalable à la mise en place des entraînements: comparaison des traversées entre participants jeunes et âgés en situation interactive. ....	15
4.1 Méthodologie.....	15
4.1.1 Participants.....	15
4.1.2 Matériel. ....	16
4.1.3 Procédure. ....	19
4.2 Résultats.....	21
4.2.1 Pourcentage moyen de traversées acceptées. ....	21
4.2.2 Pourcentage moyen de collisions.....	21
4.2.3 Examen des données en fonction des intervalles de temps disponibles entre les véhicules à l'approche. ....	23
4.3 Conclusions des principales difficultés rencontrées par les participants âgés. ....	26
5 Entraînements à la traversée de rue.....	28
5.1 Méthodologie.....	29
5.1.1 Participants.....	29
5.1.2 Procédure. ....	30
5.1.3 Entraînement perceptivo-cognitif.....	30
5.1.4 Entraînement comportemental. ....	32
5.1.5 Entraînement éducatif.....	33
5.1.6 Analyse des résultats.....	36
5.2 Résultats quant aux effets des entraînements à court terme (post-test immédiat). ....	37
5.2.1 Groupe contrôle. ....	37
5.2.2 Entraînement perceptivo-cognitif.....	39

5.2.3	Entraînement comportemental. ....	41
5.2.4	Entraînement éducatif.....	42
5.3	Résultats quant aux effets des entraînements à long terme (post-test différé). ....	43
5.3.1	Groupe contrôle. ....	43
5.3.2	Entraînement perceptivo-cognitif. ....	44
5.3.3	Entraînement comportemental. ....	45
5.3.4	Entraînement éducatif.....	47
6	Discussion. ....	49
6.1	Effets de l'âge, de la vitesse d'approche des véhicules et de la complexité du trafic.....	49
6.2	Vers l'amélioration de la sécurité des piétons âgés ? .....	50
6.2.1	Effet de la pratique. ....	51
6.2.2	Intervention éducative. ....	52
6.3	Vers une meilleure prise en compte de la vitesse d'approche des véhicules et de la voie éloignée où circule également le trafic ? .....	53
7	Conclusions et recommandations. ....	55
8	Références bibliographiques. ....	56

## Résumé

Le présent rapport expose les résultats des dernières expérimentations du projet SEPIA visant à proposer et tester diverses méthodes d'entraînement pour améliorer la sécurité des piétons âgés.

Avant d'élaborer les méthodes d'entraînement, nos premiers travaux menés dans le cadre du présent projet (cf. Langevin et al., 2010) ont visé à étudier les effets conjoints et respectifs de l'âge du piéton, de la vitesse d'approche des véhicules et de la complexité du trafic sur les comportements et décisions de traversée de rue. Ces trois facteurs sont en effet connus pour concourir à la surreprésentation des piétons âgés dans les statistiques d'accidents, mais ils n'avaient jamais été étudiés expérimentalement et respectivement dans une seule et même étude. Avec une tâche d'estimation de traversée de rue sur simulateur, nos premiers travaux montraient que les piétons âgés ont plus de difficultés que les piétons jeunes à gérer (i) la vitesse d'approche des véhicules et (ii) les situations complexes comme le double sens de circulation, sans pour autant que ces difficultés n'interagissent entre elles. Comme ces premiers travaux proposaient une tâche d'estimation de traversée de rue avec des réponses OUI/NON sans implication physique du piéton (voir les deux premiers rapports SEPIA, cf. Langevin et al. 2010), il nous fallait corroborer ces résultats avec une tâche impliquant un déplacement réel du piéton, et cela avant de s'engager dans la voie du ré-entraînement des piétons âgés.

Les travaux entrepris ensuite ont donc eu pour objectif de comparer les comportements de traversée de rue entre des participants jeunes et âgés à l'aide de notre nouveau dispositif de simulation à l'Ifsttar Versailles qui nous permet aujourd'hui de reproduire du double sens de circulation avec un déplacement réel du piéton sur une distance de plus de 6 mètres. Les résultats confirment les difficultés des seniors à prendre en compte la vitesse d'approche des véhicules dans leur prise de décision, mais également à considérer le trafic approchant de la voie éloignée d'une rue à double sens de circulation. Ces difficultés témoigneraient du déclin des capacités d'attention visuelle avec l'âge. Pour tester cette hypothèse, une étude avait en effet été menée dans nos premiers travaux SEPIA (cf. Langevin et al., 2010) et les résultats montraient que la majoration du nombre de collisions chez les piétons âgés était expliquée par le déclin avec l'âge de la vitesse de traitement et des capacités d'attention visuelle (sélective et divisée), la baisse de l'acuité visuelle ainsi que le ralentissement de la vitesse de marche. Ces capacités attentionnelles avaient été évaluées par le célèbre UFOV® test ("Useful Field of View®", Ball et al., 1988, 1993) connu également pour être très prédictif du nombre d'accidents automobiles (Ball & Owsley, 1993 ; Ball et al., 1993 ; Owsley et al., 1998) et de déclin de la mobilité de la personne âgée (Owsley & McGwin, 2004).

Pour faire suite à ces travaux et savoir dans quelle mesure il est possible de remédier aux difficultés des piétons âgés, la dernière étape du projet visait à proposer et tester expérimentalement l'efficacité de plusieurs méthodes d'entraînement pour améliorer la sécurité de leurs traversées de rue. L'idée était soit de ré-entraîner les capacités fonctionnelles intervenant lors de la traversée de rue et identifiées comme contribuant à leurs difficultés (ex. les capacités attention visuelle), soit de ré-entraîner les comportements à risque directement sur le simulateur de traversée de rue ou par le biais d'une intervention éducative. Pour ce faire, trois programmes d'entraînement

ont été élaborés : un entraînement "perceptivo-cognitif", un entraînement "comportemental" et un entraînement "éducatif". Le programme d'entraînement perceptivo-cognitif à été réalisé sur le logiciel informatique d'UFOV® Training développé à partir du UFOV® test de Ball et al. (1988) et Edwards et al. (2002). Ce programme cible le champ visuel utile et permet d'entraîner la vitesse de traitement d'informations visuelles, l'attention divisée et l'attention sélective, ces compétences ayant précédemment été révélées comme prédictives du risque en traversée de rue (cf. Dommes & Cavallo, 2011 ; Langevin et al., 2010). L'entraînement comportemental consistait en la pratique répétée de la tâche de traversée de rue sur simulateur, en confrontant le participant à un grand nombre d'essais dont ceux qui leur sont particulièrement délicats à gérer. L'entraînement éducatif visait quant à lui à sensibiliser et faire prendre conscience aux piétons âgés des facteurs de risque à l'origine des accidents de traversée de rue (ex. vitesse et double sens), sans pratique effective mais au travers de discussions de groupe et de démonstrations préventives. Un groupe contrôle ne bénéficiant d'aucune intervention a également été recruté. Tous les groupes répondaient, à des intervalles de temps identiques, à une tâche test de traversée de rue sur simulateur avant de prendre part à un programme d'entraînement, tout de suite après et 6 mois après.

Les résultats montrent que les méthodes d'entraînement comportemental sur simulateur et d'entraînement éducatif sont toutes les deux capables de produire un certain bénéfice sur la sécurité des décisions des seniors, alors que la méthode d'entraînement perceptivo-cognitif s'est avérée inefficace. Les participants âgés ayant bénéficié de ces méthodes d'entraînement ont ainsi montré une amélioration significative de leurs comportements de traversée, avec moins d'essais dangereux acceptés, et donc moins de collisions virtuelles après avoir suivi les entraînements, même plus de 6 mois après.

Malgré des résultats encourageants, ces méthodes d'entraînement comportemental ou éducatif se confrontent à des limites. Les participants âgés persistaient en effet à montrer des difficultés particulières à prendre en compte la vitesse des véhicules à l'approche dans leur prise de décision, et, d'autre part, à prendre en considération le trafic sur la voie éloignée. Ces difficultés étaient moindres, mais toujours présentes. Il semble donc difficile de modifier en profondeur la décision de traversée la rue des piétons âgés, qui, ancrée dans des habitudes depuis bon nombre d'années, ne peut être vraiment améliorée que par des voies indirectes et indépendantes de l'individu. Au delà de promouvoir la prudence auprès des usagers seniors par des interventions comportementales ou éducatives, l'amélioration de leur sécurité pourrait donc surtout s'envisager par des modifications d'infrastructure (ex. préférer les sens uniques, offrir un îlot central en cas de double sens), de politique de réduction de la vitesse en ville (ex. contrôles radar, ralentisseurs, "zones 30"), ou encore par le développement de systèmes d'assistance au conducteur et/ou au piéton pour détecter et éviter les accidents des piétons âgés.

# 1 Introduction

Le projet de recherche SEPIA s'inscrit dans la perspective d'améliorer la sécurité des piétons âgés qui représentent une population particulièrement vulnérable d'usagers de la route. Alors que de nombreuses études s'intéressent à la mobilité des âgés (e.g., Owsley et McGwin, 2004), l'étude spécifique de leurs décisions et comportements de traversée de rue fait encore l'objet de peu de travaux dans la littérature. Les travaux sur cette question s'accordent à faire apparaître des changements significatifs avec l'âge potentiellement responsables du grand nombre d'accidents de piétons chez les seniors (Dommes & Cavallo, 2011 ; Holland et Hill, 2010; Lobjois et Cavallo, 2007, 2009 ; Oxley et al., 1997, 2005). Ainsi, les piétons âgés sont plus lents pour prendre la décision de traverser et pour initier le premier pas. Ils marchent globalement plus lentement, adoptent des marges de sécurité réduites et montrent des difficultés à sélectionner des gaps suffisamment longs pour franchir le trafic en toute sécurité. Ces difficultés apparaissent particulièrement marquées lorsque la vitesse d'approche des véhicules est élevée ou lorsque les conditions de trafic sont complexes (Lobjois et Cavallo, 2007, 2009 ; Oxley et al., 1997, 2005).

Dans ce contexte, l'un des objectifs de SEPIA était d'étudier expérimentalement les effets conjoints et respectifs de l'âge du piéton, de la vitesse d'approche des véhicules et de la complexité du trafic sur les comportements et décisions de traversée de rue. L'utilisation d'un tout nouveau dispositif de simulation nous permet aujourd'hui de reproduire un environnement virtuel proche des conditions réelles de traversée, avec l'avantage d'être sans danger pour les participants et de permettre un contrôle rigoureux des conditions de trafic approchant d'une ou de deux directions et à des vitesses différentes.

Un second objectif de SEPIA était d'accroître les connaissances pour expliquer la plus grande vulnérabilité des piétons seniors. Les travaux antérieurs expliquent souvent l'augmentation des traversées risquées avec l'âge par le déclin des capacités cognitives, perceptives ou motrices (Holland et Hill, 2009 ; Lobjois et Cavallo, 2007, 2009 ; Oxley et al., 1997, 2005). Mais aucune n'avait prouvé expérimentalement cette relation. Les deux premiers rapports livrés respectivement en juillet 2010 et décembre 2010 (Langevin et al., 2010) répondent à ces questions et nous en synthétisons les résultats dans la première section du présent rapport.

Pour faire suite à ces premiers travaux mettant en évidence l'impact du déclin des fonctions perceptives, cognitives et motrices lié à l'avancée en âge sur les décisions de traversée de rue (cf. Dommes et al., 2011 ; Langevin et al., 2011), la seconde étape du projet visait à proposer et tester expérimentalement l'efficacité de plusieurs méthodes d'entraînement pour améliorer la sécurité des seniors lorsqu'ils traversent la rue. L'idée était soit de ré-entraîner les capacités fonctionnelles identifiées comme déclinant avec l'âge et intervenant lors de la traversée de rue, soit de ré-entraîner directement les comportements à risque sur un simulateur de traversée de rue ou indirectement par le biais d'une intervention éducative. Le présent rapport fait ainsi état des résultats des diverses expérimentations qui ont eu lieu ces deux dernières années et qui visaient à tester ces trois méthodes d'entraînement du piéton âgé.

## 2 Les difficultés des piétons âgés : état des lieux et principales causes.

### 2.1 Les effets du vieillissement sur la traversée de rue.

Parmi les facteurs de risque, nous retenons que les piétons âgés prennent plus de décisions risquées lorsque la vitesse d'approche des véhicules est élevée (Dommes & Cavallo, 2011; Lobjois & Cavallo, 2007, 2009 ; Oxley et al., 2005). Les seniors ont des difficultés particulières à prendre en compte les informations relatives à la vitesse d'approche des véhicules dans leur prise de décision. Ils choisiraient de traverser la rue principalement en fonction de la distance les séparant des véhicules à l'approche. Ils ont ainsi tendance à émettre beaucoup de décisions dangereuses lorsque la vitesse d'approche est élevée (associée à de grandes distances), et à manquer des opportunités de traverser pourtant sécuritaires à vitesses faibles (associées à de courtes distances).

On retient également que le facteur complexité du trafic est particulièrement préjudiciable à la sécurité des décisions de traversée de rue des seniors. Plusieurs travaux d'observation en milieu réel révèlent ainsi que les piétons âgés prennent plus de décisions risquées que les jeunes dans des situations de trafic complexe telles des voies à double sens de circulation (Oxley et al., 1997). Les personnes âgées auraient des difficultés particulières à gérer la seconde partie de la traversée. L'analyse de Fontaine & Gourlet (1997) indique que les piétons âgés sont plus souvent heurtés par le véhicule en milieu et en fin de traversée (alors que les enfants le sont en début et milieu de traversée). Oxley et al. (1997) constatent que les seniors sont plus impliqués que les jeunes dans des collisions se produisant du côté éloigné de la chaussée, indiquant un manque de prise en compte du trafic dans la seconde voie.

Dans les deux premiers rapports du projet SEPIA (cf. Langevin et al., 2010), nous voulions tester expérimentalement les effets conjoints et respectifs de l'âge du piéton, de la vitesse d'approche des véhicules et de la complexité du trafic sur les comportements et décisions de traversée de rue. Mais pour respecter les délais d'expérimentation du projet, et en raison de la construction de notre nouveau simulateur à Versailles-Satory, nous avons utilisé le simulateur du LEPSIS (Paris 15<sup>ème</sup>). La configuration du simulateur du LEPSIS ne nous avait pas permis de proposer aux participants d'effectuer une tâche réelle de traversée de rue dans un environnement simulé (la distance de marche effective étant trop courte dans ce dispositif). Une tâche d'estimation de traversée avait donc été proposée, et le sujet répondait à l'aide d'un bouton réponse pour déclarer à chaque essai présenté s'il acceptait ou non de franchir le trafic virtuel.

Les résultats montraient tout d'abord que l'âge constitue un important facteur de vulnérabilité des piétons en situation de traversée de rue. Les seniors avaient adopté des marges de sécurité très, voire trop, réduites par rapport à leur vitesse de marche, ce qui avait engendré un taux de collisions trois fois plus élevé que celui observé chez les piétons jeunes. Les résultats confortaient également les travaux antérieurs montrant les difficultés des seniors à considérer la vitesse d'approche dans leur prise de décision, avec de nombreuses collisions à vitesse élevée. Plus important encore, la

complexité du trafic avait pu être identifiée comme un important facteur de risque pour les piétons seniors. L'étude d'Oxley et al. (1997) était la seule à ce jour à avoir comparé les comportements des seniors selon que le trafic approche d'une seule ou de deux directions. Toutefois, cette étude était observationnelle, et les chercheurs ne pouvaient pas manipuler les conditions réelles de trafic, mais seulement les observer. Ainsi, dans cette première étude SEPIA, trois conditions de trafic avaient été élaborées et manipulées : une condition de trafic à sens unique, et deux autres conditions de trafic à double sens, dans lesquelles la difficulté était variable. Les résultats montraient que la proportion de collisions était indépendante de la complexité du trafic chez les piétons jeunes, alors que les seniors avaient d'autant plus de collisions que le trafic était complexe.

Comme ce dispositif impliquait une réponse de type OUI/NON sans traversée effective, et donc sans interactivité, il nous a paru important de répliquer cette expérimentation, mais en utilisant notre nouveau dispositif de traversée de rue à Satory qui permet au piéton d'effectuer un déplacement réel sur plus de 7 mètres. Ce travail et ses résultats sont présentés à partir de la section 4 p.15 du présent rapport.

## **2.2 Les principales causes des difficultés des seniors.**

L'augmentation des traversées risquées avec l'âge, que ces décisions soient prises lorsque les véhicules approchent rapidement ou dans des conditions de trafic complexe, est globalement interprétée par des facteurs intrinsèques aux piétons, c'est-à-dire par le déclin de leurs capacités fonctionnelles associé au processus de vieillissement normal (Dommes & Cavallo, 2011 ; Holland & Hill, 2010 ; Lobjois & Cavallo, 2007, 2009 ; Oxley et al., 1997, 2005). Cette relation a toutefois été très rarement mise en évidence d'un point de vue expérimental. A notre connaissance, les seules publications à ce sujet concernent soit la situation relativement simple de traversée de rue à sens unique (Dommes & Cavallo, 2011), soit impliquent un petit nombre de prédicteurs fonctionnels, surtout liés à la mobilité des seniors (Holland & Hill, 2010). Or, la littérature du vieillissement normal fait apparaître l'affaiblissement d'un vaste ensemble de capacités fonctionnelles, c'est-à-dire cognitives, perceptives et physiques. L'affaiblissement de telles capacités avec l'âge serait particulièrement préjudiciable à la gestion de situations complexes comme traverser une rue à double sens de circulation ou percevoir des véhicules qui approchent rapidement.

La littérature du vieillissement fait clairement apparaître des difficultés cognitives avec l'âge qui pourraient être particulièrement préjudiciables à la sécurité du piéton. Ces difficultés sont notamment liées au contrôle attentionnel et exécutif pour partager son attention (Kramer et al., 1994, 1999 ; Verhagen & Cerella, 2002), sélectionner les informations pertinentes de l'environnement tout en ignorant d'autres, ou encore pour planifier des actions et alterner entre plusieurs sources d'informations (Ball et al., 1993 ; Hasher & Zacks, 1988 ; Miyake et al., 2000 ; Salthouse, 2003). Le vieillissement se caractérise aussi par un ralentissement de la vitesse de traitement des informations, et cela d'autant plus que les tâches sont complexes (Salthouse, 1996, 2003). Les traitements cognitifs de bas niveau (i.e. traitement des informations sensorielles) seraient exécutés trop lentement pour que les traitements de plus haut niveau (faisant intervenir par exemple la planification et les fonctions exécutives) soient complètement et correctement accomplis dans le temps imparti. Par ailleurs, le ralentissement de la vitesse de traitement des informations pourrait entraîner la réduction ou la perte des informations en mémoire.

Ces déclin cognitifs sont associés à une détérioration des capacités perceptives et visuelles qui entreraient également en jeu dans la sécurité des décisions que prend un piéton. Avec l'âge, les personnes ont un champ visuel utile restreint (Burg, 1968 ; Rubin et al., 1997 ; Wolf, 1967), des difficultés à percevoir les détails et les objets en mouvement, et cela notamment pour ce qui concerne les mouvements lents (Hills, 1975 ; Snowden & Kavannagh, 2006).

En ce qui concerne les capacités physiques, les personnes âgées souffrent généralement de problèmes d'équilibre, d'une faiblesse musculaire et articulaire (pour revue voir Oxley et al., 2004 ; Spirduso et al., 2005). L'affaiblissement des mécanismes de contrôle de l'équilibre et le déclin des réflexes posturaux réduisent ainsi leur mobilité et rendent les personnes âgées plus sensibles aux risques de chute. A cela s'ajoutent une initiation plus lente de la marche ainsi qu'une diminution de la longueur du pas et de la vitesse de marche, qui rendent également les seniors plus vulnérables face à un obstacle lors de leurs déplacements.

Le franchissement de rues à double sens de circulation pourrait ainsi devenir plus difficile à réaliser avec l'avancée en âge puisqu'il sollicite d'importantes capacités fonctionnelles connues pour décliner chez la personne âgée. Pour tester cette hypothèse, une étude avait été menée et les résultats avaient été présentés dans le rapport 2 de la convention Ifsttar / Fondation Sécurité Routière (cf. Langevin et al., 2010). En plus de répondre à une tâche d'estimation de traversée de rue sur simulateur, tous les participants jeunes et âgés avaient également répondu à une batterie de tests et de questionnaires. Plusieurs épreuves avaient été sélectionnées et élaborées afin d'évaluer les capacités cognitives, perceptives et motrices des participants. Les résultats comportementaux observés dans la tâche de traversée de rue avaient donc été mis en relation avec les résultats obtenus aux tests évaluant les capacités fonctionnelles des participants afin d'identifier les facteurs perceptifs, cognitifs et moteurs prédictifs des collisions.

Les résultats montraient que la majoration du nombre de collisions avec l'âge était expliquée à la fois par le déclin lié à l'âge des capacités d'attention visuelle (sélective et divisée; vitesse de traitement), la baisse de l'acuité visuelle ainsi que le ralentissement de la vitesse de marche. Ce travail suggérait que la majoration des décisions amenant à des collisions chez les piétons âgés ne s'expliquait pas par leur âge en tant que tel, mais était le reflet d'un déclin perceptivo-cognitif et physique associé au vieillissement normal.

Plus précisément, nos résultats mettaient au premier plan le déclin de la vitesse de traitement et des capacités attentionnelles en tant que responsable, au moins en partie, des difficultés des piétons âgés à émettre des décisions sécurisées de traversée de rue à double sens de circulation. Ces capacités avaient été évaluées par le célèbre UFOV® test ("Useful Field of View®", Ball et al., 1988, 1993) connu également pour être très prédictif du nombre d'accidents automobiles (Ball & Owsley, 1993 ; Ball et al., 1993 ; Owsley et al., 1998) et de déclin de la mobilité (Owsley & McGwin, 2004). Pour traverser une rue à double sens de circulation, le piéton doit en effet sélectionner les informations pertinentes dans chacune des voies, les mettre à jour continuellement en fonction des changements de trafic, et anticiper l'arrivée des véhicules dans chacune des voies. Des mécanismes de contrôle attentionnel sont donc requis et doivent répondre aux contraintes de la dynamique situationnelle. Or, la littérature du vieillissement montre clairement un déclin des capacités attentionnelles avec l'âge, et notamment des difficultés d'attention sélective visuo-spatiale (Parasuraman et al., 1998) ou en situation de double tâche (Verhaegen & Cerella, 2002).

