



Institut national de recherche sur
les transports et leur sécurité

Aurélie DOMMES (INRETS-LPC)
Viola CAVALLO (INRETS-LPC)
Fatma BOUSTELITANE (INRETS-LPC)
Fabrice VIENNE (INRETS-MSIS)
Stéphane CARO (INRETS-LPC)
Roland DONAT (INRETS LTN/DIAG)
Claude PERROT (INRETS-LPC)

LA TRAVERSÉE DE RUE CHEZ LE PIÉTON ÂGÉ

Effets d'une méthode réentraînement sur simulateur

*Rapport final n° 3 de convention
Inrets/Fondation Maif
Octobre 2008*

Aurélie DOMMES (INRETS-LPC)
Viola CAVALLO (INRETS-LPC)
Fatma BOUSTELITANE (INRETS-LPC)
Fabrice VIENNE (INRETS-MSIS)
Stéphane CARO (INRETS-LPC)
Roland DONAT (INRETS LTN/DIAG)
Claude PERROT (INRETS-LPC)

LA TRAVERSÉE DE RUE CHEZ LE PIÉTON ÂGÉ

Effets d'une méthode réentraînement sur simulateur

*Rapport final n° 3 de convention
Inrets/Fondation Maif
Octobre 2008*

INRETS/RE-08-008

INRETS/RE-08-008

Les auteurs :

Aurélie DOMMES ¹
Viola CAVALLO ¹
Fatma BOUSTELITANE¹
Fabrice VIENNE ²
Stéphane CARO ¹
Roland DONAT ³
Claude PERROT ¹

Les Unités de recherche :

¹ INRETS

Laboratoire de Psychologie de la Conduite
2, Avenue du Général Malleret-Joinville F-94114 Arcueil
Tel. : 01 47 40 70 00 - FAX : 01 45 47 56 06
Email : aurelie.dommes@inrets.fr
viola.cavallo@inrets.fr
fatma.boustelitane@inrets.fr
stephane.caro@inrets.fr
claude.perrot@inrets.fr

² INRETS- L.C.P.C. (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées)

Modélisations, Simulations et Simulateurs de conduite
58 boulevard Lefebvre F-75732 Paris Cedex 15
Tel. : 01 40 43 65 86
Email : fabrice.vienne@inrets.fr

³ INRETS

Laboratoire des Technologies Nouvelles
2, Avenue du Général Malleret-Joinville F-94114 Arcueil
Tel. : 01 47 40 70 00 - FAX : 01 45 47 56 06
Email : roland.donat@inrets.fr

Table des matières

Table des matières	1
Table des illustrations	3
Synthèse	5
Préambule	7
Chapitre I. : État de la question	9
1. La traversée de rue des piétons âgés : difficultés et causes	9
1.1 Les principales difficultés.....	9
1.2 Interprétation des difficultés rencontrées par les piétons âgés.....	10
1.3 Lien entre déficits cognitifs et comportements de traversée de rue des piétons âgés	12
2. Le paradigme d'entraînement dans la réduction des effets du vieillissement.....	13
2.1 L'entraînement du piéton enfant pour sécuriser sa traversée de rue	13
2.2 L'entraînement des adultes âgés pour optimiser la réalisation d'activités quotidiennes.....	15
3. Objectifs de la présente étude.....	16
Chapitre II. : Méthode	18
1. Participants	18
1.1 Caractéristiques des participants.....	18
1.2 Identification des piétons « à risque » et homogénéité des groupes	18
2. Dispositif expérimental	21
3. Procédure.....	22
Chapitre III : Résultats	25
1. Pourcentage de traversées acceptées	28
2. L'intervalle médian accepté	29
3. Les comportements de traversée de rue.....	30
3.1 Le moment d'initiation de la traversée	30
3.2 Le temps de traversée	31
3.3 La marge de sécurité.....	32
4. Ajustement comportemental au temps disponible	33
4.1. Ajustement du temps de traversée au temps inter-véhiculaire disponible	33
4.2. Ajustement du moment d'initiation au temps inter-véhiculaire disponible	35
5. Catégorisation des décisions de traversée de rue.....	38
5.1 Les collisions	38
5.2 Les décisions dangereuses	39
5.3 Les décisions risquées.....	41
5.4 Effet de la vitesse sur la prise de risque.....	42
5.5 Les opportunités manquées.....	43
Chapitre IV : Discussion	45
1. Efficacité de la méthode d'entraînement sur la sécurité de la traversée de rue des piétons âgés. 45	
2. Efficacité de la méthode d'entraînement sur la prise en compte de la vitesse.....	49
Conclusion	53
Bibliographie	55