L'augmentation des collisions chez les piétons seniors pourrait ainsi résulter d'une difficulté avec l'âge à sélectionner dans un délai assez court les informations pertinentes de l'environnement et à ajuster les décisions en fonction de la nature et de la disponibilité des informations dans la scène visuelle. Dans la situation complexe du trafic à double sens de circulation, les âgés seraient particulièrement en difficulté pour prendre en compte le trafic arrivant simultanément de deux directions et pour déplacer leur foyer attentionnel d'une voie de circulation à l'autre afin d'en extraire les informations les plus pertinentes (Oxley et al., 2005).

### **3 L'entraînement des piétons âgés.**

Compte tenu de la surreprésentation des personnes âgées dans le nombre d'accidents de piétons et des difficultés qu'elles éprouvent au cours de cette activité, la mise en place de programmes d'entraînement à la traversée de rue paraît être un moyen efficace pour améliorer leur sécurité. Un programme d'entraînement (ou de ré-entraînement) se définit par un ensemble d'interventions régulières, individuelles ou en groupe, et dont l'objectif est d'améliorer les performances impliquant des modifications des comportements sous l'effet de la pratique ou d'exercices répétés. L'entraînement chez la personne vieillissante repose sur l'existence de capacités d'apprentissage résiduelles que l'on retrouve sous le terme de réserve cognitive (Stern, 2002, 2003). C'est cette réserve ou plasticité cognitive (et cérébrale pour son corrélat anatomique) qui rend possible la mise en place ou l'utilisation de stratégies compensatoires tout au long de la vie.

Alors qu'encore très peu d'études s'intéressent à la question de l'entraînement chez le piéton âgé (pour des études récentes, voir Dommes & Cavallo, 2012 ; Dommes et al., 2012), on trouve depuis plusieurs années une quantité de travaux centrés sur la problématique de l'apprentissage des règles de sécurité chez le piéton enfant (Young et Lee, 1987 ; Thomson et al., 2005 ; Schwebel & McClure, 2010) ou encore des travaux visant à pallier les effets du vieillissement afin de faciliter les activités quotidiennes des personnes âgées, dont la conduite automobile (Ball et al., 2007 ; Edwards et al., 2005 ; Roenker et al., 2003 ; Romoser & Fisher, 2009). Parmi la multitude de ces recherches, trois grandes catégories de méthodes d'entraînement peuvent être distinguées: les entraînements perceptivo-cognitifs (e.g. Ball et al., 2007 ; Roenker et al., 2003), les entraînements comportementaux (e.g. Barton et al., 2007 ; Young & Lee, 1987) et les interventions éducatives. Il est à noter que certaines études associent parfois plusieurs types d'entraînement (pour revue sur le conducteur âgé voir Korner-Bitensky et al., 2009).

Dans le domaine de la sécurité des piétons âgés, à notre connaissance, la seule étude ayant abordé la question de l'entraînement des piétons âgés a été récemment réalisée au sein de notre équipe (Dommes & Cavallo, 2012 ; Dommes et al., 2012). Un entraînement mixte associant des composantes comportementales et éducatives avait été proposé à une population âgée et très âgée, par la pratique répétée de l'activité sur notre simulateur de traversée de rue à sens unique, la sensibilisation des participants aux dangers de la traversée de rue et le réapprentissage des règles de sécurité accompagné d'un feed-back explicite sur leur marge de sécurité (prudente ou dangereuse). Les résultats montraient un effet bénéfique du programme d'entraînement sur la sécurité globale des comportements et des décisions de traversée de rue des 20 participants qui en avaient bénéficié, à court et long terme (6 mois après l'intervention). Les piétons âgés étaient globalement devenus plus prudents après l'entraînement.

En revanche, ce programme d'entraînement « mixte » n'avait pas permis aux participants de mieux prendre en compte la vitesse d'approche du véhicule dans leur prise de décision de traverser ou non la rue. L'entraînement n'avait ainsi pas permis aux participants d'atténuer l'augmentation des prises de risque à mesure que la vitesse du véhicule à l'approche augmentait, ni de réduire le nombre d'opportunités manquées à vitesse faible. On n'observait qu'une réduction légère et partielle de l'effet de la vitesse sur la prise de risque. En effet, cette méthode comportementale et éducative ne semblait pas pouvoir remédier à des difficultés qui seraient plutôt d'ordre perceptives et cognitives.

Réalisé uniquement dans des situations de trafic simple à sens unique, il s'avère tout à fait intéressant de poursuivre ces travaux en évaluant l'effet d'un entraînement comportemental en situation complexe telle qu'un trafic à double sens de circulation, situation qui est d'autant plus contraignante pour les seniors. Pour distinguer la composante comportementale d'une intervention éducative, deux méthodes seront comparées : une méthode d'entraînement du comportement sur simulateur, mais sans feedback sur la sécurité des traversées des sujets, et une méthode d'entraînement éducative seule, promulguant des messages de prévention et des règles sécuritaires mais sans pratique effective de l'activité. Enfin, il paraît tout fait pertinent de compléter notre démarche de remédiation par l'entraînement de capacités fonctionnelles altérées lors du vieillissement et identifiées dans nos travaux antérieurs comme responsables des prises de risque, à savoir les capacités d'attention visuelle.

### **3.1 Entraînement perceptivo-cognitif.**

L'entraînement perceptivo-cognitif vise à entraîner les capacités perceptives (telles que l'exploration visuelle) et/ou cognitives (telles que les capacités attentionnelles, les fonctions exécutives, ou la vitesse de traitement) sous-jacentes à l'activité cible, en l'occurrence ici la traversée de rue. Un nombre important d'exercices généralement informatisés, et parfois ludiques, est proposé au participant. Le programme d'entraînement est le plus souvent composé de plusieurs séances, avec une augmentation croissante de la difficulté des exercices. Le rejeu de certains exercices est possible, de sorte à définir un niveau d'entraînement adapté aux capacités de chaque individu entraîné. Enfin, une évaluation de l'efficacité de l'entraînement en milieu réel ou simulé sur l'activité cible à améliorer (telle que la conduite ou la traversée de rue) est réalisée avant et après intervention.

Depuis quelques années maintenant, les programmes de ré-entraînement cognitif dédiés aux seniors sont en plein essor. Ils ont comme objectif de stimuler les fonctions cognitives subissant les effets délétères liés au vieillissement. Dans ce cadre, des travaux se sont consacrés à l'entraînement des fonctions cognitives impliquées dans la conduite automobile afin de tester l'efficacité d'un tel programme sur la réduction des comportements dangereux des conducteurs âgés. Roenker et al. (2003) ont ainsi mené une étude visant à améliorer les performances de conducteurs âgés qui présentaient une réduction de la taille de leur champ visuel évalué par le test UFOV® ("useful field of view" ou "champ visuel utile", Ball et al., 1988, 1993). L'entraînement destiné à agrandir ce champ visuel utile réduit s'est fait grâce au logiciel connexe d'UFOV® Training (cf. Ball et al., 1988 ; Edwards et al., 2002). Le logiciel permet d'entraîner la vitesse de traitement d'informations visuelles et les capacités d'attention visuelle divisée et sélective. Le sujet doit identifier et localiser des cibles visuelles dans des conditions plus ou moins difficiles (temps de présentation courts, présence de

distracteurs). Le principe est que chaque participant réalise l'entraînement en commençant par les conditions les plus faciles, puis dès lors qu'il réussit à détecter 75% des cibles pour un niveau donné, alors le niveau de difficulté augmente. Ainsi, dans l'étude de Roenker et collaborateurs (2003), 48 seniors ont bénéficié de l'UFOV® Training et l'entraînement était réalisé en une seule session d'une durée d'environ 4h30. Leurs performances de conduite étaient ensuite comparées à celles d'un groupe contrôle de 25 autres conducteurs âgés n'ayant pas bénéficié de cet entraînement perceptivo-cognitif. Les résultats montrent que l'entraînement à l'UFOV® est bénéfique puisque, à l'issue de l'entraînement, les âgés entraînés, au contraire du groupe contrôle, présentent une amélioration de leurs performances au test de l'UFOV® et surtout une réduction des manœuvres dangereuses lors de la conduite sur route réelle et sur simulateur. On note une persistance de ces bénéfices à long terme (à plus de 18 mois).

Dans la lignée de ces travaux, Ball et al. (2010) ont récemment comparé l'efficacité d'un entraînement à l'UFOV® avec d'autres entraînements cognitifs (i.e. un entraînement mnésique et un entraînement des capacités de raisonnement) sur la propension des conducteurs âgés à avoir des comportements dangereux (i.e. collision avec d'autres véhicules). L'entraînement mnésique consistait à acquérir des stratégies pour mémoriser des informations verbales (sous forme de listes de mots ou des textes). L'entraînement des capacités de raisonnement consistait, quant à lui, à acquérir des stratégies pour la résolution de problèmes logiques. Les résultats de cette étude ont montré que l'entraînement à l'UFOV® et que l'entraînement du raisonnement logique étaient particulièrement efficaces pour améliorer la conduite des seniors : on observait une réduction de leurs comportements dangereux au cours de situations de conduite réelles.

### **3.2 Entraînement comportemental.**

A ces méthodes cognitives, l'entraînement du comportement directement à améliorer peut être distingué. Cette méthode consiste à entraîner de façon répétitive l'activité cible à améliorer par des mises en situation en milieu réel ou simulé (via un environnement virtuel). Plusieurs séances d'entraînement sont réalisées à intervalles de temps réguliers, et en augmentant la difficulté de l'activité au fur et à mesure de la réussite de l'individu, parfois associé à des retours (ou feedback) sur les performances observées. Une évaluation finale de l'efficacité de l'entraînement en milieu réel ou simulé est réalisée pour tester l'efficacité du programme d'entraînement avant et après intervention.

L'essor des dispositifs utilisant la réalité virtuelle ces dernières années a fait émerger une multitude de travaux permettant de placer les sujets en situation interactive, immersive ou non, sans danger et reproduisant au plus proche des conditions réelles. Les données de la littérature dans le domaine de la sécurité routière montrent que des travaux ont été réalisés essentiellement chez le piéton enfant ou bien encore chez le conducteur âgé.

S'adressant aux comportements des conducteurs âgés, Romoser & Fisher (2009) ont ainsi réalisé assez récemment une étude visant à tester l'efficacité d'un entraînement comportemental (par pratique répétée sur simulateur de conduite) chez des conducteurs âgés de plus de 70 ans sur l'exploration visuelle et la détection de véhicules à des intersections. L'étude comprenait 6 séances. La première des séances consistait à évaluer les capacités physiques et cognitives afin d'écartier toute

suspicion de déclin liée au vieillissement pathologique. La seconde séance permettait aux participants de se familiariser avec le simulateur et la tâche de conduite. Lors de la troisième séance, les participants réalisaient la tâche de conduite dans le simulateur. Puis de retour à domicile, ils faisaient une séance de conduite dans leur milieu réel. Ces séances permettaient de recueillir le niveau de performances des participants en situation de conduite avant l'entraînement (en situation de conduite simulée et réelle) afin de pouvoir établir des comparaisons avec le niveau de performances en conduite atteint après l'entraînement. Puis, l'entraînement était réalisé sur le simulateur de conduite, et, au préalable, les participants avaient eu un retour de la part de l'expérimentateur sur leurs comportements observés lors des séances précédentes afin de leur signifier leurs comportements dangereux ou prudents. L'entraînement durait approximativement une heure dans le simulateur au cours duquel les participants devaient apprendre à détecter de potentiels dangers avant de tourner à une intersection et un feed-back leur était fourni après chaque essai. Enfin, une évaluation post-entraînement était réalisée, six à huit semaines plus tard, sur simulateur et en situation réelle. Les performances du groupe de participants entraînés étaient comparées aux performances d'un groupe contrôle (sans intervention) et un groupe ayant reçu un entraînement éducatif sensibilisant les participants aux bonnes pratiques à tenir en conduite (sous forme de texte et diaporama). Les résultats ont permis de montrer que le groupe de conducteurs âgés entraînés sur simulateur avait acquis une meilleure exploration et détection des véhicules aux intersections à la suite de l'entraînement, et aussi en comparaison avec le groupe contrôle et celui ayant reçu un entraînement éducatif. Ces résultats indiquent qu'un tel entraînement par pratique répétée favorise l'évitement de collisions par une meilleure détection visuelle des obstacles, même chez des seniors de plus de 70 ans.

### 3.3 Entraînement éducatif.

Si l'apprentissage éducatif ou conceptuel, basé sur l'acquisition de règles de sécurité et de messages de prévention, prévaut dans nombre d'études chez les piétons enfants (e.g. Cross et al., 2000), l'efficacité de ces interventions a été remise en cause dans des travaux qui mesuraient précisément les comportements des enfants pour traverser la rue en situation réelle (cf. Wells, Downing & Bennett, 1979 cités par Young & Lee, 1987). D'après Young et Lee (1987), l'éducation, l'apprentissage et l'entraînement de l'activité de traversée de rue sécurisée doit inévitablement comprendre des composantes comportementales, par la pratique et l'action effective de l'activité (« *on n'apprend pas à conduire en restant assis sur une chaise* »).

Chez les conducteurs âgés, certaines études indiquent que les interventions éducatives permettent une amélioration de la sécurité sur la route (Owsley, Stalvey, & Phillips, 2003), mais d'autres n'indiquent aucun effet sur la réduction des collisions mortelles (Bédard, Isherwood, Moore, Gibbons, & Lindstrom, 2004 ; Owsley, McGwin, Phillips, McNeal, & Stalvey, 2004). Bien que ces stratégies de prévention permettent aux adultes âgés d'acquérir des connaissances sur le trafic à un niveau conceptuel, de nombreuses études rapportent une efficacité limitée de ces meilleures connaissances à se transférer sur le comportement de conduite en tant que tel.

## **4 Etude préalable à la mise en place des entraînements: comparaison des traversées entre participants jeunes et âgés en situation interactive.**

Lors de la première étape du projet SEPIA (cf. Langevin et al., 2010), nous avons testé expérimentalement les effets conjoints et respectifs de l'âge du piéton, de la vitesse d'approche des véhicules et de la complexité du trafic sur les comportements et décisions de traversée de rue. Réalisé sur le simulateur du LEPSIS à Paris, une tâche d'estimation de traversée avait été proposée, et le sujet répondait à l'aide d'un bouton réponse pour déclarer à chaque essai présenté s'il acceptait ou non de franchir le trafic virtuel. L'objectif du présent travail est de compléter cette première étape en vérifiant les résultats obtenus auparavant, mais en utilisant notre nouveau dispositif de traversée de rue à Versailles-Satory qui permet au piéton d'effectuer un déplacement réel sur plus de 6 mètres et assure une simulation interactive.

Par ailleurs, et en vue de sélectionner des participants "à risque" pour les futurs programmes d'entraînement (c'est-à-dire susceptibles de réaliser des traversées de rues non sécuritaires et de présenter des collisions), nous avons sélectionné les participants âgés de nos dernières expérimentations avec le critère commun de tous présenter une réduction du champ visuel utile. En effet, plusieurs études ont montré que le pourcentage de réduction du champ visuel utile est prédictif de risques tels que le nombre d'accidents automobiles (Ball & Owsley, 1993 ; Ball et al., 1993 ; Owsley et al., 1998) ou encore des difficultés de mobilité orientée, au niveau de la marche ou de l'équilibre (Owsley & McGwin, 2004). De plus, la taille du champ visuel utile évaluée par le test UFOV® (Ball et al., 1988, 1993) était également prédictive du nombre de décisions dangereuses de traversée de rue en situation simple de sens unique (Dommes & Cavallo, 2011) ou de double sens (Langevin et al. 2011). Ainsi, et similairement aux études antérieures entraînant les conducteurs âgés (cf. Ball et al., 2010 ; Roenker et al., 2003), nous n'avons retenu pour nos expérimentations sur l'entraînement que les participants présentant une réduction de leur champ visuel utile d'au moins 30%.

### **4.1 Méthodologie.**

#### **4.1.1 Participants.**

Vingt-et-un participants jeunes et 79 participants âgés ont pris part à l'étude. Les 79 participants âgés répondaient tous aux critères de sélection suivants :

- être âgé de 60 ans ou plus ;
- être autonomes, vivre à domicile et se déplacer quotidiennement sans cannes ni béquilles ;
- avoir un score supérieur à 24/30 au MMSE (Mini Mental State Examination, Folstein et al., 1975), attestant d'une intégrité cognitive et écartant tout risque d'un vieillissement pathologique ;
- avoir une vision normale ou corrigée-à-la-normale ;

- présenter une réduction du champ visuel utile d'au moins 30 % et évaluée par l'UFOV® test.

Les 21 participants jeunes avaient tous entre 20 et 30 ans et présentaient une vision normale ou corrigée-à-la-normale (6/10). Aucun ne souffrait d'une réduction significative de son champ visuel évalué par l'UFOV® test.

#### 4.1.2 Matériel.

##### 4.1.2.1 *Simulateur de traversée de rue.*

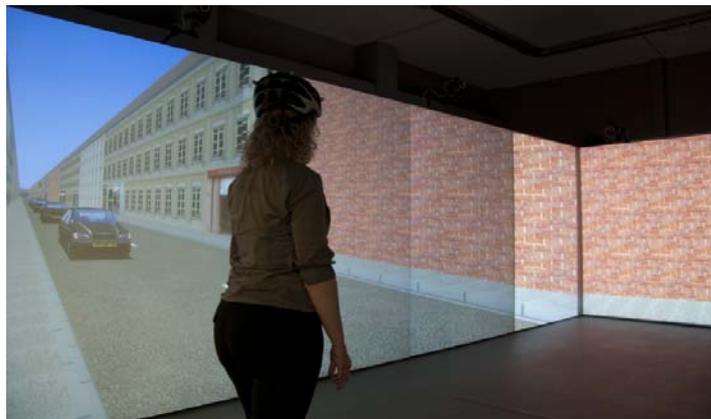
L'environnement de simulation est constitué de systèmes de génération et de projection d'images, et d'un système d'enregistrement des traversées de rue. Les images sont générées par dix PCs visuels (environnement LINUX / bibliothèque graphique OpenGL Performer avec des cartes GeForce 8800 GT), et chaque PC gère un projecteur. Ces PCs sont interconnectés avec un PC-maître pour la gestion des scénarii de trafic (environnement Windows). Ce dernier PC permet également de générer un rendu sonore réaliste et d'enregistrer les comportements de traversée des participants.

Les scènes visuelles sont rétro-projetées sur dix écrans de dimensions 244 cm (hauteur) x 183 cm (largeur) positionnés en forme de U (cf. Figure 1 ci-dessous). Des caméras VICON® sont également intégrées au dispositif. Une caméra est placée au-dessus de chacun des 10 écrans et orientée de sorte à couvrir tout l'espace de déplacement à l'intérieur du simulateur. Ces caméras détectent un ensemble de capteurs (fixés sur un casque porté par chaque participant, cf. Figure 2 ci-après), ce qui permettra, d'une part, d'asservir l'image virtuelle au déplacement du piéton, et, d'autre part, d'enregistrer la position du piéton lors de sa traversée, ainsi que ses mouvements de tête. Le logiciel utilisé (Archisim) prend en compte la taille des sujets afin de placer l'horizon visuel à la hauteur du regard, augmentant encore le réalisme de la scène virtuelle. Les scènes visuelles représentent une voie à double sens de circulation, large de 5,70 m de trottoir à trottoir.

**Figure 1 : Configuration en U des écrans du simulateur de traversée de rue et caméras VICON® associées permettant la capture du mouvement du piéton.**



**Figure 2 : Rendu visuel du simulateur par système de rétroprojection.**



Le participant répond à une tâche de traversée avec déplacement réel sur une distance totale de plus de 6 m. Au départ de la traversée, le participant est placé en attente au bord d'un trottoir virtuel (et indiqué dans le dispositif par un marquage au sol). Le trafic est composé de motos et de véhicules légers dont la vitesse d'approche varie suivant les besoins de l'expérimentation. Sur la voie proche, les véhicules se déplacent de la gauche vers la droite en référence à la position du piéton au bord du trottoir. Sur la voie éloignée, les véhicules se déplacent de la droite vers la gauche. Le participant a pour tâche de juger du moment opportun pour traverser la file de véhicules. Lorsqu'il pense en avoir le temps, il traverse alors réellement la route virtuelle et se rend sur le trottoir de destination situé en face de lui. Lorsqu'il ne pense pas avoir le temps, il reste en position d'attente sur le bord du trottoir de départ et attend le prochain essai.

#### ***4.1.2.2 Mini Mental State Examination - MMSE (Folstein & McHugh, 1975).***

Le MMSE mesure l'efficacité intellectuelle globale et représente un bon indicateur des déficits liés à un vieillissement pathologique. Ce test consiste en une série de 30 items répartis en six catégories: i) évaluation des capacités d'orientation spatiale et temporelle, ii) évaluation des capacités d'apprentissage et transcription d'informations, iii) évaluation des capacités attentionnelles et de calcul, iv) évaluation des capacités mnésiques, v) évaluation des capacités langagières et vi) évaluation des praxies constructives (réalisation d'une séquence ordonnée de gestes pour une action précise). Un score total inférieur à 24/30 indique la présence d'un déficit cognitif lié à un vieillissement pathologique. Tous les participants âgés de l'étude présentent un score supérieur à 26.

#### ***4.1.2.3 Questionnaire d'informations générales.***

Ce questionnaire sur les habitudes de transport, activités et état de santé général est complété par chaque participant. Notre étude portant sur les personnes autonomes et sans troubles de la marche, le questionnaire comporte également des items relatifs à l'état de santé général. Les

réponses à ce questionnaire nous ont permises d'exclure les participants ayant des maladies neurologiques ou troubles déclarés de la motricité.

#### *4.1.2.4 L'acuité visuelle.*

Un examen ophtalmique est réalisé avec l'Ergovision® (Essilor). C'est un appareil de dépistage standardisé grâce auquel nous mesurons l'acuité visuelle monoculaire et binoculaire, pour la vision de près et de loin. Tous les participants de l'étude, jeunes et âgés, présentent une acuité visuelle normale ou corrigée à la normale (6/10).

#### *4.1.2.5 UFOV® Test (Ball et al., 1988, 1993).*

L'UFOV® teste le champ visuel utile, et ainsi donc, la vitesse de traitement d'informations visuelles ainsi que les capacités d'attention visuelle divisée et sélective. Il mesure plus précisément le seuil (en ms) pour l'identification et la localisation de cibles visuelles dans des conditions plus ou moins complexes. Ce test est composé de trois parties :

- La partie 1 mesure le champ visuel central et la vitesse de traitement. Au centre de l'écran apparaît le contour d'un carré blanc sur fond gris. Dans le carré blanc figure une cible, une voiture ou un camion. La tâche du sujet est d'identifier la cible qui était dans le carré (voiture ou camion ?). Le temps de présentation de la cible est limité. La procédure est autoadaptative de sorte que le sujet est exposé à des temps de présentation de plus en plus courts au fur et à mesure qu'il identifie correctement la cible.

- La partie 2 mesure le champ visuel périphérique et les capacités d'attention divisée. Au centre de l'écran apparaît une cible (voiture ou camion). En périphérie apparaît également une voiture. Elle peut apparaître à 8 positions différentes (selon les rayons d'un cercle). Le sujet doit simultanément répondre à deux tâches : i) identifier le véhicule au centre de l'écran (comme dans la partie 1) et ii) localiser la position de la voiture en périphérie. Le temps d'exposition est de plus en plus court, et la procédure est toujours auto-adaptative. Cette partie permet d'obtenir le seuil minimal pour lequel le sujet réussit la double tâche, et de déceler un éventuel déficit d'attention divisée.

- La partie 3 mesure le champ visuel périphérique et les capacités d'attention sélective. Sur le même principe que la partie 2, le sujet voit au centre de l'écran une cible (voiture ou camion) et en périphérie une voiture placée à des positions différentes d'un essai à l'autre. Dans cette dernière partie, la voiture en périphérie apparaît sur un fond encombré de distracteurs (des triangles). Le sujet doit encore ici répondre simultanément à deux tâches : i) identifier la cible au centre, et ii) localiser la position de la voiture en périphérie parmi les distracteurs. Là encore le temps d'exposition est de plus en plus court, et la procédure est toujours auto-adaptative.

A partir des performances du sujet à ces trois parties de l'UFOV® test, il est possible de déterminer la taille du champ visuel utile, et surtout de savoir dans quelle mesure il est ou non réduit. Les participants âgés de l'étude présentaient tous une réduction du champ visuel utile supérieure à 30%. Ils avaient en moyenne un champ visuel utile réduit de 51,6 % (ET = 16,8).

#### 4.1.2.6 *Mesure de la vitesse de marche.*

Dans le simulateur, les deux marquages au sol tracés pour représenter les bords des trottoirs de la chaussée de 5,70 m de large sont utilisés pour mesurer la vitesse de marche. Placé au bord du premier marquage au sol symbolisant le trottoir de départ, on demande au sujet de rejoindre le marquage au sol d'en face symbolisant le bord du trottoir d'arrivée, pour une distance totale de 5,70 m. Il effectue cette tâche 3 fois de suite à allure normale, et 3 fois en marchant le plus rapidement possible. La moyenne de la vitesse de marche aux 6 essais est calculée pour chaque participant. Conformément à la littérature, les participants âgés ( $M=1,2$  m/s) marchaient significativement plus lentement que les participants jeunes ( $M=1,6$  m/s ;  $p<.01$ ).

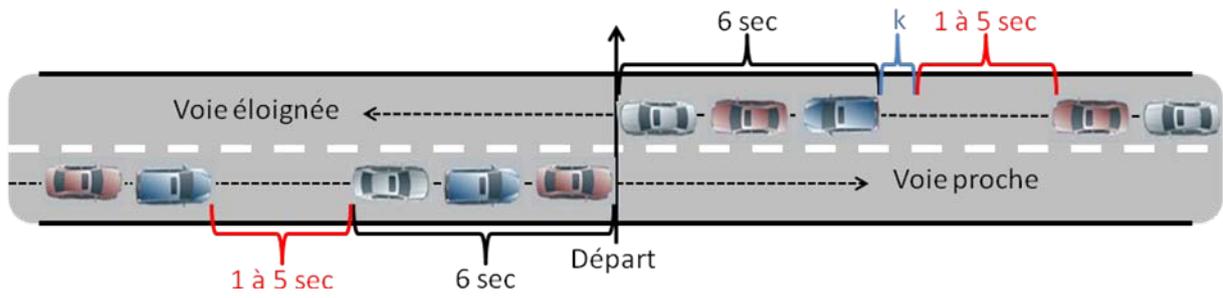
#### 4.1.3 **Procédure.**

Les participants ont tous réalisé individuellement la tâche de traversée de rue sur simulateur. La tâche de traversée de rue comprenait 36 essais, pour une durée totale approximative de 20 minutes.

Debout face à la scène visuelle et positionné au bord du trottoir (marqué au sol et en continuité de la rue virtuelle projetée à l'écran), le sujet est équipé du casque sur lequel sont positionnés les capteurs de mouvement. A chaque essai, il voit la scène visuelle proposant des files de véhicules approchant de lui dans les deux sens de circulation. La tâche consiste à franchir le trafic approchant lorsque le participant le juge possible : s'il estime en avoir le temps, il doit traverser la chaussée entre les voitures approchant, et cela d'une seule traite et sans courir. S'il pense ne pas avoir le temps, il attend le prochain essai.

Plusieurs situations de trafic à double sens de circulation ont été élaborées (cf. Figure 3 ci-après). Sur la voie proche, nous avons fait varier l'intervalle temporel entre les véhicules 3 et 4 de la file (intervalle variant de 1 à 5 s, par pas de 1 s). Sur la voie éloignée, nous avons également fait varier l'intervalle temporel entre la ligne de traversée et le véhicule 4 (intervalle variant de 1 à 5 s). Nous avons ajouté à cet intervalle manipulé une constante de temps qui correspond au temps que met le piéton pour traverser la voie proche. Cette constante était intégrée au scénario pour chaque individu en fonction de sa vitesse de marche préalablement calculée. Les deux intervalles de temps manipulés sur chacune des deux voies étaient donc proposés en même temps. Les autres véhicules de la file (précédant ou suivant les véhicules cibles) étaient tous séparés par des intervalles de 1 s, empêchant la traversée. Par ailleurs, et dans tous les cas, les participants disposaient de 6 s d'exploration de la scène visuelle avant de disposer d'un premier intervalle de temps permettant ou non la traversée. La vitesse d'approche des véhicules variait également (40 ou 60 km/h). Le nombre d'essais à 40 et 60 km/h était équivalent (soit 18 essais par vitesse). Enfin, pour diversifier les conditions de trafic à double sens, nous avons fait varier le moment d'arrivée des mobiles à la hauteur du piéton, qui arrivaient soit dans la voie proche d'abord, soit dans la voie éloignée d'abord. De plus, quelques essais de trafic à sens unique avaient également été inclus pour augmenter la variabilité des conditions de trafic. Les 36 essais étaient présentés dans un ordre aléatoire et répartis dans deux blocs d'essais entre lesquels nous offrons une pause au sujet.

Figure 3 : Illustration des conditions de trafic à double sens de circulation.



En plus de la tâche de traversée de rue, les participants étaient soumis aux différentes épreuves de contrôle exposées ci-dessus (UFOV® Test, MMSE, acuité visuelle et vitesse de marche).

## 4.2 Résultats.

### 4.2.1 Pourcentage moyen de traversées acceptées.

Une Analyse de la Variance a été réalisée sur le pourcentage moyen de traversées acceptées par participant avec le facteur Age (participants jeunes *versus* participants âgés) et le facteur Vitesse (véhicules approchant à 40 km/h *versus* 60 km/h) comme variables indépendantes.

L'analyse révèle que les participants âgés acceptent aussi souvent les essais de traversée de rue proposés (M=53 %, ET=20) que les participants jeunes (M=54 %, ET=21). L'effet du facteur Age est ainsi non significatif ( $F(1,98)=0.1$ ,  $p=.77$ ).

Le facteur Vitesse est en revanche significatif ( $F(1,98)=96.75$ ,  $p<.01$ ), avec plus d'essais acceptés à vitesse élevée (M=61 %, ET=18) qu'à vitesse lente (M=45 %, ET=19).

L'interaction Age x Vitesse n'est pas significative ( $F(1,98)=0.8$ ,  $p=.38$ ).

### 4.2.2 Pourcentage moyen de collisions.

Si les participants âgés acceptent autant de traverser la rue expérimentale, prennent-ils autant de risque que les participants jeunes ?

Une Analyse de la Variance a été réalisée sur le pourcentage moyen de collisions par participant avec le facteur Age (participants jeunes *versus* participants âgés), le facteur Vitesse (véhicules approchant à 40 km/h *versus* 60 km/h) et le facteur Voie (voie proche du piéton *versus* voie la plus éloignée du piéton) comme variables indépendantes.

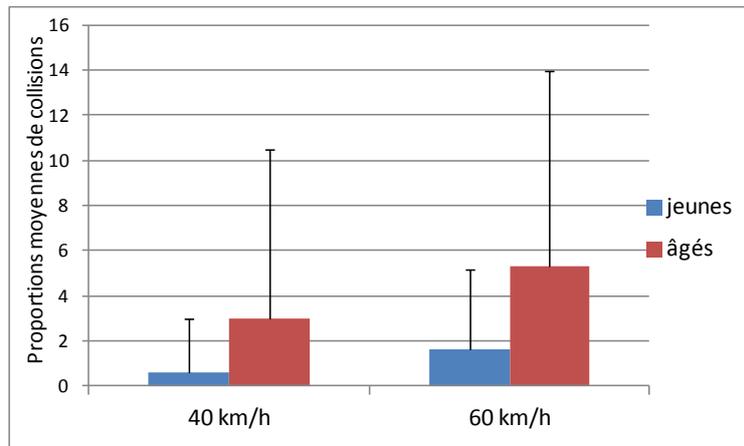
L'analyse révèle un effet significatif du facteur Age ( $F(1,98)=8.36$ ,  $p<.01$ ) : les participants âgés prennent plus de décisions qui mènent à des collisions avec les véhicules à l'approche (M=4,1 %, ET=8,2) que les participants jeunes (M=1,1 %, ET=3).

L'effet du facteur Vitesse est également significatif ( $F(1,98)=96.75$ ,  $p<.01$ ), avec des collisions plus nombreuses à vitesse élevée (M=4,5 %, ET=8) qu'à vitesse lente (M=2,5 %, ET=6,8).

Les résultats montrent par ailleurs un effet significatif de la Voie ( $F(1,98)=8.36$ ,  $p<.01$ ) : les collisions sont plus nombreuses en voie éloignée (M=5,92 %, ET=9.5) qu'en voie proche (M=1,09 %, ET=3,53).

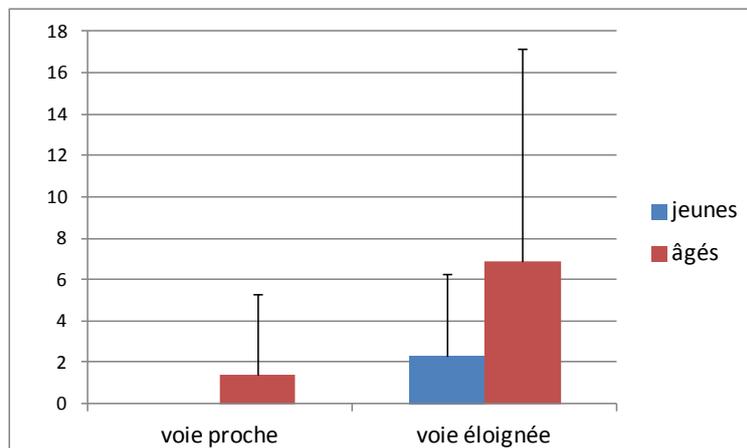
L'interaction Age x Vitesse n'est pas significative ( $F(1,98)=1$ ,  $p=.35$ ). Néanmoins, et en concordance avec les travaux antérieurs, les analyses post-hoc révèlent que seuls les participants âgés ont significativement plus de collisions à vitesse élevée qu'à vitesse faible ( $p<.05$ , voir Figure 4 ci-après). Au contraire des participants âgés, l'effet de la vitesse n'est pas significatif dans le groupe des participants jeunes.

**Figure 4 : Pourcentages moyens de collisions en fonction de la vitesse d'approche des véhicules et de l'âge des participants.**



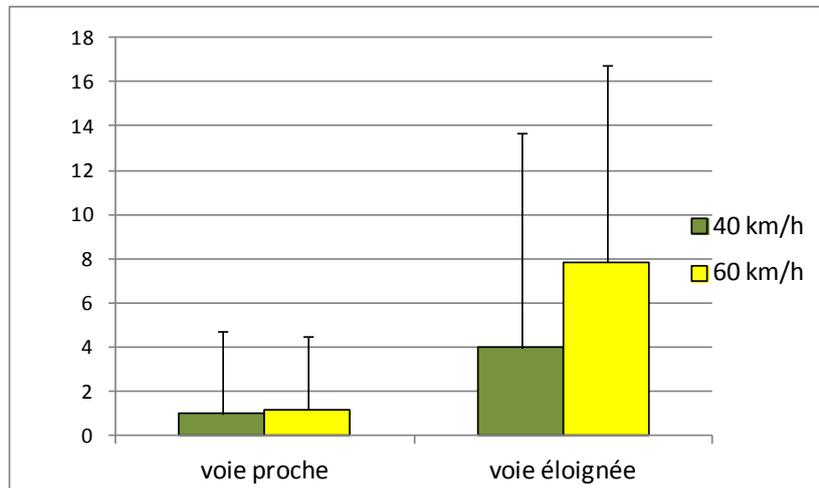
L'interaction Age x Voie n'est pas significative ( $F(1,98)=2.82$ ,  $p=.096$ ). Néanmoins, et en concordance avec les travaux antérieurs, les analyses post-hoc montrent que les participants âgés ont significativement plus de collisions dans la voie éloignée que dans la voie proche ( $p<.05$ , voir Figure 5 ci-dessous). Au contraire des participants âgés, l'effet de la voie n'est pas significatif dans le groupe des participants jeunes.

**Figure 5 : Pourcentages moyens de collisions en fonction de l'âge des participants et de la voie où circulent les véhicules à l'approche.**



L'interaction Vitesse x Voie est significative ( $F(1,98)=5.85, p<.05$ ). Les analyses post-hoc montrent que l'effet vitesse n'est significatif que dans la voie éloignée ( $p<.05$ , cf. Figure 6 ci-dessous).

**Figure 6 : Pourcentages moyens de collisions en fonction de la voie où approchent les véhicules et de la vitesse des véhicules à l'approche.**



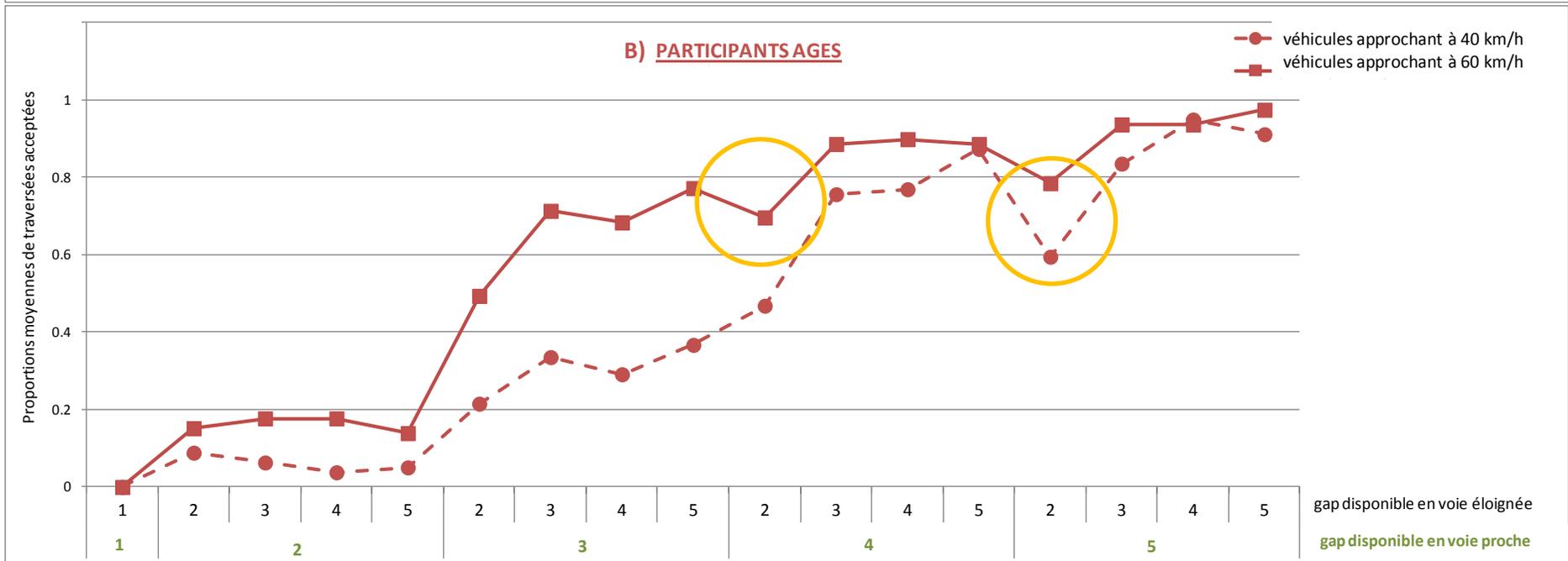
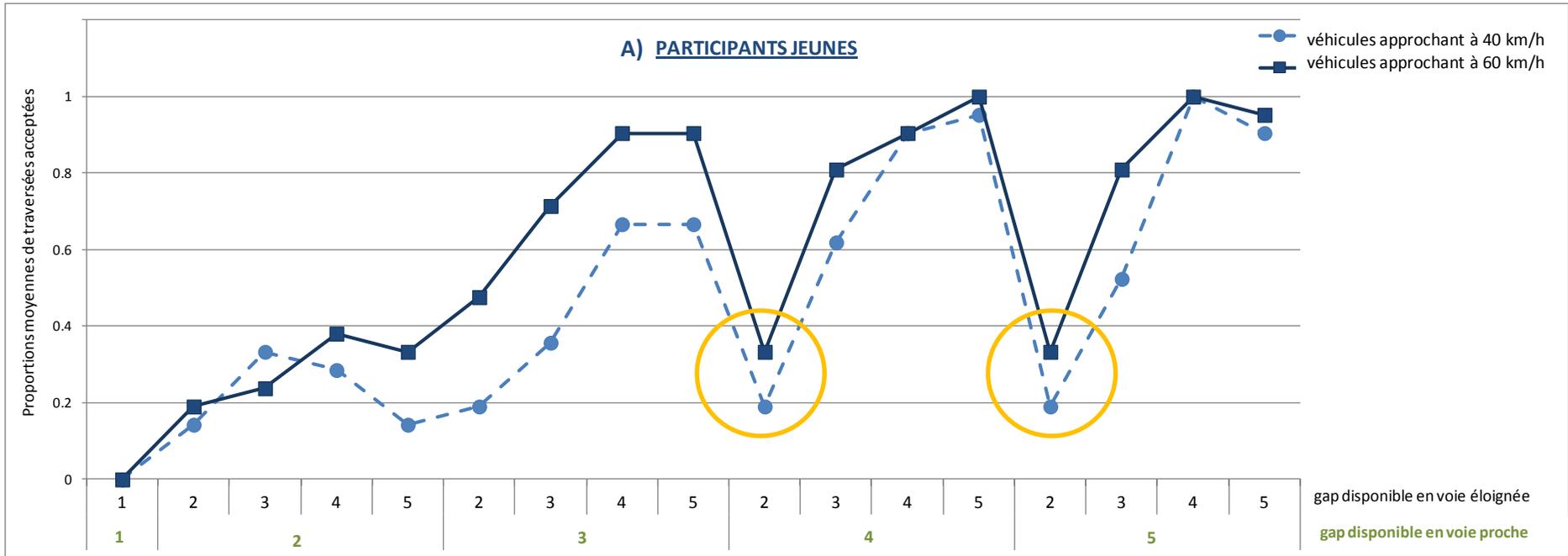
La triple interaction Age x Vitesse x Voie n'est pas significative ( $F(1,98)=0.7, <.41$ ).

#### 4.2.3 Examen des données en fonction des intervalles de temps disponibles entre les véhicules à l'approche.

Si les participants âgés prennent plus de risque que les participants jeunes, notamment lorsque les véhicules à l'approche roulent à vitesse élevée ou lorsque les véhicules approchent de la voie éloignée, il est intéressant de distinguer encore plus précisément les situations dans lesquelles ils émettent des décisions dangereuses.

Pour cela, nous avons tracé les choix des participants jeunes et âgés (% de traversées acceptées) en fonction des intervalles de temps disponibles entre les véhicules à l'approche (voir Figure 7 ci-après).

Figure 7 : POURCENTAGES MOYENS DE TRAVERSEES ACCEPTÉES EN FONCTION DES GAPS DISPONIBLES DANS CHAQUE VOIE.