Table des illustrations

Tableau 1 : Effectif, âge moyen et écart-type de chaque groupe de participants	18
Tableau 2 : Répartition et effectif des participants de notre étude antérieure catégorisés comme « à risque » et « non à risque »	19
Tableau 3 : Corrélations entre le critère « à risque » et « non à risque » de la marge de sécurité des participants de notre étude antérieure et leurs comportements de traversée de rue. 19	
Tableau 4 : Répartition des participants dans les groupes expérimental et contrôle	20
Figure 1 : Vue de haut du dispositif expérimental et présentation d'une scène routière à partir du point de vue de départ du piéton.....	21
Figure 2 : schéma utilisé pendant l'entretien préliminaire au programme d'entraînement à la traversée de rue.....	23
Figure 3 : exemple des données d'un participant du groupe expérimental étudiées pendant la séance d'entraînement. Le participant venait d'effectuer pour la deuxième fois le module C.	24
Figure 4 : Proportions de traversées acceptées en fonction du TIV, du groupe, de la phase test, et de la vitesse	26
Figure 5 : Pourcentage moyen de traversées acceptées en fonction du groupe et de la phase	28
Figure 6 : Pourcentage moyen de traversées acceptées en fonction de la vitesse du véhicule	28
Figure 7 : Intervalle médian accepté (en secondes) en fonction de la phase test et du groupe.....	29
Figure 8 : Intervalle moyen accepté (en secondes) en fonction de la vitesse du véhicule.. ..	29
Figure 9 : Moment d'initiation moyen (en secondes) en fonction de la phase test et du groupe.....	30
Figure 10 : Moment d'initiation moyen (en secondes) en fonction de la vitesse du véhicule.....	30
Figure 11 : Temps de traversée moyen (en secondes) en fonction de la phase test et du groupe.....	31
Figure 12 : Temps de traversée moyen (en secondes) en fonction de la vitesse	31
Figure 13 : Marge de sécurité moyenne (en secondes) en fonction de la phase test et du groupe.....	32
Figure 14 : Marge de sécurité moyenne (en secondes) en fonction de la vitesse	32
Figure 15 : Temps de traversée moyens en fonction du TIV, du groupe, de la phase test, et de la vitesse	34
Figure 16 : Moments d'initiation moyens en fonction du TIV, du groupe, de la phase test, et de la vitesse	36
Tableau 5 : Coefficients de corrélation moyens entre Temps de Traversée et TIV et pentes moyennes des droites de régression en fonction de la vitesse d'approche du véhicule	35
Tableau 6 : Coefficients de corrélation moyens entre Temps de Traversée et TIV et pentes moyennes des droites de régression en fonction du groupe et de la phase test.....	35
Tableau 7 : Coefficients de corrélation moyens entre Moment d'Initiation et TIV et pentes moyennes des droites de régression en fonction de la vitesse d'approche du véhicule. 37	
Tableau 8 : Coefficients de corrélation moyens entre Moment d'Initiation et TIV et pentes moyennes des droites de régression en fonction du groupe et de la phase test.....	37
Tableau 9 : Pourcentages moyens (écarts-types) de collisions par participant en fonction de la phase test, de la vitesse du véhicule à l'approche et du groupe auquel appartient le participant.....	38
Tableau 10 : Descriptif des collisions	38
Tableau 11 : Pourcentages moyens (écart-types) de décisions dangereuses en fonction de la phase test, de la vitesse du véhicule à l'approche et du groupe auquel appartient le participant.....	39
Figure 17 : Pourcentage moyen de décisions dangereuses en fonction de la phase du test, de la vitesse du véhicule et du groupe auquel appartient le participant.....	40