A la lecture des Figure 7A et B, on retrouve tout d'abord l'effet de la vitesse d'approche des véhicules révélé dans les analyses précédentes. Cet effet de la vitesse est particulièrement marqué chez les participants âgés (Figure 7.B.), où on peut voir un net écart entre la courbe illustrant les choix de traversée de rue lorsque les véhicules approchent à 40 km/h (courbe rouge pointillée de la Figure 7.B.) et celle illustrant les choix de traversée de rue lorsque les véhicules approchent à 60 km/h (courbe rouge pleine de la Figure 7.B.). Cet effet de la vitesse est aussi présent chez les piétons jeunes, mais de manière moins marquée (les deux courbes bleues de la Figure 7.A. tracées en fonction de la vitesse sont plus resserrées). Les piétons, et particulièrement les piétons âgés, acceptent ainsi plus souvent de traverser la rue dans les situations où les véhicules approchent rapidement. S'ils acceptent plus souvent de traverser à vitesse élevée, c'est surtout parce que les distances qui les séparent des véhicules approchant le sont également. Ainsi, pour un gap identique (par exemple 3 s), la distance du véhicule à l'approche est plus grande à vitesse élevée (50 m pour notre exemple de 3 secondes) qu'à vitesse lente (35 m pour notre exemple de 3 s). Ces choix traduisent en réalité des difficultés à prendre en compte la vitesse d'approche du véhicule, avec des critères de choix influencés par la distance du véhicule à l'approche chez les piétons âgés notamment.

A la lecture des Figure 7A et B, on peut surtout observer que les participants jeunes et âgés n'émettent pas les mêmes choix de traversée de rue selon le gap disponible dans chacune des voies de circulation.

Les participants jeunes prennent en compte les deux voies de circulation pour décider de traverser la rue. Ainsi, lorsque le gap disponible en voie proche est long (par exemple 5 secondes) mais court en voie éloignée (par exemple 2 s), les participants jeunes refusent majoritairement de traverser l'essai proposé (voir les entourés en cercle orange de cette situation dans la Figure 7.A.).

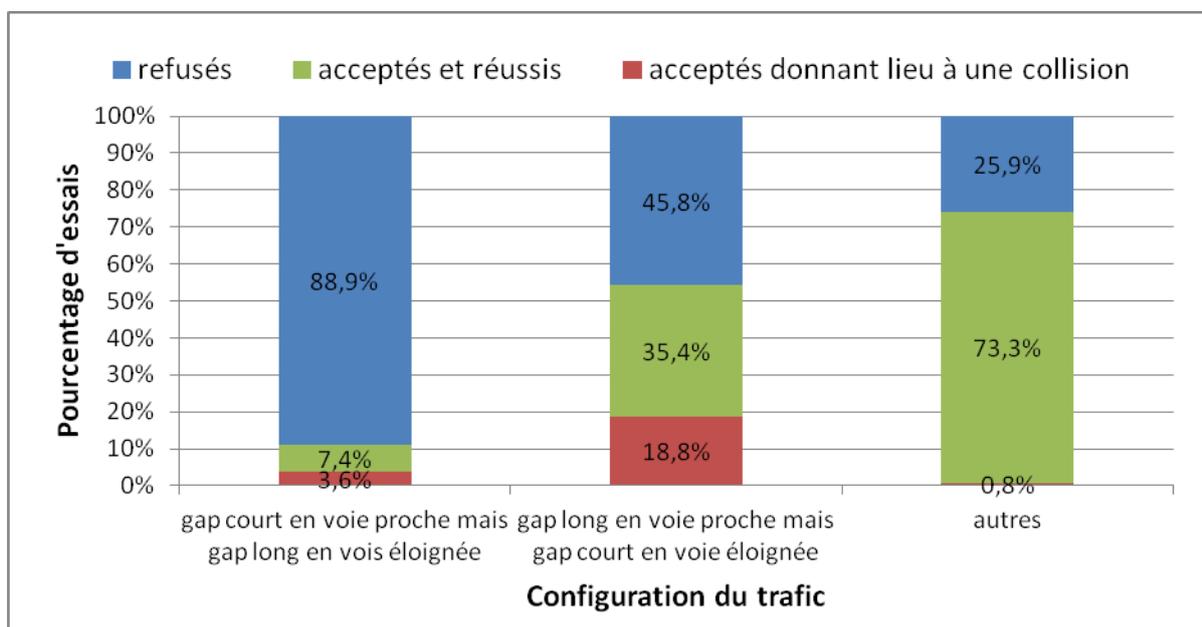
Au contraire des participants plus jeunes, les participants âgés émettent des choix de traversée de rue principalement basés sur le gap disponible en voie proche, et cela sans prendre en compte la voie éloignée. On voit sur leurs courbes de choix (cf. Figure 7.B.) que la proportion de traversées de rue acceptées augmente à mesure que le gap disponible en voie proche augmente, et cela indépendamment du gap disponible en voie éloignée. Ainsi, lorsque le gap disponible en voie proche est long (par exemple 5 s) mais court en voie éloignée (par exemple 2 s), les participants âgés acceptent majoritairement de traverser l'essai proposé (voir les entourés en cercle orange de cette situation dans la Figure 7.B.).

Les critères de choix sont donc différents d'un groupe d'âge à l'autre : les choix sont globaux pour les participants jeunes qui considèrent les deux voies de circulation, et restreints pour les participants âgés qui ne considèrent que la voie proche et négligent la voie éloignée. Ces choix amènent donc les seniors à rencontrer des situations périlleuses où une collision avec le véhicule à l'approche peut avoir lieu dans la voie éloignée si le gap disponible y est trop court (par exemple 2 s). C'est ainsi que nous retrouvons les résultats des analyses statistiques précédentes montrant que les participants âgés, au contraire des plus jeunes, ont significativement plus de collisions dans la voie éloignée que dans la voie proche.

### 4.3 Conclusions des principales difficultés rencontrées par les participants âgés.

A la vue des résultats qui viennent d'être exposés, nous avons identifié le facteur vitesse comme contribuant à prendre des décisions risquées, mais également la configuration de trafic qui pose le plus de difficultés aux participants âgés ; i.e., les situations où l'intervalle de temps disponible entre les véhicules à l'approche est suffisant en voie proche mais trop court en voie éloignée. La Figure 8 ci-dessous illustre cette dernière difficulté.

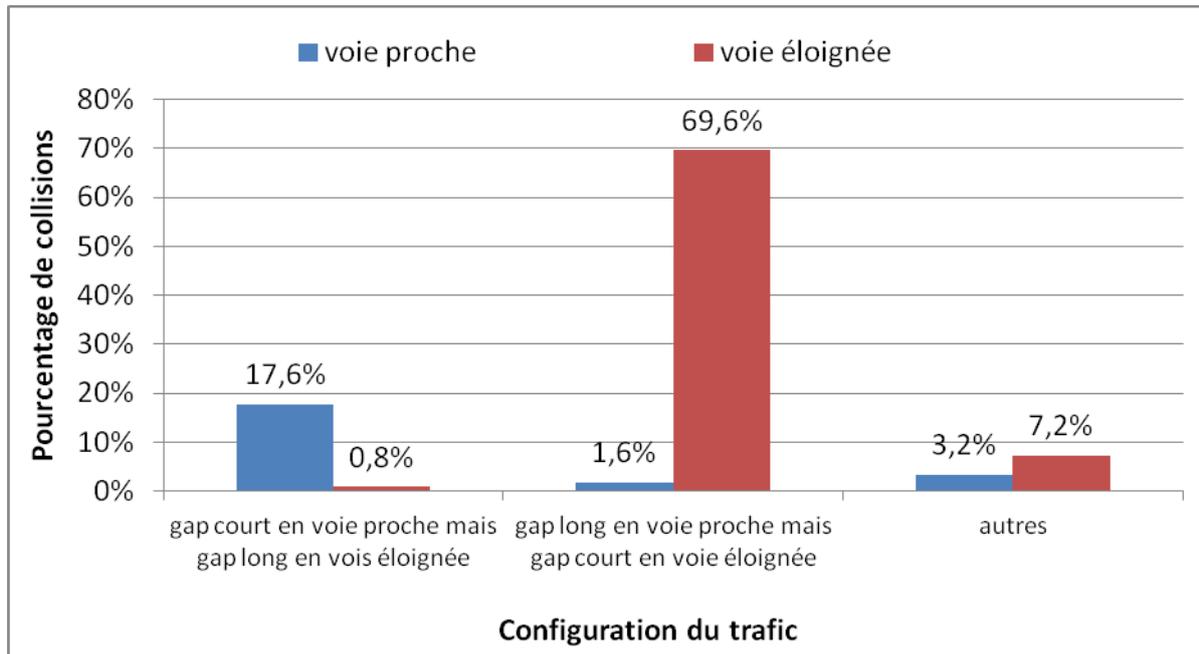
Figure 8 : Répartition des essais refusés et acceptés en fonction de la configuration du trafic chez les participants âgés.



Lorsque le gap proposé en voie proche est trop court, il bien perçu comme tel par les participants âgés (voir la colonne de gauche de la Figure 8 ci-dessus) : seuls 11 % des essais sont acceptés dans cette configuration de trafic. A l'inverse, lorsque le gap en voie éloignée est trop court (le gap en voie proche étant alors suffisant), les participants âgés traversent dans 52,4 % des cas (voir la colonne centrale de la Figure 8 ci-dessus), alors qu'ils ne devraient pas. Les participants âgés n'ont donc pas perçu que le gap en voie éloignée était trop court, ils se sont concentrés sur la voie proche où le gap était suffisamment long pour arriver au centre de la rue.

Corollairement, la majorité des collisions a lieu sur la voie éloignée et dans cette situation précisément : 69,6 % des collisions se sont produites au cours des ces situations où le gap en voie éloignée était trop court (cf. Figure 9 ci-après).

Figure 9 : Répartition des collisions selon la voie et la configuration du trafic chez les participants âgés.



La Figure 9 ci-dessus renseigne plus précisément la répartition des collisions selon la configuration du trafic et la voie sur laquelle se sont produites les collisions. Etayant les résultats de la littérature (Fontaine & Gourlet, 1997 ; Oxley et al., 1997), on observe sans équivoque une large représentation des collisions sur la voie éloignée et ce, lorsque le gap disponible pour traverser y est trop court.

La configuration de trafic dans laquelle le gap est suffisant en voie proche mais trop court en voie éloignée apparaît donc particulièrement préjudiciable aux participants âgés. Cette situation met en difficulté, voire en danger, un grand nombre d'entre eux. En effet, 60,7 % des participants âgés ont accepté au moins un essai dans cette configuration de trafic pourtant dangereuse.

Ce résultat confirme les difficultés révélées dans les études d'observation en milieu naturel (Fontaine & Gourlet, 1997 ; Oxley et al., 1997) selon lesquelles le vieillissement affecte spécifiquement la capacité à prendre en compte le trafic en voie éloignée dans la décision de traverser la rue. En conséquence, et pour la suite de nos travaux de recherche, nous nous attacherons essentiellement à étudier les situations où la configuration du trafic présente un gap suffisant en voie proche mais trop court en voie éloignée. Notre intérêt sera donc de déterminer si les entraînements proposés sont susceptibles d'améliorer la sécurité du comportement de traversée de rue, en particulier dans cette configuration de trafic particulièrement dangereuse.

## 5 Entraînements à la traversée de rue.

S'inscrivant dans la problématique de l'entraînement, la seconde phase du projet avait pour objectif la mise en place et l'évaluation de l'efficacité de plusieurs méthodes d'entraînement pour améliorer la sécurité des décisions et comportements des piétons âgés. Trois méthodes ont ainsi été élaborées et testées : 1) entraînement perceptivo-cognitif ; 2) entraînement comportemental ; et 3) entraînement éducatif des piétons âgés.

L'entraînement perceptivo-cognitif a été réalisé dans le but de recouvrer et d'améliorer les fonctionnalités perceptives et cognitives altérées avec l'âge et identifiées comme responsables de l'occurrence de comportements insécuritaires de traversée de rue chez les seniors. En effet, les résultats de nos premiers travaux réalisés dans le cadre de ce projet ont montré que les capacités d'attention visuelle (sélective et divisée, et vitesse de traitement) réduites avec l'âge étaient l'un des facteurs les plus prédictifs du nombre de collisions (Langevin et al., 2010). Ces capacités d'attention visuelles étaient évaluées par l'intermédiaire du célèbre test UFOV® (cf. section "4.1.2.5" page 18 du présent rapport pour plus de détails). Rappelons que des études portant sur le ré-entraînement des seniors à la conduite automobile (e.g. Roenker et al, 2003) ont montré une amélioration des capacités de conduite (moins de manœuvres dangereuses notamment) chez des seniors ayant participé à un entraînement perceptivo-cognitif à l'UFOV® test. Dans notre problématique de l'amélioration de la sécurité des piétons âgés, il est ainsi tout à fait intéressant de tester l'efficacité d'un entraînement perceptivo-cognitif de type UFOV® sur les comportements de traversée de rue.

L'entraînement comportemental des piétons âgés a été réalisé sur le simulateur de traversée de rue de l'Ifsttar à Versailles-Satory. Le dispositif est configuré pour simuler un trafic à double sens de circulation et permettre un déplacement réel du piéton sur une distance de plus de 6 mètres. La méthode comportementale consistait en un ré-apprentissage de la tâche de traversée par répétition de l'action. Les participants effectuaient des essais de traversée de rue à de multiples reprises, sans feedback explicite sur leur comportement afin de ne pas introduire de composante « conceptuelle » dans le ré-apprentissage. Dans cette méthode, c'est la répétition de l'action qui est censée permettre au piéton de s'améliorer, sans que rien ne lui soit dit sur la qualité de ses décisions ou comportements. En revanche, le piéton dispose d'un feed-back implicite, visuel, suite à son action de traverser. Ce type d'entraînement présente l'avantage de porter directement sur le comportement à rendre plus sécuritaire, sans poser la question de la pertinence du comportement à entraîner (puisque'il s'agit directement du comportement « à risque »), ni du transfert des compétences améliorées pendant les sessions d'entraînement (traversée sur simulateur) à la situation test (également traversée sur simulateur).

Enfin, l'entraînement éducatif avait pour objectif de faire prendre conscience aux piétons âgés des facteurs accidentogènes de la traversée de rue. L'entraînement éducatif consistait en une intervention pédagogique et de sensibilisation aux différents paramètres critiques de la traversée de rue. Entre autres, l'entraînement éducatif ciblait les paramètres inhérents à la situation, tels que la vitesse des véhicules ou la complexité du trafic, et les paramètres inhérents aux piétons, tels que la

vitesse de la marche ou de prise de décision. L'objectif de cet entraînement était que les participants apprennent à bien identifier ces différents paramètres, et à les évaluer au plus juste afin de les prendre en compte dans leurs décisions de traverser la rue. Contrairement à l'entraînement comportemental, l'entraînement éducatif constitue un apprentissage exclusivement « conceptuel » et donc sans pratique de l'activité cible à réhabiliter qu'est la traversée de rue à proprement parler. La seule étude ayant abordé l'entraînement des piétons séniors (Dommes et al., 2012, Dommes & Cavallo, 2012) avait utilisé un entraînement « mixte » associant deux types d'apprentissage par la pratique répétée de l'exercice (composante comportementale de l'entraînement) et de feedback explicite sur la sécurité des traversées (composante éducative de l'entraînement). Il nous semblait donc ici important de distinguer clairement entre entraînements comportemental et éducatif.

Le dernier objectif du projet SEPIA était donc d'élaborer et tester l'efficacité de plusieurs méthodes d'entraînement. L'évaluation de l'efficacité des trois méthodes proposées a été testée à deux reprises : (i) une première fois environ une semaine après que les seniors aient participé à un entraînement (dénommée ci-après "phase de post-test immédiat") afin d'évaluer l'efficacité à court terme de la méthode, et (ii) une seconde fois environ six mois après l'entraînement (dénommée ci-après "phase de post-test différé") afin d'évaluer l'efficacité à moyen terme et le maintien dans le temps des effets potentiels de la méthode d'entraînement testée. Les trois méthodes élaborées escomptaient une amélioration de la sécurité des décisions des piétons âgés dans la situation particulièrement complexe et accidentogène qui a été mise en évidence précédemment, à savoir lorsque le gap disponible pour traverser est suffisamment long en voie proche mais trop court en voie éloignée, ce dernier n'étant pas perçu comme tel par le piéton âgé.

## 5.1 Méthodologie.

### 5.1.1 Participants.

Sur les 79 participants âgés testés dans la première phase de l'étude (phase pré-test d'évaluation des comportements), 48 ayant des traversées risquées (collisions et marges de sécurité réduites) ont été sélectionnés pour la suite de l'expérimentation. Nous avons proposé à 36 de ces participants âgés à risque de prendre part à un entraînement : 12 participants prenaient part à l'entraînement perceptivo-cognitif, 12 participants bénéficiaient de l'entraînement comportemental, et 12 autres assistaient à l'entraînement éducatif. Les 12 participants restants constituaient le groupe contrôle ne bénéficiant d'aucun entraînement à la traversée de rue.

**Tableau 1 : Caractéristiques des participants (moyennes et erreur-types) en fonction des groupes.**

entraînement	âge	ratio		% réduction UFOV	% traversées acceptées	% collisions
		homme	femme			
perceptivo-cognitif	72,7 (1,0)	2	10	56,2% (5,4)	62,5% (7,1)	29,2% (5,1)
comportemental	72,8 (1,3)	3	9	57,9% (4,2)	62,5% (7,7)	27,8% (5,5)
éducatif	71,2 (1,9)	3	9	54,2% (5,3)	61,1% (5,5)	30,5% (4,5)
<i>groupe contrôle</i>	<i>72,3 (1,9)</i>	<i>2</i>	<i>10</i>	<i>57,7% (5,9)</i>	<i>62,5% (6,8)</i>	<i>29,2% (5,8)</i>
Différences inter-groupes	NS ; p>.05			NS ; p>.05	NS ; p>.05	NS ; p>.05

Note : NS = différences non significatives entre les groupes

Les 48 participants âgés ont été affectés à l'un des quatre groupes de manière aléatoire mais en veillant à ce que, en moyenne, les groupes soient homogènes (cf. Tableau 1 ci-avant) en termes de genre, d'âge, de réduction du champ visuel utile (score à l'UFOV® Test) et de comportement de traversée de rue (pourcentage d'essais acceptés et pourcentage de collisions lors du pré-test).

### 5.1.2 Procédure.

L'évaluation de l'efficacité des entraînements élaborés a été basée sur le protocole classique d'évaluation pré-post intervention. Ainsi, les comportements de traversée de rue des participants âgés ont été évalués avant qu'ils ne prennent part à un programme d'entraînement (cf. section " 4.2" pages 21 à 27 du présent rapport), immédiatement après, et six mois après (pour évaluer l'effet à long terme de l'entraînement). Les conditions expérimentales et la tâche proposée lors des pré- et post-tests sont identiques pour permettre la comparaison des comportements.

L'évaluation pré-test était constituée de la tâche de traversée de rue à double sens de circulation sur le simulateur de l'Ifsttar. Les participants répondaient également aux différentes épreuves de contrôle exposées ci-avant (UFOV® Test, MMSE, acuité visuelle et vitesse de marche, cf. section "4.1.2" pages 16 à 19). Lors des deux phases d'évaluation post-intervention (post-test immédiat et post-test différé), les participants effectuaient à nouveau la tâche de traversée de rue sur le simulateur de l'Ifsttar et répondaient également à l'épreuve de l'UFOV® Test (puisque'une des méthodes d'entraînement portait sur les capacités cognitives évaluées par ce test).

### 5.1.3 Entraînement perceptivo-cognitif.

Le programme d'entraînement perceptivo-cognitif est celui de l'UFOV® Training développé par Ball et al. (1988) et Edwards et al. (2002). Dérivée de l'UFOV® Test décrit plus haut (cf. section "4.1.2.5" page 18), la version Entraînement (ou Training) de l'UFOV® repose sur le même principe que la version test. Adaptable aux besoins et aux performances de chaque individu, l'UFOV® Training permet d'entraîner séparément la vitesse de traitement, l'attention divisée et l'attention sélective. La version Training permet d'adapter le programme à chaque participant en fonction de son niveau initial et de l'étendue de la réduction de son champ visuel utile révélée par la version Test.

Un entraînement personnalisé a été effectué selon l'étendue du déficit initial de chaque participant à chacune des trois capacités à ré-entraîner (i.e. vitesse de traitement, attention sélective et attention divisée). L'objectif de l'entraînement était de réduire le déficit total du champ visuel utile des participants au-dessous du seuil de 30% (ce dernier étant calculé grâce aux trois performances obtenues par le sujet aux trois parties du test).

Les participants déficitaires à l'UFOV® ont été entraînés aux trois parties de l'UFOV® aux cours de 3 séances individuelles de 1h30 chacune. Pour chacune des parties évaluant respectivement la vitesse de traitement (partie 1) l'attention visuelle divisée (partie 2) et l'attention visuelle sélective (partie 3), l'expérimentateur fixait la vitesse de présentation des stimuli à l'écran et le degré d'excentricité des items (pour les parties 2 et 3). Pour évoluer à un niveau de difficulté supérieur (vitesse de présentation plus rapide et/ou degré d'excentricité plus important), 2 blocs d'essais au

minimum devaient être réalisés et le sujet devait réussir à détecter correctement 75 % des cibles présentées. S'il échouait, des blocs d'essais supplémentaires dans la même condition étaient proposés au participant. Cette procédure était répétée, pour chaque partie de l'UFOV® Training, jusqu'à ce que le participant parvienne à identifier correctement au moins 75 % des cibles à la vitesse la plus élevée possible et pour l'excentricité maximale. A la fin de chaque bloc d'entraînement, l'expérimentateur présentait les résultats au participant afin qu'il puisse avoir un retour sur ses performances et son amélioration au cours de la séance.

L'entraînement commençait par la partie la plus simple, à savoir l'entraînement de la vitesse de traitement d'informations visuelles (cf. Figure 10 ci-dessous). La tâche des participants consistait à identifier correctement une cible apparaissant très brièvement au centre de l'écran. Cette partie était considérée comme réussie lorsque les participants identifiaient correctement au moins 75 % de cibles à une vitesse de présentation de 30 ms et pour deux blocs d'essais consécutifs. Cette partie de l'UFOV® suivait une procédure auto-adaptative : la vitesse de présentation augmentait tant que les participants effectuaient des identifications correctes, jusqu'à la vitesse maximale (30 ms). Tous les participants ayant suivi l'entraînement perceptivo-cognitif ont rapidement réussi cette partie de l'UFOV® Training, et ce, dès la première séance d'entraînement.

**Figure 10 : Tâche 1 de l'UFOV® (vitesse de traitement).**



Pour les deux autres parties (attention divisée, cf. Figure 11, et attention sélective, cf. Figure 12 ci-après), la procédure d'entraînement était progressive. Dans ces deux parties, deux cibles apparaissaient brièvement et simultanément à l'écran: une cible au centre de l'écran et une cible périphérique pouvant apparaître tout autour de la cible centrale. La différence entre les deux parties était que, pour la partie attention sélective, les deux cibles étaient présentées parmi des distracteurs, augmentant alors la difficulté de la tâche. Pour ces deux parties, les participants devaient effectuer une double tâche : identifier correctement la cible présentée au centre de l'écran et repérer la position de la seconde cible, présentée autour de la cible centrale. L'excentricité de la seconde cible pouvait être fixée par l'expérimentateur à 10°, 20° ou 30°. Pour chacune de ces parties, la vitesse de présentation des stimuli du premier bloc d'essais était déterminée en fonction du déficit initial des participants et l'excentricité initiale était alors la plus petite (10°). Lorsque les participants réussissaient au moins 75 % des essais dans deux blocs consécutifs, l'excentricité de la cible périphérique était augmentée en gardant la même vitesse de présentation. Ainsi, pour la vitesse de présentation initiale, les participants passaient par trois niveaux de difficulté déterminés par

l'excentricité de la cible périphérique (10°, 20° et 30°). Une fois le dernier niveau atteint (30°), la vitesse de présentation était alors augmentée en revenant par contre à un niveau d'excentricité minimale (10°) pour la cible périphérique. Cette procédure était répétée jusqu'à ce que le participant atteigne la vitesse de présentation la plus rapide possible pour lui.

Figure 11 : Tâche 2 de l'UFOV® (attention divisée).

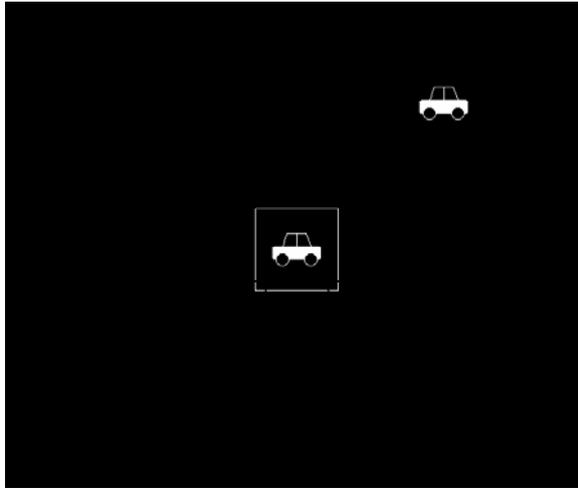
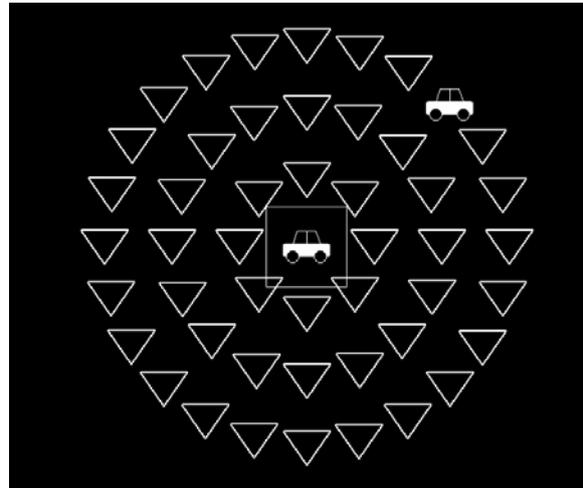


Figure 12 : Tâche 3 de l'UFOV® (attention sélective).



Tous les participants ont atteint le niveau final escompté, par une réduction du déficit du champ visuel utile au dessous du seuil critique de 30 %.

#### 5.1.4 Entraînement comportemental.

Le programme d'entraînement comportemental proposait aux participants des séries d'essais de traversée de rue sur le simulateur de l'Ifsttar à Satory. L'entraînement comportait des situations de traversée à sens unique et des situations de traversée de rue à double sens de circulation. Dans chaque situation, des intervalles plus ou moins sécuritaires et des vitesses d'approche des véhicules plus ou moins rapides étaient présentés. Aucun feedback explicite concernant les collisions ou le niveau de sécurité du comportement de traversée de rue n'était délivré aux participants. L'expérimentateur ne faisait aucun commentaire sur les traversées, ni pendant, ni après l'entraînement. Les participants étaient laissés seuls face aux essais présentés avec pour consigne de traverser entre les véhicules s'ils pensaient qu'ils pouvaient le faire en toute sécurité. Le but était ici d'étudier l'effet de pratique répétée sur le comportement de traversée de rue.

La consigne demandait aux participants de traverser comme ils traversent la rue dans le monde réel, de la même manière qu'ils le font habituellement. Seuls deux contraintes étaient imposées aux participants : 1) pour des raisons de sécurité évidentes, les participants avaient interdiction de traverser en courant ; 2) les participants devaient traverser les deux voies en une seule fois, sans s'arrêter entre les deux voies.

Cinq valeurs de gap, de 1 à 5 s, ont été utilisées pour construire les situations de traversée de rue dans la méthode d'entraînement comportemental. L'entraînement comportait ainsi 5 situations de sens unique sur la voie proche, 5 situations de sens unique sur la voie éloignée et 22 situations de double sens de circulation. Les situations de double sens étaient issues du croisement des différents gaps sur la voie proche et sur la voie éloignée. Chacune des 32 situations totales de traversée de rue ont été présentées pour 3 vitesses différentes d'approche des véhicules : 30 km/h, 50 km/h et 70 km/h. Au final, 96 situations différentes de traversée de rue ont donc été construites (cf. Tableau 2 ci-dessous). Ces 96 essais étaient répartis en 4 blocs d'essais.

**Tableau 2 : Répartition des essais dans les quatre blocs de l'entraînement comportemental.**

statut	sans risque	sans risque	impossible	impossible	dangereux	dangereux	Total
sens	unique	double	unique	double	unique	double	
bloc1	3	3	2	4	3	9	<b>24</b>
bloc2	3	3	1	5	3	9	<b>24</b>
bloc3	3	3	1	5	3	9	<b>24</b>
bloc4	3	3	2	4	3	9	<b>24</b>
<b>Total</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>18</b>	<b>12</b>	<b>36</b>	<b>96</b>

Les 96 essais étaient répartis dans les 4 blocs en veillant à ce que chaque bloc comporte 25 % d'essais "impossibles" (gap de 1 s en voie proche et/ou en voie éloignée), 25 % d'essais "sans risque" (gap long de 4 ou 5 s en voie proche et/ou en voie éloignée) et 50 % d'essais "dangereux" (gap court de 2 ou 3 s en voie proche et/ou en voie éloignée). Dans chaque bloc et pour chaque type d'essais (impossibles, sans risque, dangereux), les essais en sens unique et en double sens de circulation ont été équilibrés, ainsi que les essais à 30, 50 et 70 km/h.

Chaque participant bénéficiant de l'entraînement comportemental suivait 2 séances individuelles de 1h30 chacune. Au cours de chaque séance, les 96 essais, répartis en 4 blocs de 24 essais étaient présentés aux participants. Chaque bloc était séparé par une courte pause. Au total, chaque participant a été confronté à 192 essais de traversée de rue.

### 5.1.5 Entraînement éducatif.

Le programme d'entraînement éducatif avait pour objectif de sensibiliser les piétons seniors aux dangers relatifs à la traversée de rue et, en particulier, à la sélection de gap temporels entre les véhicules à l'approche qui leur soient suffisamment longs pour effectuer une traversée de rue sécurisée. Cet entraînement était composé de deux phases.

La première phase du programme avait pour but de sensibiliser les participants aux paramètres critiques de la traversée de rue et de la sélection de gap sécurisées. Cette première phase se présentait sous la forme d'une discussion interactive avec les participants : l'expérimentateur présentait un power point et des vidéos permettant d'aborder les différentes notions relatives à la traversée de rue. La deuxième phase de l'entraînement consistait en des exercices d'application. Des

démonstrations de traversée de rue sur simulateur et sur vidéo étaient présentées aux participants afin d'illustrer et de discuter les différentes notions abordées au cours de la première phase. L'entraînement éducatif se déroulait en une seule séance de 3h et par petit groupe de 3 à 5 participants. Chaque phase durait environ 1h30 avec une pause de quelques minutes entre les deux.

Plus précisément, la première phase de sensibilisation à la traversée de rue avait pour but de faire prendre conscience aux participants des facteurs de risque à l'origine des accidents de traversée de rue. L'aspect interactif entre les participants, et entre les participants et l'expérimentateur était favorisé : les participants étaient encouragés à intervenir le plus possible soit spontanément, soit par questionnement direct de la part de l'expérimentateur. Le programme de sensibilisation abordait tout d'abord les règles générales permettant de traverser la rue en toute sécurité, ainsi que les conséquences du vieillissement normal. Etaient ainsi abordés : le rôle de l'infrastructure et des aménagements routiers (préférer les passages piétons, s'arrêter sur un îlot central si possible, etc.), la vulnérabilité des piétons seniors dans les statistiques d'accidents, le rôle de la vigilance, et des déficits perceptifs et physiques liés au vieillissement normal. Ensuite, les participants étaient sensibilisés à la tâche la plus essentielle du piéton lorsqu'il traverse la rue sans aide extérieure (ex. sans passage piéton, cf. Figure 13 ci-dessous), i.e. la sélection d'un intervalle de temps entre des véhicules circulant sur la chaussée à traverser. Au cours d'une discussion interactive, l'accent était mis sur les paramètres cruciaux permettant la sélection d'un intervalle de temps suffisamment important pour permettre une traversée sécurisée (la distance et la vitesse des véhicules approchant, et donc le temps disponible). Une fois ces paramètres identifiés par les participants, ils étaient définis et illustrés par des vidéos (cf. Figure 14 ci-après). Les paramètres abordés étaient : la vitesse de marche et la capacité d'accélération du piéton, l'engagement sur la chaussée et le moment d'initiation de la traversée, l'estimation de la vitesse et de la distance des véhicules à l'approche, la complexité du trafic, et l'observation du trafic. Un dépliant résumant les différentes notions abordées était fourni aux participants afin qu'ils puissent garder une trace écrite du contenu de cet entraînement.

Figure 13 : Exemple du contenu du programme de sensibilisation (entraînement éducatif).

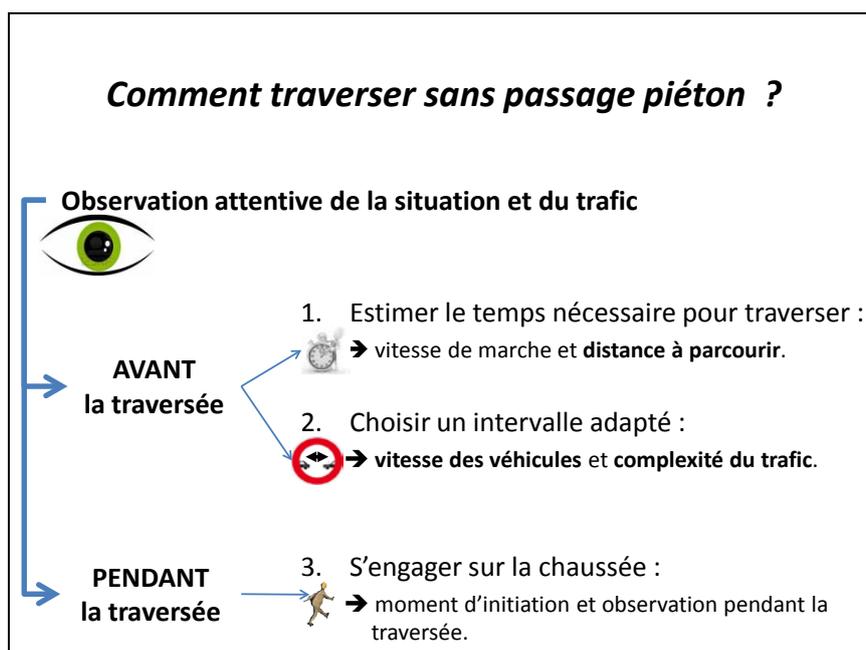


Figure 14 : Vidéos d'illustration de l'entraînement éducatif.



*Note : le point rouge symbolise le piéton traversant*

Dans la seconde phase de l'entraînement éducatif, les participants visionnaient des démonstrations de traversée de rue sur simulateur. Chaque démonstration commençait par la visualisation, du point de vue d'un piéton, d'une tentative de traversée d'une rue circulée. Les participants se trouvaient au bord du trottoir de départ de sorte à voir le trafic défilé devant eux. A un moment donné de la démonstration, un arrêt sur image survenait afin de simuler un départ de traversée. Le piéton fictif n'était jamais visible dans cette phase de la démonstration. Les participants étaient alors amenés à discuter entre eux et avec l'expérimentateur de l'essai venant d'être vu afin d'évaluer si la traversée était sécurisée ou non dans l'exemple proposé. L'expérimentateur encourageait les participants à évaluer les différents paramètres observables et abordés lors de la phase précédente (moment d'initiation, estimation de la vitesse des véhicules, estimation du temps disponible pour traverser d'après la distance et la vitesse des véhicules à l'approche, et vitesse de marche du piéton) afin de juger si la décision de traverser était "correcte" ou non. Suite à cette discussion, les participants visionnaient une vidéo correspondante au même essai mais en vue aérienne avec avatar représentant le piéton. Cette vidéo présentait la traversée complète et permettait de déterminer si la traversée était sécurisée ou non. En fonction de la discussion précédente, les participants étaient alors amenés à identifier les causes d'insécurité, voire les causes d'accident de la traversée présentée dans la vidéo. Cette phase d'exercice comportait une dizaine de

démonstrations illustrant huit types de situations : (1) départ trop tardif du piéton pour traverser la rue ; (2) surestimation du temps disponible (vitesse élevée des véhicules) en voie proche ; (3) surestimation du temps disponible (vitesse élevée des véhicules) en voie éloignée ; (4) sous-estimation du temps disponible (vitesse faible des véhicules) en voie proche ; (5) sous-estimation du temps disponible (vitesse faible des véhicules) en voie éloignée ; (6) traversée sécurisée (gap long) ; (7) traversée impossible (intervalle très court) ; et (8) traversée dangereuse due à une vitesse de marche trop lente pour un gap disponible donné.

### 5.1.6 Analyse des résultats

Nous avons vu précédemment (cf. section "4.3" p. 26) que la configuration de trafic dans laquelle le gap est suffisant en voie proche mais trop court en voie éloignée est particulièrement préjudiciable aux participants âgés. En effet, 60,7 % des participants âgés ont accepté au moins un essai dans cette configuration de trafic qui représente à elle seul près de 70 % des collisions. Dans la présente expérience, nous nous attacherons donc essentiellement aux résultats dans cette situation. En conséquence, les analyses subséquentes ne portent que sur essais dits "dangereux" (i.e. lorsque le gap disponible est suffisant en voie proche mais trop court en voie éloignée), soit 6 essais parmi les 38 proposés au total.

L'analyse des résultats aurait dû effectuer une comparaison inter-groupes afin d'évaluer l'efficacité relative de chaque méthode d'entraînement par rapport aux autres et, en particulier, par rapport au groupe contrôle. Cependant, en raison d'une variance trop importante entre les participants des différents groupes, aucune comparaison entre les entraînements n'a pu être réalisée. En conséquence, l'analyse des résultats portera sur des comparaisons pré/post intervention pour chacun des groupes séparément.

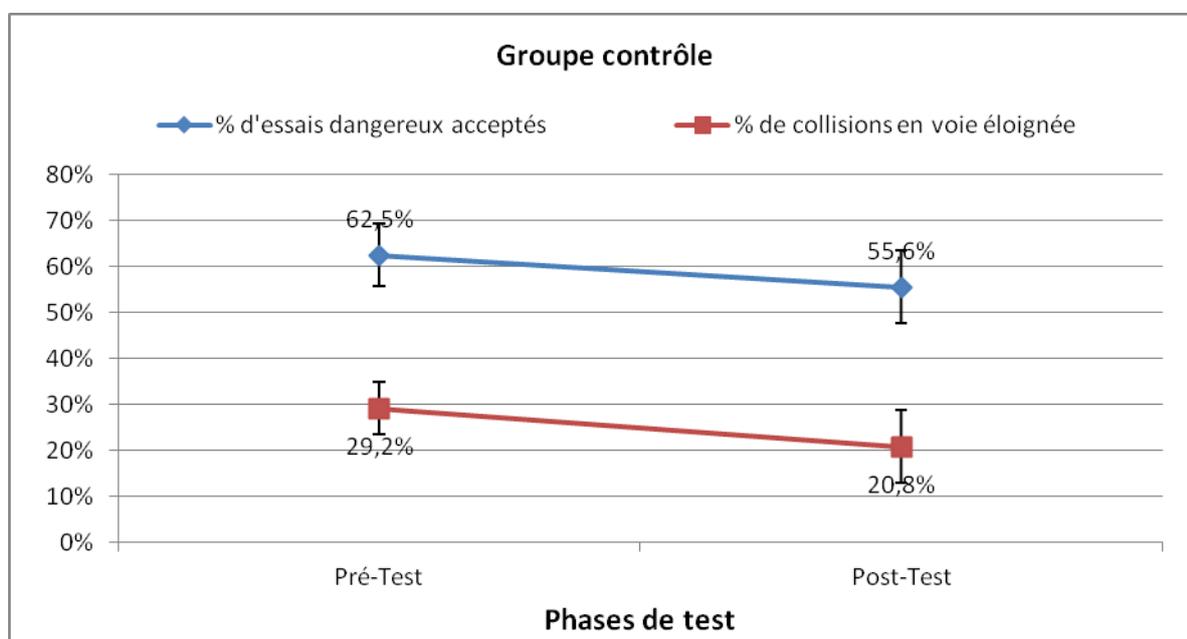
## 5.2 Résultats quant aux effets des entraînements à court terme (post-test immédiat).

### 5.2.1 Groupe contrôle.

Les participants du groupe contrôle ne présentent pas de modification de comportement entre les phases de pré-test et de post-test immédiat (cf. Figure 15 ci-après). Leurs décisions (en termes de pourcentage d'essais dangereux acceptés) et la sécurité de leurs traversées (en termes de pourcentage de collisions en voie éloignée) ne varient pas entre la première fois (pré-test) et la deuxième fois (post-test immédiat) qu'ils réalisent la tâche de traversée de rue à double sens de circulation sur le simulateur de l'Ifsttar.

Plus précisément, les participants contrôles ont, en moyenne, accepté 62,5 % (ET = 6,8 %) des essais dangereux lors du pré-test contre 55,6 % (ET = 8,0 %) lors du post-test. Cette légère baisse n'est toutefois pas significative :  $F(1,11) = 1.54$  ;  $p > .05$ . De même, ces participants ont émis autant de décisions menant à des collisions en voie éloignée lors du pré-test (M = 29,2 % ; ET = 5,8 %) que lors du post-test (M = 20,8 % ; ET = 7,7 %). Malgré une diminution des collisions entre les deux phases test, la différence n'est pas significative statistiquement :  $F(1,11) = 3.64$  ;  $p > .05$ .

**Figure 15 : Pourcentage d'essais dangereux acceptés et pourcentage de collisions en voie éloignée (moyennes et erreur-types) chez les participants du groupe contrôle aux deux premières phases test de l'étude.**

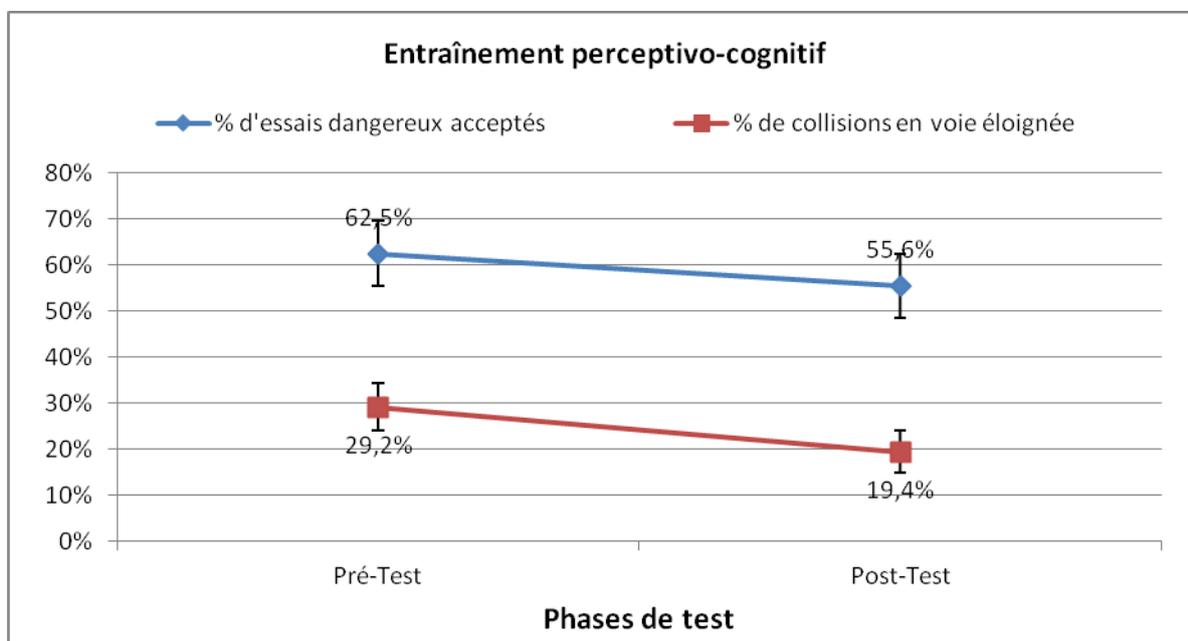


Comme conséquence de cette absence de modification des comportements, les participants du groupe contrôle persistent à montrer un effet de la vitesse d'approche du véhicule dans leurs décisions de traverser la rue aux deux phases de test (effet principal du facteur Vitesse :  $F(1,11) = 17.5$ ;  $p < .05$ ). Les essais dangereux sont davantage acceptés lorsque les véhicules roulent à 60 km/h ( $M = 72,2\%$  ;  $ET = 7,2\%$ ) plutôt qu'à 40 km/h ( $M = 45,8\%$  ;  $ET = 8,0\%$ ), et cela autant en phase de pré-test qu'en phase de post-test (interaction double Phase de test x Vitesse non significative:  $F(1,11) = 0.66$  ;  $p > .05$ ). Les collisions en voie éloignée ont également lieu davantage lorsque les véhicules roulent à 60 km/h ( $M = 37,5\%$  ;  $ET = 8,7\%$ ) plutôt qu'à 40 km/h ( $M = 12,5\%$  ;  $ET = 4,6\%$ ; effet principal du facteur Vitesse significatif  $F(1,11) = 12.5$  ;  $p < .05$ ), et cet effet de la vitesse s'observe autant en phase de pré-test que de post-test (interaction double Phase de test x Vitesse non significative :  $F(1,11) = 0.09$  ;  $p > .05$ ).