Figure 18 : Pourcentage moyen de décisions risquées en fonction de la phase test et du groupe	41
Figure 19 : Pourcentage moyen de décisions risquées par vitesse	41
Figure 20 : Indicateur moyen de la prise de risque avec la vitesse en fonction de la phase test et du groupe.....	42
Tableau 12 : Pourcentages moyens d'opportunités manquées en fonction de la Phase test, de la vitesse d'approche du véhicule et du groupe auquel appartient le participant.	43
Figure 21 : Pourcentage moyen d'opportunités manquées en fonction de la phase test et du groupe	43

Synthèse

Une revue des travaux de la littérature fait apparaître un effet de l'avancée en âge sur les comportements de traversée de rue. Parmi les difficultés relevées chez les piétons âgés, on note une prise de décision plus lente, une modification du temps d'initiation de la traversée, une diminution de la vitesse de marche, le besoin de fenêtres temporelles plus larges et des marges de sécurité parfois insuffisantes. Mais surtout, on retient un effet de la vitesse d'approche du véhicule sur les décisions des piétons âgés : ils montrent de nombreux comportements à risque en cas de vitesse élevée et plus d'opportunités manquées à vitesse faible. Ces comportements risqués traduiraient une difficulté à traiter les informations relatives à la vitesse du véhicule à l'approche et à les intégrer dans la prise de décision. Face à ces constats, l'objectif de la présente étude était mettre au point et d'évaluer une méthode de réentraînement adaptée aux piétons âgés.

La problématique de l'entraînement des piétons âgés est entièrement nouvelle, non seulement pour le travail de notre équipe, mais plus généralement dans le cadre de la thématique relative à la réhabilitation des capacités et des performances des personnes âgées. Toutefois, la thématique de l'entraînement a déjà été abordée dans des travaux sur la sécurité du piéton enfant ainsi que dans des recherches sur le ré-entraînement du conducteur âgé. Depuis une vingtaine d'années, on note également un important courant de recherche qui s'intéresse plus généralement à l'entraînement des capacités perceptives, motrices et cognitives des personnes âgées afin de faciliter les activités de leur vie quotidienne, de maintenir leur autonomie et d'améliorer leur qualité de vie. A partir d'une revue de la littérature, un programme d'entraînement du piéton âgé a été élaboré.

L'objectif du programme d'entraînement était d'améliorer la sécurité de la traversée de rue des piétons âgés, et plus particulièrement d'améliorer la prise en compte de la vitesse d'approche du véhicule dans la décision. Pour cela, 40 participants ont été recrutés et répartis en deux groupes : un groupe de 20 participants bénéficiait d'un programme de réentraînement à la traversée de rue sur simulateur, et le second groupe constitué des 20 autres participants bénéficiait en contrepartie d'une formation à l'utilisation d'Internet. La méthode d'entraînement associait deux niveaux de réapprentissage de l'activité de traversée de rue. D'une part, la réhabilitation de l'activité comprenait un niveau conceptuel, en termes de règles de sécurité, de sensibilisation au danger et d'éléments importants à considérer dans la prise de décision de traverser la rue (la vitesse du véhicule notamment), par l'intermédiaire d'entretiens, de feedbacks et de discussions. A cette intervention éducative s'associait la pratique répétée de l'activité en elle-même sur le simulateur de traversée de rue. Pendant deux séances, le participant effectuait 3 modules d'entraînement deux fois de suite, pour un total de 252 essais de traversée de rue. Nous faisons varier la vitesse du véhicule à l'approche. Divers feedbacks lui étaient délivrés. Les comportements et décisions de traversée de rue de tous les participants étaient évalués dans une situation de traversée de rue à sens unique, sur simulateur, avant (pré-test) et après l'intervention (post-test).