### 5.2.2 Entraînement perceptivo-cognitif.

L'entraînement perceptivo-cognitif UFOV® a eu l'effet escompté sur les capacités de vitesse de traitement et les capacités attentionnelles. Les performances des participants ayant suivi cet entraînement à l'UFOV® Test se sont remarquablement améliorées. Lors du pré-test, ces participants présentaient, en moyenne, un déficit du champ visuel utile de l'ordre 56,2 % (ET = 18,8 %) contre 22,1 % (ET = 8,5 %) lors du post-test immédiat. La réduction du déficit à la suite de l'entraînement à l'UFOV® test est significative :  $t(11) = 7.5$  ;  $p < .05$ . De manière similaire aux participants du groupe contrôle, et contrairement à nos attentes, les participants ayant suivi l'entraînement perceptivo-cognitif UFOV® ne présentent pas de modification significative de leurs comportements de traversée de rue. On observe (cf. Figure 16 ci-après) que les participants ont tendance à accepter moins d'essais dangereux après l'entraînement : 62,5 % d'essais acceptés (ET = 7,1 %) en pré-test contre 55,6 % (ET = 6,9 %) en post-test. Toutefois, cet effet de l'entraînement n'est pas significatif :  $F(1,11) = 0.85$  ;  $p > .05$ . La même tendance s'observe concernant les collisions en voie éloignée. Ainsi, le pourcentage de collisions en voie éloignée est plus faible en post-test (M = 19,4 % ; ET = 4,5 %) qu'en pré-test (M = 29,2 % ; ET = 5,1 %) sans toutefois que la différence soit significative :  $F(1,11) = 1.14$  ;  $p > .05$ .

**Figure 16 : Pourcentage d'essais dangereux acceptés et pourcentage de collisions en voie éloignée (moyennes et erreurs-types) chez les participants ayant suivi l'entraînement perceptivo-cognitif aux deux premières phases test de l'étude.**

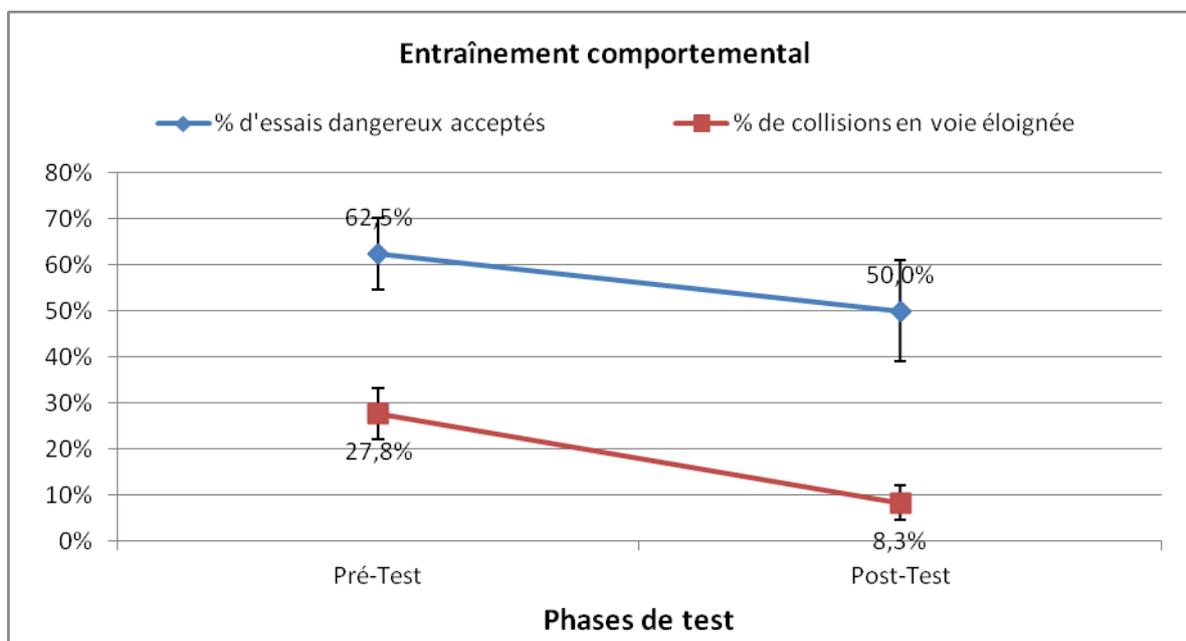


On retrouve également le même pattern de résultats que celui du groupe contrôle concernant l'effet de la vitesse d'approche des véhicules. Les décisions dangereuses sont plus nombreuses lorsque les véhicules roulent à 60 km/h ( $M = 75,0 \%$  ;  $ET = 6,3 \%$ ) plutôt qu'à 40 km/h ( $M = 43,0 \%$  ;  $ET = 7,5 \%$ ,  $F(1,11) = 19.46$  ;  $p < .05$ ), et cet effet de la vitesse s'observe autant en phase de pré-test qu'en phase de post-test (interaction double Phase de test x Vitesse non significative :  $F(1,11) = 0.03$  ;  $p > .05$ ). De même, les collisions en voie éloignée sont plus nombreuses lorsque les véhicules roulent à 60 km/h ( $M = 41,7 \%$  ;  $ET = 5,6 \%$ ) plutôt qu'à 40 km/h ( $M = 6,9 \%$  ;  $ET = 3,2 \%$ ,  $F(1,11) = 10.77$  ;  $p < .05$ ). et cet effet de la vitesse s'observe autant en phase de pré-test qu'en phase de post-test (interaction double Phase de test x Vitesse non significative :  $F(1,11) = 1.80$  ;  $p > .05$ ).

### 5.2.3 Entraînement comportemental.

L'entraînement comportemental se révèle être efficace et améliore significativement la sécurité des comportements de traversée de rue. En effet, suite à cet entraînement, le pourcentage d'essais dangereux acceptés a diminué de 12,5 % (cf. Figure 17 ci-dessous). Les participants ont moins accepté d'essais dangereux lors du post-test immédiat (M = 50,0 % ; ET = 11,0 %) que lors du pré-test (M = 62,5 % ; ET = 7,7 %). Cette différence est marginalement significative :  $F(1,11) = 4.07$ ;  $p = .07$ . Plus important, le pourcentage de collisions en voie éloignée a chuté de manière drastique avec 40,8 % de collisions en moins suite à l'entraînement. Les collisions sont significativement moins nombreuses lors du post-test (M = 14,6 % ; ET = 8,3 %) que lors du pré-test (M = 27,8 % ; ET = 5,5 %) :  $F(1,11) = 8.09$ ;  $p < .05$ .

**Figure 17 : Pourcentage d'essais dangereux acceptés et pourcentage de collisions en voie éloignée (moyennes et erreur-types) chez les participants ayant suivi l'entraînement comportemental au deux premières phases test de l'étude.**

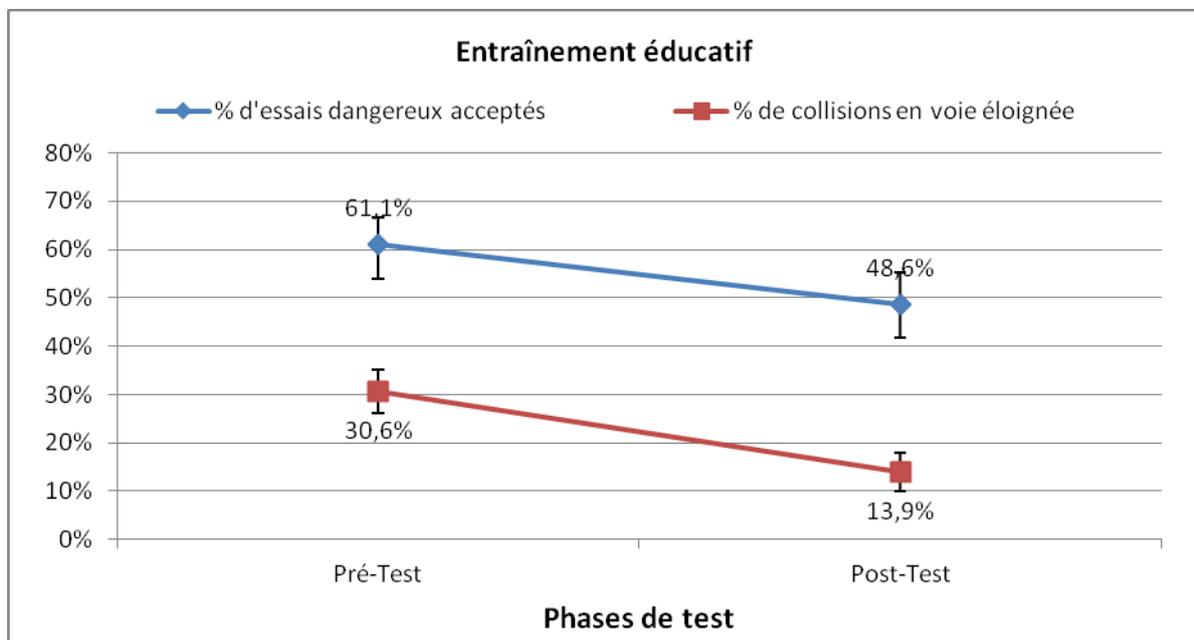


Malgré l'effet bénéfique décrit ci-dessus, on retrouve tout de même une persistance de l'effet vitesse chez les participants ayant bénéficié d'un entraînement comportemental. En effet, les décisions dangereuses sont plus nombreuses lorsque les véhicules roulent à 60 km/h (M= 69,4 % ; ET = 8,7 %) plutôt qu'à 40 km/h (M = 43,0 % ; ET = 9,9 %,  $F(1,11) = 14.44$ ;  $p < .05$ ), et cet effet de la vitesse s'observe autant en phase de pré-test qu'en phase de post-test (interaction double Phase de test x Vitesse non significative :  $F(1,11) = 0.04$ ;  $p > .05$ ). De même, les collisions en voie éloignée sont plus nombreuses lorsque les véhicules roulent à 60 km/h (M= 27,8 % ; ET = 5,2 %) plutôt qu'à 40 km/h (M = 8,3 % ; ET = 3,2 % ;  $F(1,11) = 6.60$ ;  $p < .05$ ) et cet effet de la vitesse s'observe autant en phase de pré-test qu'en phase de post-test (interaction double Phase de test x Vitesse non significative :  $F(1,11) = 1.43$ ;  $p > .05$ ).

### 5.2.4 Entraînement éducatif.

L'entraînement éducatif engendre également un bénéfice notable pour la sécurité des traversées de rue des participants (cf. Figure 18 ci-dessous). Les participants ayant suivi l'entraînement éducatif ont accepté moins d'essais dangereux lors du post-test (M = 48,6 % ; ET = 6,6 %) que lors du pré-test (M = 61,1 % ; ET = 5,5 %). Cette différence est significative :  $F(1,11) = 4.07$ ;  $p < .05$ . Egalement, le pourcentage de collisions en voie éloignée est moins important lors du post-test (M = 13,9 % ; ET = 4,0 %) que lors du pré-test (M = 30,6 % ; ET = 4,5 %). Cette différence est significative,  $F(1,11) = 7.07$ ;  $p < .05$ .

**Figure 18 : Pourcentage d'essais dangereux acceptés et pourcentage de collisions en voie éloignée (moyennes et erreur-types) chez les participants ayant suivi l'entraînement éducatif au deux premières phases test de l'étude.**



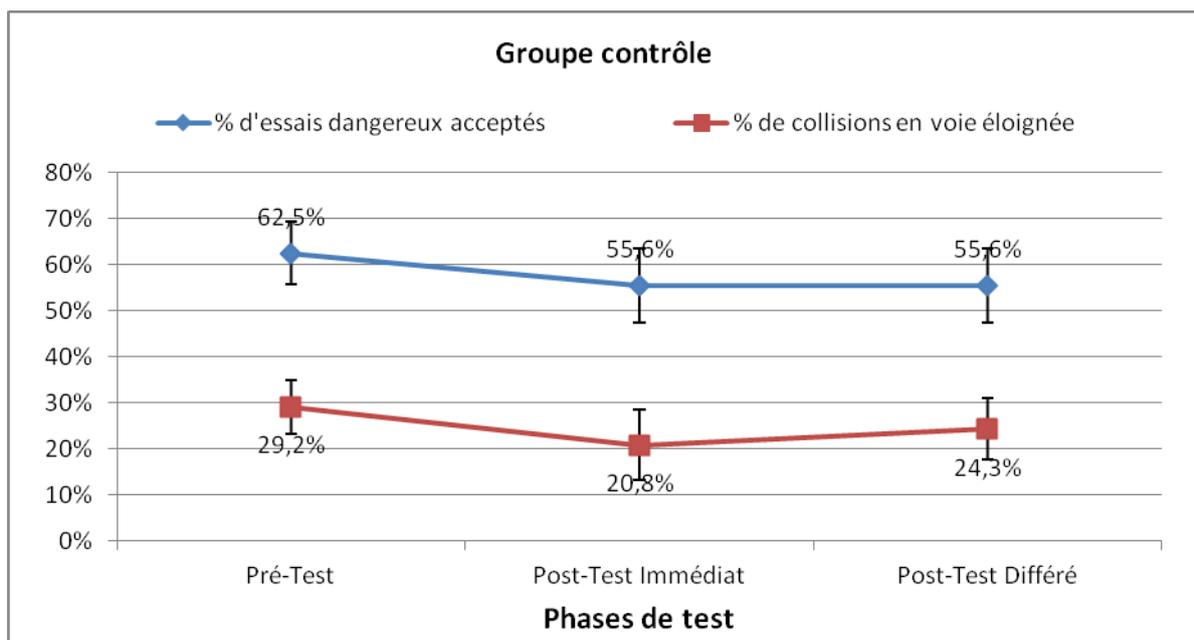
De manière identique aux autres groupes, on observe également, chez les participants ayant suivi l'entraînement éducatif, une persistance de l'effet vitesse après la participation au programme. En effet, les décisions dangereuses sont plus nombreuses lorsque les véhicules roulent à 60 km/h (M= 72,2 % ; ET = 5,9 %) plutôt qu'à 40 km/h (M = 37,5 % ; ET = 37,5 % ;  $F(1,11) = 27.39$ ;  $p < .05$ ) et cet effet de la vitesse s'observe autant en phase de pré-test que de post-test (interaction double Phase de test x Vitesse non significative :  $F(1,11) = 2.45$ ;  $p > .05$ ). De même, les collisions en voie éloignée sont plus nombreuses lorsque les véhicules roulent à 60 km/h (M= 34,7% ; ET = 7,2 %) plutôt qu'à 40 km/h (M = 9,7 % ; ET = 3,2 %) :  $F(1,11) = 7.98$ ;  $p < .05$ ) et cet effet de la vitesse s'observe autant en phase de pré-test que de post-test (interaction double Phase de test x Vitesse non significative :  $F(2,11) = 0.58$ ;  $p > .05$ ).

## 5.3 Résultats quant aux effets des entraînements à long terme (post-test différé).

### 5.3.1 Groupe contrôle.

Chez les participants du groupe contrôle, le comportement de traversée est stable au cours du temps (cf. Figure 19 ci-dessous) : le pourcentage d'essais dangereux acceptés et le pourcentage de collisions en voie éloignée ne diffèrent pas en fonction de la phase de test. Ainsi, les participants du groupe contrôle ont accepté autant d'essais dangereux au cours du pré-test (M = 62,5 % ; ET = 6,8 %), que du post-test immédiat (M = 55,6 % ; ET = 8,0 %) et que du post-test différé (M = 55,6 % ; ET = 8,0 %). Les différences ne sont pas significatives ( $F(2,22) = 0.76$  ;  $p > .05$ ). De même, chez ces participants, le pourcentage de collisions en voie éloignée ne diffère pas significativement entre le pré-test (M = 29,2 % ; ET = 5,8 %), le post-test immédiat (M = 20,8 % ; ET = 7,7 %) et le post-test différé (M = 24,3 % ; ET = 6,6 %) ( $F(2,22) = 1.14$  ;  $p > .05$ ).

Figure 19 : Evolution à court et moyen termes du pourcentage d'essais dangereux acceptés et du pourcentage de collisions en voie éloignée (moyennes et erreur-types) chez le groupe contrôle.

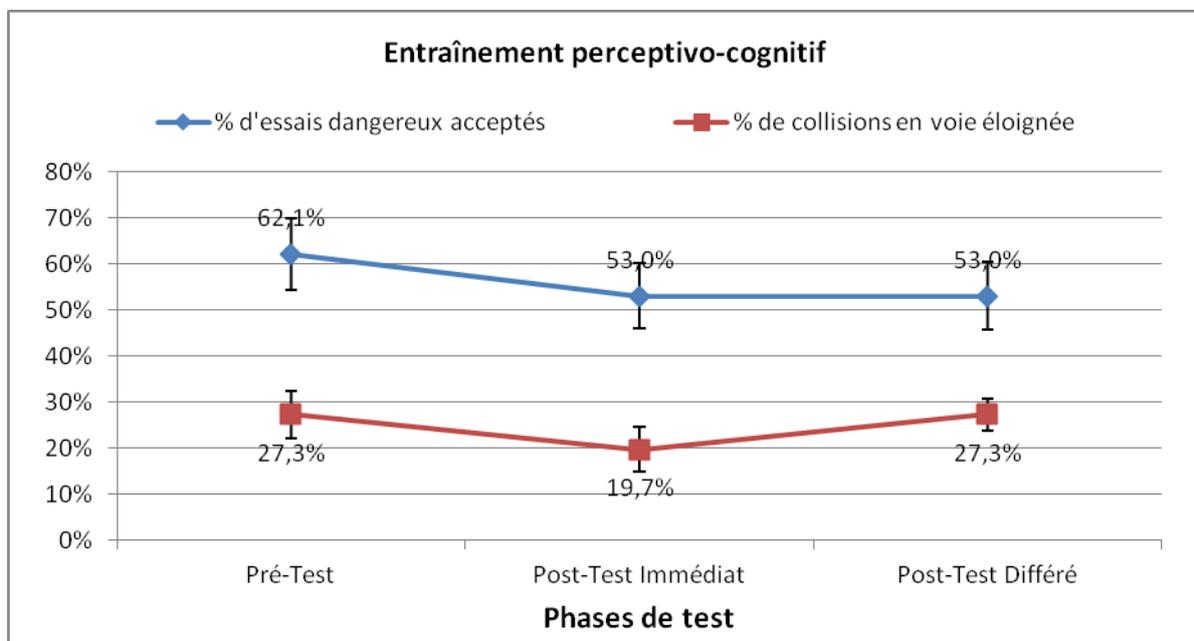


On observe également l'effet de la vitesse d'approche des véhicules sur les comportements de traversée de rue des participants du groupe contrôle aux trois phases de test. Les essais dangereux sont ainsi davantage acceptés lorsque les véhicules roulent à 60 km/h (M = 73,1 % ; ET = 6,9 %) plutôt qu'à 40 km/h (M = 42,6 % ; ET = 7,2 % ;  $F(1,11) = 44.86$  ;  $p < .05$ ), et cet effet de la vitesse s'observe autant en phase de pré-test, que de post-test immédiat, et que de post-test différé (interaction double Phase de test x Vitesse non significative :  $F(2,22) = 0.88$  ;  $p > .05$ ). Les collisions en voie éloignée sont également plus nombreuses lorsque les véhicules roulent à 60 km/h (M = 37,5 % ; ET = 8,3 %) plutôt qu'à 40 km/h (M = 12,0 % ; ET = 4,8 % ;  $F(1,11) = 15.33$  ;  $p < .05$ ), et cet effet de la vitesse s'observe autant en phase de pré-test, que de post-test immédiat, et que de post-test différé (interaction double Phase de test x Vitesse non significative :  $F(2,22) = 0.43$  ;  $p > .05$ ).

### 5.3.2 Entraînement perceptivo-cognitif.

L'entraînement perceptivo-cognitif n'a pas engendré de modification du comportement de traversée de rue en phase de post-test différé, soit 6 mois après les séances d'entraînement à l'UFOV® (cf. Figure 20 ci-dessous). Le pourcentage d'essais dangereux acceptés ne diffère pas significativement entre le pré-test (M = 62,1 % ; ET = 7,8 %), le post-test immédiat (M = 53,0 % ; ET = 7,0 %) et le post-test différé (M = 53,0 % ; ET = 7,4 %) :  $F(2,20) = 1.22$  ;  $p > .05$ . De la même façon, le pourcentage de collisions en voie éloignée ne diffère pas significativement entre le pré-test (M = 27,3 % ; ET = 5,2 %), le post-test immédiat (M = 19,7 % ; ET = 4,9 %) et le post test différé (27,3 % ; ET = 3,4 %) :  $F(2,20) = 1.10$  ;  $p > .05$ .

Figure 20 : Effet de l'entraînement perceptivo-cognitif à court et moyen termes sur le pourcentage d'essais dangereux acceptés et le pourcentage de collisions en voie éloignée (moyennes et erreurs-types).