Les résultats montrent tout d'abord un effet bénéfique du programme de ré-entraînement sur la sécurité des comportements et des décisions de traversée de rue des 20 participants qui en ont bénéficié. Entre la phase pré et post intervention, on note que ces participants ont en moyenne traversé moins souvent, ont opté pour un intervalle temporel plus large, ont initié leur marche plus rapidement, ont traversé la rue expérimentale plus vite, et donc adopté des marges de sécurité plus élevées. Leurs décisions de traversée étaient moins dangereuses et moins risquées après l'intervention. Cette plus grande prudence les a toutefois conduits à manquer plus souvent d'opportunités de traverser la rue expérimentale après l'intervention. Les modules proposés pendant les deux séances d'entraînement, les nombreux feedbacks et discussions entre l'expérimentateur et chaque participant associés à la pratique répétée de l'activité semblent avoir sensibilisé les piétons âgés au danger de la traversée de rue : leurs traversées sont moins nombreuses et plus sécurisées.

Si les résultats de notre étude montrent que le programme d'entraînement « conceptivo-comportemental » que nous avons mis en place a permis aux piétons âgés d'améliorer la sécurité globale de leurs comportements et de leurs décisions de traversée de rue, il ne leur a toutefois pas permis de mieux prendre en compte la vitesse d'approche du véhicule. L'entraînement n'a pas permis

aux participants du groupe expérimental d'atténuer l'augmentation des prises de risque à mesure que la vitesse du véhicule à l'approche augmente, ni de réduire le nombre d'opportunités manquées à vitesse faible. On n'observe qu'une réduction légère et partielle de l'effet de la vitesse sur la prise de risque. Dès lors, notre programme semble avoir sensibilisé les piétons âgés au danger de la traversée de rue, leur inspirer une plus grande prudence, mais ne paraît pas avoir modifié leurs stratégies perceptivo-cognitives de traversée de rue. L'absence d'efficacité de notre programme d'entraînement sur la prise en compte de la vitesse d'approche du véhicule pourrait révéler des déficits perceptivo-cognitifs liés à l'âge, déficits que l'entraînement conceptivo-comportemental ne pourrait réhabiliter. L'utilisation d'heuristiques simplificatrices, basées sur la seule distance des véhicules approchant, au lieu de fonder la décision de traverser sur l'intervalle de temps et donc de prendre en compte la vitesse du véhicule à l'approche, pourrait être le résultat de déficits de perception de la vitesse et de fonctions cognitives ralenties et/ou altérées.

La problématique de l'entraînement des piétons âgés étant entièrement nouvelle, nos résultats témoignent de la possibilité d'amélioration de la sécurité de la traversée de rue des piétons âgés. Ces résultats très prometteurs ouvrent plusieurs pistes de recherche.

Dans la poursuite de ces travaux, nous envisageons de concevoir et de tester d'autres méthodes de réentraînement et d'examiner l'influence respective du réapprentissage des différentes composantes de l'activité à réhabiliter (conceptuelle, comportementale et perceptivo-cognitive). Ainsi, il serait intéressant de comparer l'efficacité de plusieurs méthodes de réentraînement à la traversée de rue : a) une méthode conceptuelle seule (intervention éducative et sensibilisation au danger par entretien de groupe) ; b) une méthode comportementale (pratique intensive de l'activité sur simulateur sans feedbacks) ; c) une méthode mixte qui associe les deux premières (telle celle que nous avons appliquée : intervention conceptuelle et pratique intensive de l'activité sur simulateur avec feedbacks) et enfin d) une méthode perceptivo-cognitive (réhabilitation des capacités perceptivo-cognitives altérées par l'avancée en âge et identifiées comme responsables de la non prise en compte de la vitesse). Un tel programme de recherche permettrait de répondre à plusieurs objectifs.

Le premier est lié à la question de savoir si une campagne éducative de prévention et de sensibilisation au danger lors la traversée de rue pourrait permettre à elle seule de réduire le risque encouru par les piétons âgés. Une telle méthode présenterait l'avantage de pouvoir être appliquée dans des collectivités locales, par l'intermédiaire de discussions de groupe entre un formateur et des personnes âgées.

Par ailleurs, dans l'objectif d'étendre l'application d'un programme de réentraînement à la traversée de rue et de le rendre accessible à tous, il nous paraît important de comparer l'efficacité d'une méthode d'entraînement comportemental sur simulateur à celle du réentraînement de l'activité par l'intermédiaire d'un programme informatique sur PC. La construction d'un logiciel interactif d'entraînement sur PC serait plus économique et plus facilement applicable par des collectivités locales que la construction et l'achat d'un simulateur 3D de traversée de rue.

De plus, la mise au point d'une méthode d'entraînement perceptivo-cognitif à la traversée de rue nous paraît particulièrement intéressante. Un programme d'entraînement perceptivo-cognitif pourrait être réalisé sous la forme d'exercices interactifs sur PC. Ce type d'entraînement cérébral, commercialisé sous la forme de DVD, connaît actuellement un succès considérable auprès des seniors. Les personnes âgées ainsi entraînées pourraient bénéficier non seulement d'une amélioration de la sécurité de leur traversée de rue, mais également de leur conduite automobile, ou encore dans la réalisation d'activités cognitivement complexes de la vie quotidienne. Notons que la mise au point de telles méthodes de réentraînement nécessite que d'autres travaux identifient en amont les capacités perceptivo-cognitives les plus impliquées dans l'activité de traversée de rue et responsables des prises de risque associées à l'avancée en âge.

Les travaux à venir devront également examiner l'efficacité à long terme des différentes méthodes de réentraînement à la traversée de rue. Dans notre étude, le post-test prenait place une semaine après la fin du programme de réentraînement. Il reste à établir si l'efficacité de notre programme se maintient à plus long terme, par exemple à 6 mois d'intervalle. D'une façon plus générale se pose la question de savoir si le maintien du bénéfice lié au programme de réentraînement est dépendant de la composante de l'activité entraînée (composante conceptuelle, comportementale ou perceptivo-cognitive).

Préambule

Ce rapport présente les travaux réalisés par notre équipe depuis un an dans le cadre de la convention de recherche Inrets/Fondation Maif sur le thème de la traversée de rue du piéton âgé. L'objectif du présent travail était d'aborder la question de l'entraînement (ou du ré-entraînement) comme moyen d'atténuation des effets du vieillissement et d'amélioration de la sécurité des piétons âgés. Il convient de signaler que cette thématique est entièrement nouvelle, non seulement pour notre équipe, mais aussi plus généralement dans le cadre des travaux sur la réhabilitation des comportements des piétons âgés ou des capacités sollicitées par la traversée de rue. Le développement de cette problématique a nécessité un travail considérable d'analyse de la littérature existante dans des champs de recherche connexes, ainsi qu'un travail important de synthèse et de réflexion.

A partir de la revue de littérature (*cf.* Chapitre 1), nous avons mis en place un programme de réentraînement à la traversée de rue sur simulateur dont l'objectif était d'améliorer la sécurité de la traversée de rue des piétons âgés, et plus particulièrement d'améliorer la prise en compte de la vitesse d'approche du véhicule dans la décision. Ce programme de réentraînement a été appliqué auprès de 20 participants âgés qui ont pris part à l'étude individuellement pendant plusieurs séances sur une durée approximative d'un mois par participant (*cf.* Chapitre 2). Les résultats sont présentés dans le chapitre 3. L'efficacité de notre programme d'entraînement et ses implications pour la réhabilitation de la sécurité du piéton âgé sont discutées dans le chapitre 4.

Chapitre I. : État de la question

1. La traversée de rue des piétons âgés : difficultés et causes

1.1 Les principales difficultés

Les travaux de Oxley et collaborateurs (1997, 1999, 2000, 2005b) ainsi que les travaux de notre équipe (Lobjois *et al.*, soumis, 2005, 2006, 2007) révèlent un effet, plus ou moins marqué selon les études, de l'avancée en âge sur les comportements de traversée de rue. Les principales difficultés rencontrées par les participants âgés des études d'Oxley et collaborateurs et de nos travaux antérieurs sont les suivantes :