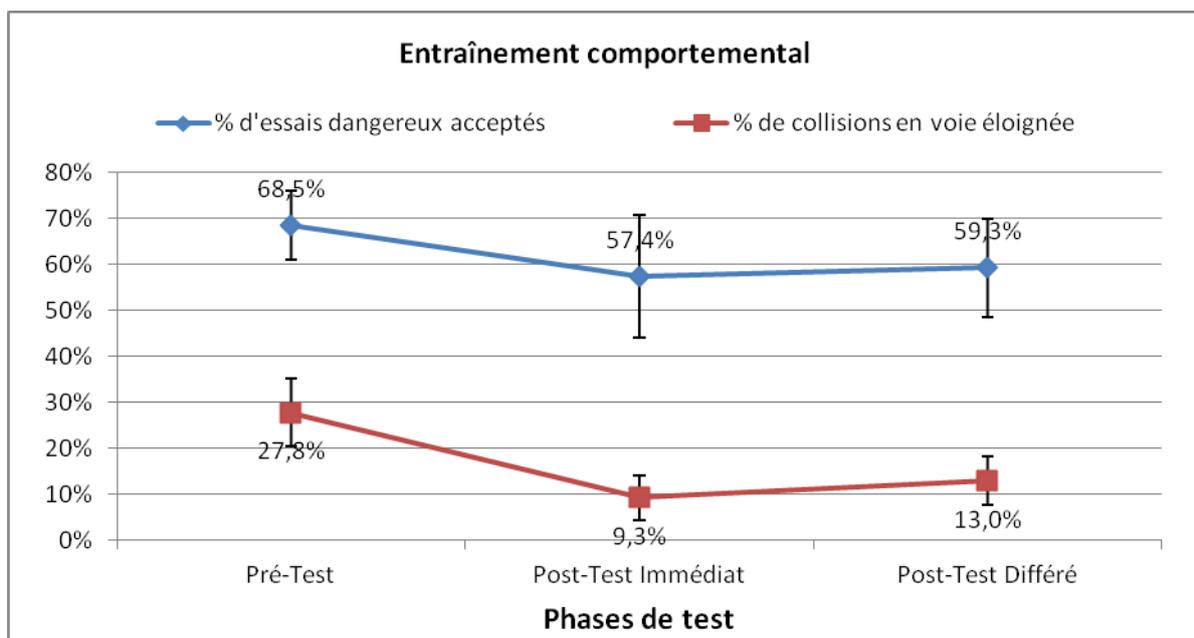
L'effet de la vitesse d'approche des véhicules est également observé aux trois phases de test. Les essais dangereux sont ainsi davantage acceptés lorsque les véhicules roulent à 60 km/h (M = 74,7 % ; ET = 6,5 %) plutôt qu'à 40 km/h (M = 37,4 % ; ET = 7,8 % ;  $F(1,10) = 29.25$  ;  $p < .05$ ), et cet effet de la vitesse s'observe autant en phase de pré-test, que de post-test immédiat, et que de post-test différé (interaction double Phase de test x Vitesse non significative :  $F(2,20) = 0.48$  ;  $p > .05$ ). Les collisions en voie éloignée sont également plus nombreuses lorsque les véhicules roulent à 60 km/h (M = 44,4 % ; ET = 6,0 %) comparativement à 40 km/h (M = 5,0 % ; ET = 2,3 % ;  $F(1,10) = 33.9$  ;  $p < .05$ ), et cet effet de la vitesse s'observe autant en phase de pré-test, que de post-test immédiat, et que de post-test différé (interaction double Phase de test x Vitesse non significative :  $F(2,20) = 2.63$  ;  $p > .05$ ).

### 5.3.3 Entraînement comportemental.

Chez les participants ayant suivi l'entraînement comportemental, on observe que le pourcentage d'essais dangereux acceptés 6 mois après l'entraînement ( $M = 59,3\%$  ;  $ET = 5,4\%$ ) ne diffère pas significativement du pourcentage d'essais dangereux acceptés lors du pré-test ( $M = 68,5\%$  ;  $ET = 7,6\%$  ;  $F(1,8) = 0.70$  ;  $p > .05$ ) ou lors du post-test immédiat ( $M = 57,4\%$  ;  $ET = 13,4\%$  ;  $F(1,8) = 0.03$  ;  $p > .05$ ). Ainsi, malgré une tendance allant dans le sens d'une diminution du pourcentage d'essais dangereux acceptés suite à l'entraînement comportemental (cf. Figure 21), l'analyse de variance effectuée ne permet pas de mettre en évidence un effet significatif en raison du faible nombre de participants ayant poursuivi l'étude jusqu'au post-test différé. En effet, seuls neuf participants sur douze ont pu revenir six mois après la première phase d'expérimentation pour effectuer le post-test différé.

A l'inverse, on observe bien une amélioration à long terme sur le pourcentage de collisions en voie éloignée ( $F(2,8) = 3.61$  ;  $p = .05$ ). Les participants ayant bénéficié de l'entraînement comportemental ont eu moins de collisions en voie éloignée 6 mois après avoir suivi l'entraînement plutôt que avant l'entraînement (cf. Figure 21 ci-dessous,  $F(1,8) = 4.36$  ;  $p < .05$ ). Le pourcentage de collisions en voie éloignée ne diffère par contre pas significativement entre le post-test immédiat ( $M = 9,3\%$  ;  $ET = 4,9\%$ ) et le post-test différé ( $M = 13,0\%$  ;  $ET = 5,4\%$  ;  $F(1,8) = 0.64$  ;  $p > .05$ ), indiquant de ce fait un maintien dans le temps de cet effet bénéfique sur le pourcentage de collisions.

**Figure 21 : Effet de l'entraînement comportemental à court et moyen termes sur le pourcentage d'essais dangereux acceptés et le pourcentage de collisions en voie éloignée (moyennes et erreurs-types).**

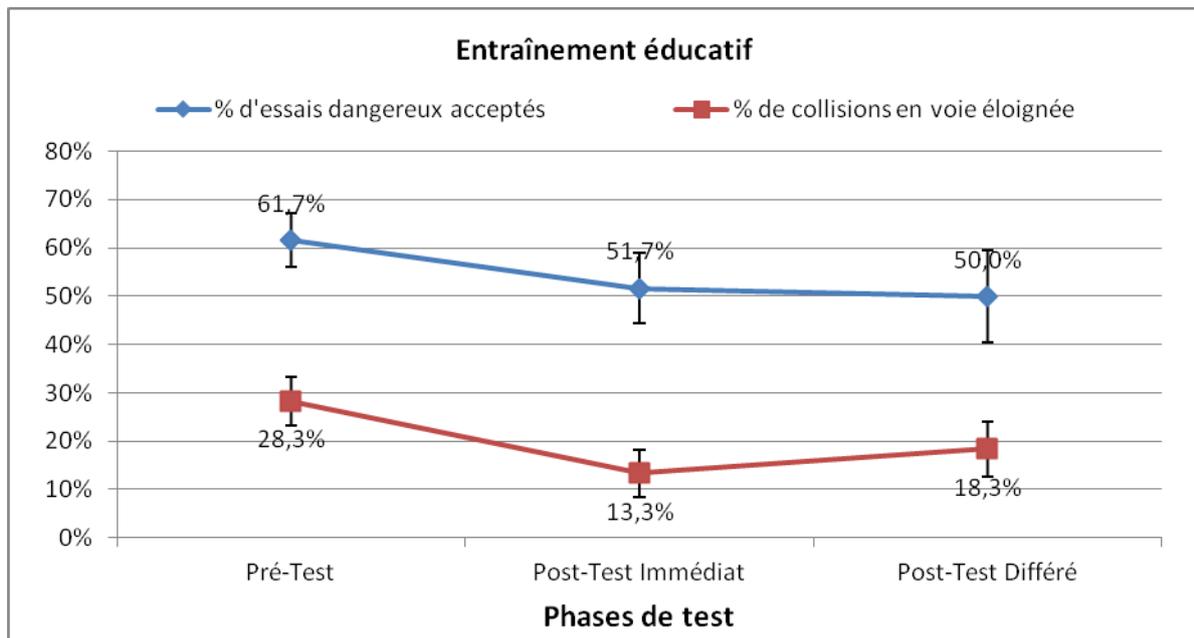


L'effet de la vitesse d'approche des véhicules continue également d'être observé aux trois phases de test. Ainsi, les essais dangereux sont davantage acceptés lorsque les véhicules roulent à 60km/h (M = 75,3 % ; ET = 9,2 %) plutôt qu'à 40 km/h (M = 48,1 % ; ET = 9,2 % ;  $F(1,8) = 13.35$  ;  $p < .05$ ), et cet effet de la vitesse s'observe autant en phase de pré-test, que de post-test immédiat, et que de post-test différé (interaction double Phase de test x Vitesse non significative :  $F(2,16) = 0.03$  ;  $p > .05$ ). L'effet du facteur Vitesse n'a par contre pas pu être examiné par une analyse de variance sur les pourcentages de collisions car il n'y a eu aucune collision en voie éloignée au post-test différé lorsque les véhicules roulaient à 40 km/h. Cependant, les observations tendent à montrer que les collisions en voie éloignée sont plus nombreuses lorsque les véhicules roulent à 60 km/h plutôt qu'à 40 km/h autant en phase de pré-test, que de post-test immédiat, et que de post-test différé.

### 5.3.4 Entraînement éducatif.

L'entraînement éducatif engendre également des bénéfices à court et moyen termes (cf. Figure 22 ci-dessous). Les participants ont ainsi accepté moins d'essais dangereux 6 mois après avoir bénéficié de cet entraînement plutôt qu'avant (cf. Figure 22 ci-dessous,  $F(1,9) = 2.71$  ;  $p = 0.06$ ). Le bénéfice est stable au cours du temps puisque le pourcentage d'essais dangereux acceptés ne diffère pas significativement entre le post-test immédiat ( $M = 51,7\%$  ;  $ET = 7,2\%$ ) et le post-test différé ( $M = 50,0\%$  ;  $ET = 9,6\%$ ) :  $F(1,9) = 0.07$  ;  $p > .05$ . Le même type de résultats s'observe concernant le pourcentage de collisions en voie éloignée qui est nettement moins important lors des post-tests que lors du pré-test (cf. Figure 22 ci-dessous,  $F(1,9) = 8.19$  ;  $p < .05$ ). Le bénéfice se maintient dans le temps avec des pourcentages de collisions en voie éloignée qui ne diffèrent pas significativement entre le post-test immédiat ( $M = 13,3\%$  ;  $ET = 4,8\%$ ) et le post-différé ( $M = 18,3\%$  ;  $ET = 5,8\%$ ) :  $F(1,9) = 1.00$  ;  $p > .05$ .

**Figure 22 : Effet de l'entraînement éducatif à court et moyen termes sur le pourcentage d'essais dangereux acceptés et le pourcentage de collisions en voie éloignée (moyennes et erreur-types).**



L'effet de la vitesse d'approche des véhicules est également observé aux trois phases de test. Les essais dangereux sont davantage acceptés lorsque les véhicules roulent à 60 km/h (M = 71,1 % ; ET = 6,9 %) plutôt qu'à 40 km/h (M = 37,8 % ; ET = 8,3 %,  $F(1,9) = 17.61$  ;  $p < .05$ ), et cet effet de la vitesse s'observe autant en phase de pré-test, que de post-test immédiat, et que de post-test différé (interaction double Phase de test x Vitesse non significative :  $F(2,18) = 1.49$  ;  $p > .05$ ). De même, les collisions en voie éloignée sont plus nombreuses lorsque les véhicules roulent à 60 km/h (M = 32,2 % ; ET = 7,3 %) que lorsqu'ils roulent à 40 km/h (M = 7,8% ; ET = 2,9% ;  $F(1,9) = 11.58$  ;  $p < .0$ ), et cet effet de la vitesse s'observe autant en phase de pré-test, que de post-test immédiat, et que de post-test différé (interaction double Phase de test x Vitesse non significative :  $F(2,18) = 0.96$  ;  $p > .05$ ).

## 6 Discussion.

A l'issue des deux étapes d'expérimentation, nous discutons d'abord nos résultats concernant les principales difficultés rencontrés par les participants âgés dans une situation de traversée avec trafic à double sens de circulation et avec déplacement réel du piéton (cf. 4; rappelons à ce sujet que notre toute première expérimentation dans le cadre du présent projet utilisait seulement une tâche d'estimation de la possibilité de traverser sans déplacement effectif, voir les deux premiers rapports du projet, cf. Langevin et al., 2010). Nous discutons ensuite l'efficacité des trois méthodes d'entraînement que nous avons testées.

### 6.1 Effets de l'âge, de la vitesse d'approche des véhicules et de la complexité du trafic.

Les résultats obtenus montrent tout d'abord que l'âge est un facteur de risque important. Les participants âgés ont accepté autant de fois que les participants jeunes de traverser la rue expérimentale alors qu'ils marchent beaucoup plus lentement. Les participants âgés se sont donc retrouvés plus souvent que les participants jeunes dans des situations périlleuses, et ont ainsi émis plus de décisions qui ont mené à des collisions virtuelles avec les véhicules à l'approche. Ces résultats vont dans le même sens que ceux des travaux antérieurs de la littérature (Dommes & Cavallo, 2011, 2012; Holland & Hill, 2010 ; Oxley et al., 1997, 2005).

Les résultats confirment également la vitesse d'approche des véhicules comme un autre facteur de risque, notamment pour les piétons seniors. Alors que le pourcentage de collisions ne varie pas en fonction de la vitesse chez les participants jeunes, les participants âgés ont émis plus de décisions menant à des collisions à mesure que la vitesse d'approche des véhicules augmentait. Ce résultat corrobore l'effet robuste de la vitesse que l'on retrouve dans la plupart des travaux antérieurs (Dommes & Cavallo, 2011 ; Lobjois & Cavallo, 2007, 2009 ; Oxley et al., 2005). Les piétons âgés tendent en effet à adopter des heuristiques simplificatrices en fondant leurs décisions de traverser essentiellement sur la distance disponible, négligeant alors les informations relatives à la vitesse. S'ils acceptent plus souvent de traverser à vitesse élevée, c'est surtout que les distances qui les séparent des véhicules approchant le sont également. Ainsi, pour un intervalle de temps donné, la distance du véhicule à l'approche est nécessairement plus grande à vitesse élevée qu'à vitesse lente. Les grandes distances associées aux vitesses élevées mènent les piétons âgés à penser qu'ils ont le temps de traverser. Mais le temps d'arrivée du véhicule à leur hauteur est alors surestimé, et la décision de traverser la rue dangereuse.

La complexité du trafic s'est également révélée être un facteur de risque important, et cela d'autant plus pour les piétons âgés. Les participants âgés ont émis significativement plus de décisions menant à des collisions avec les véhicules à l'approche dans la voie éloignée plutôt que dans la voie proche. Au contraire des participants âgés, les pourcentages de collisions des participants jeunes ne différaient pas significativement d'une voie à l'autre de circulation des véhicules. Ces résultats vont dans le sens des études observationnelles (Fontaine & Gourlet, 1997 ; Oxley et al., 1997) suggérant des difficultés particulières avec l'âge à gérer la seconde partie de la traversée et un manque de prise en compte du trafic dans la seconde voie. Une analyse plus fine des intervalles de temps sélectionnés par les participants pour traverser la rue expérimentale révèle des différences inter-âges en termes

de critère de décision. Au contraire des participants plus jeunes, les participants âgés émettent des choix de traversée de rue principalement basés sur le gap disponible en voie proche, et cela sans prendre en compte la voie éloignée. On observe ainsi que la proportion de traversées de rue acceptées augmente à mesure que le gap disponible en voie proche augmente, et cela indépendamment du gap disponible en voie éloignée. Alors que les participants jeunes prennent en compte le trafic approchant des deux voies de circulation, les participants âgés ne tiennent compte que du trafic présent sur la voie proche, quitte à se mettre en danger sur la voie éloignée. Ces résultats mettent en lumière la configuration de trafic qui pose le plus de difficultés aux participants âgés, i.e. les situations où l'intervalle de temps disponible entre les véhicules à l'approche est suffisant en voie proche mais trop court en voie éloignée : 70% des collisions chez les participants âgés avaient eu lieu dans ce type de situation.

Les trois facteurs âge, vitesse et complexité du trafic ne semblent par contre pas interagir tous les trois ensemble. Les participants âgés ont en effet plus de difficultés que les jeunes à prendre en compte la vitesse d'approche des véhicules dans leurs décisions, mais pas plus en voie éloignée qu'en voie proche. On retient donc deux difficultés distinctes avec l'âge : (i) prendre en compte la vitesse d'approche des véhicules dans la décision de traverser la rue ; et (ii) prendre en compte la seconde voie où circulent les véhicules dans la décision de traverser la rue. Ces difficultés pourraient globalement témoigner du déclin de la vitesse de traitement et des capacités attentionnelles avec l'âge. Il devient en effet très difficile pour les âgés, dans le temps imparti, de prendre en compte plusieurs sources d'informations simultanément, et ils ne parviennent plus à extraire les informations pertinentes de celles qui ne le sont pas dans l'environnement. Pour tester cette hypothèse, une étude avait d'ailleurs été menée et les résultats avaient été présentés dans le rapport 2 de la convention Ifsttar / Fondation Sécurité Routière (cf. Langevin et al., 2010). En plus de répondre à une tâche d'estimation de traversée de rue sur simulateur, les participants jeunes et âgés avaient également répondu à une batterie de tests perceptifs, cognitifs et moteurs. Les résultats montraient que la majoration du nombre de collisions chez les piétons les plus âgés était expliquée à la fois par le déclin avec l'âge de la vitesse de traitement et des capacités d'attention visuelle (sélective et divisée), la baisse de l'acuité visuelle ainsi que le ralentissement de la vitesse de marche. La vitesse de traitement et les capacités attentionnelles avaient été évaluées par l'intermédiaire du test UFOV® ("Useful Field of View®", Ball et al., 1988, 1993) connu pour être très prédictif du nombre d'accidents automobiles (Ball & Owsley, 1993 ; Ball et al., 1993 ; Owsley et al., 1998) et de troubles de la mobilité (Owsley & McGwin, 2004).

## 6.2 Vers l'amélioration de la sécurité des piétons âgés ?

Pour faire suite à ces travaux, la seconde étape du projet visait à proposer et tester expérimentalement l'efficacité de plusieurs méthodes d'entraînement pour améliorer la sécurité des seniors lorsqu'ils traversent la rue. L'idée était soit de ré-entraîner les capacités fonctionnelles identifiées comme déclinant avec l'âge et contribuant aux difficultés des piétons seniors (ex. vitesse de traitement et capacités attentionnelles), soit de ré-entraîner les comportements à risque directement sur un simulateur de traversée de rue ou par le biais d'une intervention éducative.

Trois types d'entraînement ont ainsi été testés : (i) un entraînement perceptivo-cognitif (UFOV® Training) ciblé sur les capacités de vitesse de traitement et les capacités attentionnelles; (ii)

un entraînement comportemental ciblé sur le comportement à réhabiliter par la pratique répétée de l'activité de traversée de rue sur simulateur; et (iii) et un entraînement éducatif ciblé sur la prise de conscience des dangers encourus en traversant la rue et des indices importants à prendre en compte, mais sans pratique effective de l'activité. Un groupe contrôle ne bénéficiant d'aucune intervention a également été recruté. Tous les groupes répondaient, à des intervalles de temps identiques, à une tâche test de traversée de rue sur simulateur avant de prendre part à un programme d'entraînement (pré-test), tout de suite après (post-test immédiat) et 6 mois après (post-test différé), le groupe contrôle répondant également trois fois au test et à des temps identiques aux groupes entraînés.

Alors que le ré-entraînement des capacités d'attention visuelle par l'UFOV® Training s'est déjà révélé efficace dans le domaine de la conduite automobile (Ball et al., 2010 ; Roenker et al, 2003), ce type d'entraînement n'avait jusqu'alors jamais été testé dans le domaine de la traversée de rue. Malgré nos attentes, les résultats de nos études montrent qu'un entraînement perceptivo-cognitif via le logiciel d'UFOV® Training (Ball et al., 1988 ; Edwards et al., 2002) est inefficace pour améliorer significativement la sécurité des traversées de rue des piétons séniors. L'amélioration nette des capacités d'attention visuelle à l'UFOV® Test que nous avons pourtant observée chez les participants entraînés à l'UFOV® Training ne s'est donc pas transférée sur leurs comportements de traversée de rue : nous n'observons pas d'améliorations significatives des décisions et comportements de traversée de rue chez les participants ayant bénéficié de l'entraînement perceptivo-cognitif entre le pré-test et les post-tests (ni tout de suite après l'entraînement ni 6 mois après). Nous observons de légers gains de sécurité, mais ils ne sont pas significatifs. Aussi, il est fortement probable que l'amélioration du comportement de traversée de rue soit sous-tendue par des processus cognitifs beaucoup plus complexes que ceux entraînés dans l'UFOV® Training.

Au contraire, l'entraînement comportemental et l'entraînement éducatif se sont révélés tous les deux être significativement bénéfiques à l'amélioration de la sécurité des décisions des piétons âgés. En effet, nous avons observé chez les participants ayant suivi ces deux méthodes d'entraînement une diminution significative des essais dangereux acceptés, et une diminution significative des collisions en voie éloignée. Ces bénéfices perduraient dans le temps, avec globalement moins de risques encourus même six mois après les entraînements.

### **6.2.1 Effet de la pratique.**

Par la pratique répétée de l'activité, l'entraînement comportemental sur simulateur s'est révélé être une méthode efficace pour améliorer la sécurité des décisions de traversée de rue des piétons âgés. Mais il faut souligner que nous avons également observé chez les participants ayant suivi l'entraînement perceptivo-cognitif, tout comme chez les participants du groupe contrôle, des tendances aussi à l'amélioration de leurs comportements. Bien que ces tendances ne soient pas significatives, il est tout de même remarquable que les participants du groupe contrôle et ceux du groupe perceptivo-cognitif ont accepté un peu moins d'essais dangereux et ont émis moins de décisions menant à des collisions lors des deux séances de post-test.