- a) **Prise de décision plus lente.** Les participants âgés sont plus longs que les participants jeunes pour émettre et prendre la décision de traverser la rue. Les temps de décision des âgés (60-80 ans) sont 0,23 s plus longs (soit 26 %) que ceux des jeunes (20-30 ans) sous contrainte de temps, et 0,43 s plus longs (soit 30 %) sans contrainte de temps (Lobjois & Cavallo, 2007). Oxley *et al.* (2005b) constatent la même tendance en condition de contrainte de temps, mais l'allongement du temps de décision est particulièrement important (environ 0,7 s, soit 88 %) pour les âgés de plus de 75 ans comparé aux deux groupes de participants plus jeunes (30-45 ans et 60-69 ans).
- b) **Modification du temps d'initiation de la traversée.** Les travaux d'Oxley *et al.* (1997) montrent, à partir d'observations récoltées dans le cas de traversées de rue en double sens, que les piétons jeunes initient leurs traversées lorsque le premier véhicule passe à leur hauteur (-0,05 sec. en référence à l'arrière du véhicule), alors que les piétons âgés la débutent après (+0,87 sec.). Nos travaux (Lobjois & Cavallo, soumis), dans une situation de traversée à sens unique, montrent que les piétons les plus âgés (70-80ans) initient avant le passage du premier véhicule et plus tôt ($M=-1.12s$) que les participants jeunes ($M=-0.78s$), les âgés de 60-70 ans ne différant pas des deux autres groupes.
- c) **Diminution de la vitesse de marche.** Les travaux de notre équipe comme ceux de l'équipe de Oxley confirment les données antérieures sur le ralentissement de la vitesse de marche chez les âgés (*e.g.*, Carmeli *et al.*, 2000). L'augmentation du temps de traversée des âgés (60-80 ans) par rapport aux jeunes (20-30 ans) dans les travaux de notre équipe s'élève respectivement à 12 et 16 % pour la marche normale et la marche la plus rapide possible. Oxley *et al.* (2005b) observent des résultats comparables pour les piétons âgés de 60-69 ans, mais un doublement temps de traversée pour les piétons âgés de plus de 75 ans comparés aux piétons plus jeunes (30-45 ans).
- d) **Besoin de fenêtres temporelles plus larges.** Les travaux de notre équipe (Lobjois & Cavallo, soumis, 2007) et de l'équipe d'Oxley (Oxley *et al.*, 2005b) montrent que les participants âgés sélectionnent des fenêtres temporelles plus larges que les participants jeunes pour traverser entre deux véhicules. Si cette augmentation de la taille de la fenêtre temporelle acceptée permet aux piétons âgés de compenser l'accroissement du temps de traversée et d'adopter des marges de sécurité comparables à celles des piétons plus jeunes, elle diminue néanmoins les occasions de traverser pour les âgés.
- e) **Marges de sécurité insuffisantes.** Oxley *et al.* (2005b) observent des marges de sécurité très insuffisantes des piétons âgés de plus de 75 ans, tandis que notre équipe (Lobjois & Cavallo, 2007) constate des marges de sécurité similaires pour tous les groupes d'âge. Cependant, ce dernier résultat ne signifie pas que toutes ces populations de piétons sont exposées à un niveau de risque identique. En effet, les piétons âgés ont besoin de marges de sécurité plus importantes (Harrell, 1991 ; Harruff *et al.*, 1998) pour compenser leurs moindres capacités à

se sortir de situations périlleuses, comme par exemple en cas de trébuchement, d'accélération du véhicule à l'approche, etc.

- f) **Plus d'opportunités manquées.** Pour des temps inter-véhiculaire longs et les vitesses faibles, les participants âgés décident plus souvent que les participants jeunes de ne pas traverser alors qu'ils le peuvent (Oxley *et al.* 1997, 1999, 2000, 2005b ; Lobjois *et al.*, 2006, 2007, soumis).
- g) **Plus de comportements à risque.** Les comportements à risque augmentent de façon drastique pour les piétons très âgés (plus de 75 ans) ayant une très faible vitesse de marche ; ils décident souvent de traverser pour des intervalles plus courts que leur temps de traversée (Oxley *et al.*, 2005b). Les comportements à risque sont surtout observés en cas de trafic complexe (Oxley *et al.*, 1997) et lorsque la vitesse des véhicules à l'approche est élevée (Lobjois & Cavallo, 2007, soumis ; Oxley *et al.*, 2005b). L'augmentation du temps disponible pour prendre la décision ne diminue pas la proportion de décisions risquées des participants les plus âgés.
 - i. **Effet de la complexité du trafic.** Les participants âgés prennent plus de décisions risquées que les participants jeunes dans une situation de trafic complexe telle qu'une voie à double sens (Oxley *et al.*, 1997). Dans le cas d'un trafic routier simple (voie à sens unique), les participants âgés (au delà de 75 ans) prennent des décisions plus appropriées et similaires à celles des piétons jeunes. La densification du trafic dans une rue à sens unique n'augmente pas la prise de risque des piétons âgés (*cf.* rapport précédent).
 - ii. **Effet de la vitesse.** Alors que la taille des fenêtres temporelles sélectionnées par les piétons jeunes sans contrainte de temps est indépendante de la vitesse des véhicules à l'approche, les travaux des deux équipes indiquent un effet de la vitesse sur les décisions de traverser des piétons âgés (Lobjois *et al.*, 2005, 2007, soumis ; Oxley *et al.*, 1997, 1999, 2000, 2005b). Pour un temps inter-véhiculaire identique, les participants âgés tendent à traverser plus souvent pour des vitesses élevées que pour des vitesses plus faibles. Cette prise de décision des piétons âgés est associée à un grand nombre d'opportunités manquées pour des vitesses faibles et à de nombreux comportements à risque pour des vitesses élevées. De façon surprenante, la vitesse affecte les décisions des âgés non seulement lorsqu'ils doivent prendre la décision le plus rapidement possible, mais également quand il n'y a pas de contrainte de temps imposée.

1.2 Interprétation des difficultés rencontrées par les piétons âgés

Le **déclin moteur** associé à l'âge (*e.g.* Birren, Woods, & Williams, 1980 ; Ward, 2006) est susceptible de jouer un rôle essentiel dans les difficultés rencontrées par les piétons âgés. Le piéton devant coordonner ses mouvements avec les informations visuelles qu'il perçoit, les capacités à ajuster la cadence de marche et à exécuter rapidement des actions en cas d'urgence revêtent de fait un caractère essentiel à la sécurité de la traversée de rue. Or, avec l'âge, la vitesse de mouvement ralentit ; on relève ainsi une réduction de 17 à 20 % de la vitesse de marche et de la longueur du pas. La force, l'agilité et l'endurance diminuent, parallèlement à une dégénération cardio-vasculaire et un affaiblissement neuromusculaire. L'affaiblissement des mécanismes de contrôle de l'équilibre et le déclin des réflexes posturaux diminuent la mobilité de la personne âgée et augmentent dès lors le risque de chute. Enfin, les problèmes d'arthrose, dont souffrent une très grande majorité de personnes âgées, sont susceptibles de réduire la souplesse articulaire, d'entraîner une restriction de l'amplitude des mouvements, d'affaiblir l'endurance et la force physiques, et d'occasionner douleur et fatigue. L'ensemble des restrictions physiques occasionnées par l'avancée en âge pourrait par conséquent contribuer à la surreprésentation des personnes âgées dans les accidents piétons, plus particulièrement lorsque des actions rapides doivent être exécutées en réponse à des événements inattendus.

Les difficultés accrues avec l'âge pour sélectionner des fenêtres sécurisées pourraient également refléter un affaiblissement des capacités à **percevoir les objets en mouvement** (Staplin & Lyles, 1991), une diminution de la sensibilité visuelle au mouvement (Sekuler, Hutman, & Owsley, 1980), ou plus particulièrement des difficultés à percevoir des mouvements lents, c'est-à-dire des mouvements dont la vitesse angulaire est faible (Snowden & Kavanagh, 2006). Il semblerait que les adultes âgés aient des difficultés à percevoir les détails d'un objet en mouvement (Kosnik, Winslow,

Kline, Rasinski, & Sekuler, 1988), ou encore à suivre du regard et à pister des stimuli qui se déplacent rapidement (Sharp & Sylvester, 1978). Ils seraient moins performants que des adultes jeunes pour estimer le temps d'arrivée d'un véhicule à l'approche (Schiff, Oldak & Shah, 1992) et à détecter une situation de collision avec un obstacle (DeLucia, Bleckley, Meyer, & Bush, 2003). Ces déficits perceptifs liés au vieillissement normal nous laissent supposer que les difficultés des âgés à percevoir la vitesse du véhicule à l'approche les conduisent à négliger les informations de vitesse et à fonder leurs décisions de façon prédominante sur des heuristiques simplificatrices basées sur la distance des véhicules approchant.