Ces résultats laissent à penser que l'ensemble des effets observés suite aux divers entraînements, effets significatifs ou tendanciels, pourraient se résumer à l'effet bénéfique de la

pratique répétée de l'activité. La répétition du test de traversée de rue sur simulateur aux séances de pré-test, post-test immédiat et post-test différé peut en réalité consister en quelque sorte en un entraînement en tant que tel, par la répétition de la tâche puisque le même test est effectué trois fois par chaque participant, quel que soit son groupe. L'amélioration inhérente à la pratique de la tâche test sur simulateur devrait évidemment être plus importante chez les participants ayant bénéficié de l'entraînement comportemental qui, lui, comportait au total 5 itérations de la tâche, soit au total 230 essais de traversée de rue. Pour être validée, cette hypothèse nécessite des investigations supplémentaires puisque nous n'avons pas pu comparer statistiquement les groupes entre eux en raison de la petite taille de nos échantillons et de l'importance de la variance entre les sujets.

Les résultats obtenus semblent toutefois aller dans ce sens : tous les participants ont émis moins de décisions menant à des collisions virtuelles (de manière significative ou non) lors du post-test immédiat que comparativement à avant les entraînements. Mais ceux ayant bénéficié de l'entraînement comportemental, donc ceux ayant le plus de pratique, sont les seuls à passer sous le seuil des 10% de collisions (les autres groupes tournant autour de 18% en moyenne). Tous les participants auraient donc bénéficié d'un "entraînement comportemental" par l'intermédiaire de la répétition de la tâche test de traversée de rue lors des différentes phases de l'étude, mais ceux ayant bénéficié de l'entraînement comportemental à proprement parlé auraient par contre bénéficié d'un apprentissage plus intensif, engendrant une amélioration des traversées plus importante. Avant de conclure sur cet effet de la pratique, il est toutefois nécessaire de tester spécifiquement cet effet en contrastant, par exemple, plusieurs groupes de participants en fonction du nombre de répétitions sur la tâche de traversée.

Ces résultats en faveur de la pratique répétée vont dans le sens des travaux antérieurs de l'équipe (Dommes & Cavallo, 2012 ; Dommes et al., 2012). Un entraînement mixte associant des composantes comportementales et éducatives avait en effet été proposé à une population âgée, par la pratique répétée de l'activité sur notre ancien simulateur de traversée de rue à sens unique, la sensibilisation des participants aux dangers de la traversée de rue et le ré-apprentissage des règles de sécurité accompagné d'un feed-back explicite sur leur marge de sécurité (prudente ou dangereuse). Les résultats montraient un effet bénéfique du programme d'entraînement sur la sécurité globale des comportements et des décisions de traversée de rue des 20 participants qui en avaient bénéficié, à court et long terme (6 mois après l'intervention). Les piétons âgés étaient devenus globalement plus prudents après l'entraînement. Alors qu'il nous était impossible de départager l'influence de la composante comportementale de la composante éducative dans nos travaux antérieurs (Dommes & Cavallo, 2012 ; Dommes et al., 2012), il est présentement possible de le faire. Les résultats des présents travaux de recherche montrent en effet que tant la composante comportementale (répétition de l'activité) qu'éducative (par la prise de conscience des dangers encourus) sont efficaces pour améliorer la sécurité globale des piétons âgés.

### **6.2.2 Intervention éducative.**

Les participants ayant bénéficié de l'entraînement éducatif ont en effet aussi présenté une amélioration significative de leurs traversées, avec moins d'essais dangereux acceptés et moins de

collisions en voie éloignée. Ces bénéfices perduraient dans le temps, puisqu'ils étaient également présents lors du post-test différé six mois après l'intervention éducative.

Les participants ayant bénéficié de la méthode d'entraînement éducatif ont, pour la grande majorité d'entre eux, bien compris le but de l'intervention et les messages de prévention qu'elle transmettait. Par ailleurs, ces participants ont globalement réussi les exercices proposés pendant la phase de sensibilisation qui consistaient à identifier les facteurs de risque tels la vitesse ou la complexité du trafic. Globalement, les connaissances des participants sur les enjeux de la sécurité des traversées de rue semblaient s'être améliorées après l'entraînement, même si ces connaissances n'ont pas été objectivement mesurées. Ces résultats vont dans le sens de certains travaux menés sur l'efficacité des interventions éducatives auprès de conducteurs âgés (Bédard, Isherwood, Moore, Gibbons, & Lindstrom, 2004 ; Owsley, McGwin, Phillips, McNeal, & Stalvey, 2004 ; Owsley, Stalvey, & Phillips, 2003). Ces derniers montrent en effet que les conducteurs âgés déclarent plus souvent adopter des comportements d'auto-régulation (ex. moins conduire, éviter la nuit, le trafic dense, la pluie, etc.) après avoir participé à une intervention éducative.

Si les connaissances sont meilleures, et la sécurité globalement améliorée par une plus grande prudence, la question est surtout de savoir si les difficultés spécifiques que les seniors éprouvaient avant l'entraînement sont bien réduites.

### **6.3 Vers une meilleure prise en compte de la vitesse d'approche des véhicules et de la voie éloignée où circule également le trafic ?**

Malgré une amélioration générale des traversées, par une plus grande prudence insufflée via la répétition de l'action ou l'intervention éducative, les méthodes d'entraînement comportemental ou éducatif se sont en réalité révélées bénéfiques que dans une certaine mesure. Les participants ont en effet persisté à prendre des décisions dangereuses à vitesse élevée. Même si c'est dans une moindre mesure, l'effet de la vitesse persistait à se manifester dans les décisions et comportements des seniors après leurs entraînements. D'autre part, et malgré une amélioration significative de leurs comportements, ces participants ont tout de même continué à accepter environ la moitié des situations dangereuses qui leur ont été présentées : le nombre de collisions en voie éloignée a significativement diminué sans toutefois atteindre le seuil de zéro.

L'inefficacité de l'intervention éducative à améliorer la prise en compte de la vitesse ou de la voie éloignée dans les décisions et comportements des piétons seniors converge vers les résultats antérieurs de certains travaux menés chez le piéton enfant ou chez le conducteur âgé. En effet, si les interventions éducatives basées sur l'acquisition de règles de sécurité prévalent dans bon nombre d'études chez l'enfant (e.g. Cross et al., 2000), leur efficacité a été remise en cause dans leur capacité à se transférer concrètement au comportement même de traversée de rue, sur simulateur ou dans le monde réel (cf. Wells, Downing & Bennett, 1979 cités par Young & Lee, 1987). L'amélioration de la sécurité des traversées de rue doit en effet comprendre la pratique et l'action effective de l'activité. De la même manière, les récents travaux de Romoser & Fisher (2009) montrent l'inefficacité d'un entraînement éducatif auprès de conducteurs âgés de plus de 70 ans pour améliorer leurs compétences particulières de scanning visuel en intersection. Si les interventions éducatives permettent aux conducteurs âgés d'accroître leurs connaissances sur les enjeux et facteurs causaux

d'un accident, elles ne se transfèrent pas réellement dans la sécurité de leurs comportements de conduite. Des travaux montrent par exemple que si les conducteurs âgés peuvent ainsi mettre en place des comportements d'auto-régulation après avoir bénéficié d'une intervention éducative, leur taux d'implication dans des collisions ne se trouve pas pour autant réduit dans les deux années qui suivent l'entraînement (Owsley, McGwin, Phillips, McNeal, & Stalvey, 2004).

L'inefficacité de l'entraînement comportemental à améliorer la prise en compte de la vitesse ou de la voie éloignée va dans le sens des résultats antérieurs de nos travaux de recherche (Dommes & Cavallo, 2012 ; Dommes et al., 2012). En effet, nous avons déjà observé, dans la situation plus simple de sens unique, qu'un entraînement par pratique répétée de l'activité sur simulateur à sens unique ne permettait pas de remédier au défaut des piétons âgés à négliger la vitesse des véhicules approchant dans leurs décisions. Ainsi, la pratique répétée ne semble pas suffisante pour modifier profondément les prises de décision des piétons âgés.

Plus globalement, l'absence d'efficacité des méthodes d'entraînement cognitif, comportemental ou éducatif à modifier profondément la prise de décision des piétons âgés pourrait être liée à des stratégies ancrées dans des habitudes depuis de nombreuses années déjà. Les personnes âgées sont connues pour souffrir d'un déclin de flexibilité cognitive (Salthouse et al., 2003) et d'une certaine rigidité mentale, qui rendraient alors la modification de stratégies profondément ancrées dans des habitudes difficiles à modifier.

Les stratégies des piétons âgés sont surtout simplificatrices, par le fait de baser leur décision de façon prédominante sur la distance des véhicules approchant ou de réduire le coût cognitif de la prise de décision en se concentrant essentiellement sur la voie proche. Si elles sont simplificatrices, c'est sans doute que ces stratégies sont le reflet de déclin perceptifs et cognitifs irrémédiablement liés à l'avancée en âge, et que nos méthodes, par nature, ne sont pas capables de réhabiliter.

## 7 Conclusions et recommandations.

Alors que les piétons âgés montrent des difficultés particulières à prendre en compte la vitesse des véhicules à l'approche dans leur prise de décision, et, d'autre part, à prendre en considération la circulation sur la voie éloignée, leur amélioration par le biais de l'entraînement s'avère limitée. Trois méthodes d'entraînement à destination des piétons âgés avaient en effet été élaborées et testées. Malgré des résultats encourageants et une amélioration globale de la sécurité des comportements, par des décisions plus prudentes avec le temps et la pratique, les difficultés à prendre en compte la vitesse et la voie éloignée persistent. La persistance de ces difficultés semblerait liée à des stratégies décisionnelles trop fortement ancrées dans des habitudes et qui seraient surtout le reflet de déclins perceptifs et cognitifs que nos méthodes n'ont pas pu réhabiliter.

Ces résultats nous amènent à reconsidérer la pertinence d'un entraînement à destination des piétons seniors. Il paraît trop ardu de modifier profondément leurs comportements de traversée de rue et de les adapter aux conditions de circulation et de trafic qu'ils ne peuvent plus gérer. A l'instar d'une conception centrée sur l'utilisateur ("user-centered design"), il semble plus pertinent d'adapter les infrastructures et les véhicules aux usagers de la route les plus vulnérables, et non l'inverse. Certains types d'aménagement paraissent ainsi être particulièrement adaptés aux piétons seniors, et plus généralement aux piétons les plus vulnérables. Promouvoir les voies à sens unique ou mettre en place des terre-pleins centraux au milieu de voies larges où circulent plusieurs files de véhicules à sens opposés semblent être des solutions pertinentes à l'amélioration de la sécurité des piétons les plus vulnérables. L'îlot central permet notamment de diviser la traversée en deux temps, écartant ainsi le défaut de prise en compte de la voie éloignée chez les piétons âgés. Il offre également un espace sécurisé aux piétons entre les voies à traverser, ce qui est particulièrement adapté aux plus âgés dont la vitesse de marche est réduite. Pour palier le manque de prise en compte de la vitesse d'approche des véhicules dans la prise de décision de traverser la rue, promouvoir le développement des "zones 30" ou l'installation de ralentisseurs paraît également être particulièrement adapté à la sécurité des piétons seniors. Enfin, l'adaptation de l'environnement aux usagers les plus vulnérables peut se réaliser par l'intermédiaire de dispositions prises à l'égard des véhicules. Dans cette optique, le développement des systèmes de détection/évitement de piétons et de limiteur de vitesse paraissent pertinents à développer à l'intérieur des véhicules, tout comme des systèmes portables par les piétons pour détecter des collisions potentielles avec des véhicules.

## 8 Références bibliographiques.

- Ball, K., Edwards, J., & Ross, L. (2007). The impact of speed of processing on cognitive and everyday functions. *Journal of Gerontology: SERIES B, 62B (special issue 1)*, 19-31.
- Ball, K., Edwards, J. D., Ross, L. A., & McGwin, J. G. (2010). Cognitive Training Decreases Motor Vehicle Collision Involvement of Older Drivers. *Journal of the American Geriatrics Society, 58*, 2107-2113.
- Ball, K., & Owsley, C., (1993). The useful field of view test: A new technique for evaluating aged-related declines in visual functions. *Journal of the American Optometric Association, 64*, 71-79.
- Ball, K., Owsley, C., Sloane, M. E., Roenker, D. L., & Bruni, J. R. (1993). Visual attention problems as a predictor of vehicle crashes in older drivers. *Investigative Ophthalmology and Visual Science, 34*, 3110–3123.
- Barton, B.K, Schwebel, D.C., & Morrongiello, B.A. (2007). Brief report: increasing children’s safe behavior through simple skills training. *Journal of Pediatric Psychology, 32 (4)*, 475-480.
- Bédard, M., Isherwood, I., Moore, E., Gibbons, C., & Lindstrom, W. (2004). Evaluation of a re-training program for older drivers. *Canadian Journal of Public Health, 95*, 295-298.
- Burg, A. (1968). Lateral visual field as related to age and sex. *Journal of Applied Psychology, 52(1)*, 10-15.
- Cassavaugh, N. D., & Kramer, A. F. (2009). Transfer of computer-based training to simulated driving in older adults. *Applied Ergonomics, 40*, 943-952.
- Cross, D., Stevenson, M., Hall, M., Burns, S., Laughlin, D., Officer, J., & Howat, P. (2000). Child pedestrian injury prevention project: Student results. *Preventive Medecine, 30*, 179-187.
- DeLucia, P.R., Bleckley, M.K., Meyer, L.E., & Bush, J. M. (2003). Judgments about collision in younger and older drivers. *Transportation Research: Part F, 6*, 63-80.
- Dommes, A., & Cavallo, V. (2011). The role of perceptual, cognitive, and motor abilities in street-crossing decisions of young and older pedestrians. *Ophthalmic and Physiological Optics, 31*, 292-301.
- Dommes, A., & Cavallo, V. (2012). Can simulator-based training improve older pedestrians’ safety? *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour. 15*, 206-218.
- Dommes A., Cavallo V., Vienne F, Aillerie I. (2012). Age-related differences in street-crossing safety before and after training of older pedestrians. *Accident Analysis and Prevention, 44*, 42-47.
- Dommes, A., Langevin, S., Cavallo, V., Oxley, J., & Vienne, F. (2011). The effect of traffic complexity and speed on young and elderly pedestrians’ street-crossing decisions. *Proceedings of The 6th*

*International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, training, and Vehicle Design*. Californie, USA, 27-30 Juin 2011, pp. 635-642.

- Edwards, J. D., Wadley, V. G., Vance, D. E., Roenker, D. L., & Ball, K. K. (2005). The impact of speed of processing training on cognitive and everyday performance. *Aging and Mental Health*, 9, 262-271.
- Folstein, M. F., Folstein, S. E. & McHugh, P. R. (1975). Mini-mental state: a practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*, 12 (3), 189-198.
- Fontaine, H., & Gourlet, Y. (1997). Fatal pedestrians accident in France: a typological analysis. *Accident Analysis and Prevention*, 29, 303-312.
- Hasher, L., & Zacks, R.T. (1988). Working memory, comprehension, and aging: a review and a new view. In Bower, G.H., (Eds.), *The Psychology of Learning and Motivation* (pp. 193-225). San Diego, Calif: Academic Press.
- Holland, C., & Hill, R. (2010). Gender differences in factors predicting unsafe crossing decision in adult pedestrians across the lifespan: a simulation study. *Accident Analysis and Prevention*, 42, 1097-1106.
- Korner-Bitensky, N., Kua, A., von Zweck, C., & Van Benthem, K. (2009). Older driving retraining: an updated review of evidence of effectiveness. *Journal of Safety Science*, 40, 105-111.
- Kramer, A.F., Hahn, S., & Gopher, D. (1999). Task coordination and aging: explorations of executive processes in the task switching paradigm. *Acta Psychologica*, 101, 339-378.
- Kramer, A.F., Humphrey, D.G., Larish, J.F., Logan G.D., & Strayer, D.L. (1994). Aging and inhibition: Beyond a unitary view of inhibitory processing in attention. *Psychology and Aging*, 9, 491-512.
- Langevin, S., Dommès, A. Cavallo, V., Oxley, J., & Vienne, F. (2011). Cognitive, perceptual and motor decline as predictors of risky street-crossing decisions in older pedestrians. Proceedings of *The 6th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, training, and Vehicle Design*. Californie, USA, 27-30 Juin 2011, pp. 409-416.
- Langevin, S., Dommès, A., Cavallo, V., Vienne, F., & Oxley, J. (2010). *Méthodologie d'étude du lien entre déclin cognitif, perceptif et moteur liés au vieillissement sur le comportement de traverse de rue avec un trafic à double sens*. Rapport intermédiaire n°1, Projet SEPIA, Convention INRETS/Fondation Sécurité Routière, septembre 2010.
- Langevin, S., Dommès, A., Cavallo, V., Vienne, F., Mestre, D., & Martha, C. (2010). *Impacts du déclin cognitif, perceptif et moteur liés au vieillissement sur le comportement de traverse de rue avec un trafic à double sens: résultats de l'expérimentation*. Rapport intermédiaire n°2, Projet SEPIA, Convention INRETS/Fondation Sécurité Routière décembre 2010.
- Langevin, S., Dommès, A., Cavallo, V., Vienne, F., & Mestre, D. (2011). *Comparaison de l'efficacité de deux méthodes d'entraînement pour améliorer la sécurité des piétons âgés lors de la traversée*

de rue : *Méthodologie de l'étude*. Rapport intermédiaire n°3, Projet SEPIA, Convention INRETS/Fondation Sécurité Routière, juin 2011.

- Lobjois R, & Cavallo V. (2009). The effects of aging on street-crossing behavior: from estimation to actual crossing. *Accident Analysis and Prevention* 41 (2), 259-267.
- Lobjois R. & Cavallo V. (2007). Age-related differences in street-crossing decisions: The effects of vehicle speed and time constraints on gap selection in an estimation task. *Accident Analysis and Prevention*, 39, 934-943.
- Miyake, A., Friedman, N.P., Emerson, A.H., Howerter, S. & Wager, T.D. (2000) The unity and diversity of executive functions and their contribution to complex « frontal lobe » tasks : A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49-100.
- Owsley C, Ball K, McGwin GJ, Sloane ME, roenker DL, White MF, Overley ET (1998). Visual processing impairment and crash risk among older adults. *JAMA*, 279, 1083-1088.
- Owsley, C., & McGwin, G. (2004). Association Between Visual Attention and Mobility in Older Adults. *Journal of the American Geriatrics Society*, 52 (11), 1901-1906.
- Owsley, C., McGwin, G., Jr., Phillips, J. M., McNeal, S. F., & Stalvey, B. T. (2004). Impact of an Educational Program on the Safety of High-Risk, Visually Impaired, Older Drivers. *American Journal of Preventive Medicine*, 26, 222-229.
- Owsley, C., Stalvey, B. T., & Phillips, J. M. (2003). The efficacy of an educational intervention in promoting self-regulation among high-risk older drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 35, 393-400.
- Oxley JA, Fildes B, Ihsen E, Charlton J & Day R. (1997). Differences in traffic judgments between young and old adult pedestrians. *Accident Analysis and Prevention*, 29, 839-847.
- Oxley JA, Ihsen E, Fildes B N, Charlton J L. & Day RH. (2005). Crossing roads safely: An experimental study of age differences in gap selection by pedestrians. *Accident Analysis and Prevention*, 37, 962-971.
- Parasuraman R., Greenwood P.M. (1998). Selective attention in aging and dementia. In: Parasuraman R., ed., *The attentive brain*. Cambridge: MIT Press: 461-487.
- Roenker, D.L., Cissel G.M., Ball, K.K., Wadley, V.G., & Edwards J.D. (2003). Speed-of-processing and driving simulator training result in improved driving performance. *Human Factors*, 45 (2), 218-233.
- Romoser M, & Fisher D (2009). The effect of active versus passive training strategies on improving older drivers' scanning in intersections. *Human Factors*, 51 (5), 652-668.
- Rothengatter T. (1984) a behavioural approach to improving traffic behaviour of young children. *Ergonomics*, 27, 147-60.
- Rubin GS, West SK, Munoz B, Bandeen-Roche K, Zeger S, Schein O, Fried LP, & the SEE Project team (1997). A comprehensive assessment of visual impairment in a population of older Americans. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 38, 557-568.

- Salthouse, T.A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in recognition. *Psychological Review*, 103, 403-427.
- Salthouse, T.A., Atkinson, T.M. & Berish, D.E. (2003). Executive functioning as a potential mediator of age-related cognitive decline in normal adults. *Journal of Experimental Psychology*, 4, 566-594.
- Schwebel D, & McClure L. (2010). Using virtual reality to train children in safe street-crossing skills. *Injury Prevention*, 16, 1-5.
- Snowden, R.J., & Kavanagh, E. (2006). Motion perception in the ageing visual system: Minimum motion, motion coherence, and speed discrimination thresholds. *Perception*, 35 (1), 9-24.
- Spirduso, W. W., Francis, K.L., MacRae, P.G. (2005). *Physical dimensions of aging* (2nd). Champaign, Ill.; United States: Human Kinetics Publishers.
- Stern, Y. (2002). What is cognitive reserve? *Journal of the International Neuropsychological Society*, 8, 448-460.
- Stern, Y. (2003). The concept of cognitive reserve: A catalyst for research. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 25(5), 589-593.
- Thomson J.A., Tolmie A.K., Foot, H.C., Sarvary P., Whelan K.M., & Morrison, S. (2005). Influence of virtual reality training on the roadside crossing judgments of child pedestrians. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 11, 175-186.
- Verhaegen P. & Cerella J. (2002). Aging, executive control and attention: a review of meta-analyses. *Neuroscience Behavioral Review*, 26, 849-857.
- Wolf, E. (1967). Studies on the shrinkage of the visual field with age. *Transportation Research Record*, 164, 1-7.
- Young D.S. & Lee D.N. (1987). Training children in road crossing skills using a roadside simulation. *Accident Analysis and Prevention*, 19 (5), 327-341.
- Zimmerman P. & Fimm B. (2009). *Tests d'évaluation de l'attention*. Freiburg: Psytest.