Conformément à la littérature du vieillissement cognitif, on peut supposer que les difficultés des piétons âgés à intégrer les informations relatives à la vitesse pourraient refléter des **déficits cognitifs**, tels un affaiblissement des capacités attentionnelles, un ralentissement de la vitesse de traitement, et/ou un déficit des fonctions exécutives avec l'âge.

Parce que les multiples composants de la scène visuelle nécessitent d'être traités simultanément et continuellement, le piéton doit être capable de traiter ces informations de manière sélective (cf. Gabaude, 2003, pour une revue de l'intérêt et des techniques d'évaluation des capacités visuelles et attentionnelles dans l'identification de conducteurs âgés en sur-risque d'accidents). Or, bon nombre des travaux de la littérature du vieillissement cognitif indiquent que les **capacités attentionnelles** s'affaiblissent avec l'âge (e.g. Hoyer & Plude, 1980). Les piétons âgés pourraient ainsi rencontrer des difficultés à localiser et à sélectionner les informations importantes et pertinentes de l'environnement, et plus particulièrement celles relatives à la vitesse. Cette difficulté semble se manifester notamment dans le cas d'un environnement complexe, comme observé par Oxley *et al.* (1997).

Par ailleurs, les célèbres travaux de Salthouse (1996, 2003) montrent que le ralentissement de la **vitesse de traitement** des informations médiatise l'affaiblissement des performances des adultes âgés dans une large variété de tâches de mémoire, de raisonnement et de perception. Le ralentissement de la vitesse de traitement pourrait ainsi engendrer une réduction des capacités de la mémoire de travail (du fait que l'information doit être stockée plus longtemps) et la perte de certaines informations (certaines sont perdues pendant que d'autres sont traitées). Les opérations cognitives de bas niveau (telles celles impliquées dans le traitement des informations sensorielles et perceptives) seraient exécutées trop lentement pour que les opérations de plus haut niveau (telles celles impliquées dans l'estimation du temps d'approche du véhicule) soient correctement accomplies dans le temps imparti à l'activité.

Enfin, les difficultés des piétons âgés pour intégrer les informations relatives à la vitesse du véhicule à l'approche pourraient refléter un déclin des **fonctions exécutives**, déclin qui les conduirait à une mauvaise perception du risque (Oxley *et al.*, 2005a, 2005b). Les fonctions exécutives sont en effet indispensables à la production de réponses adaptées en ce sens qu'elles permettent de contrôler et de réguler les activités cognitives impliquées dans la réalisation d'une activité plus ou moins complexe. De récentes études (Salthouse, Atkinson, & Berish, 2003) indiquent un déclin du fonctionnement exécutif avec l'âge, et ce notamment par de fortes différences inter-âges sur les mesures de flexibilité cognitive, de mise à jour des informations en mémoire de travail et d'inhibition d'informations non pertinentes. La fonction de mise à jour du système exécutif pourrait intervenir dans l'estimation et la prise en compte de la vitesse d'approche du véhicule pour décider de traverser la rue. Cette fonction (*Updating function*, cf. Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, Howerter, & Wager, 2000) permet en effet de contrôler les informations présentes en mémoire de travail et de les mettre à jour en fonction des informations issues de l'environnement dynamique auquel est confronté l'individu et en fonction de leur pertinence par rapport à son but. Elle permet ainsi d'actualiser continuellement le contenu de la mémoire de travail. La fonction d'inhibition pourrait également être impliquée, notamment dans l'inhibition d'une réponse motrice automatique du type « je traverse » ou « je ne traverse pas » avant même d'avoir eu le temps d'évaluer la vitesse d'approche du véhicule. Enfin les fonctions de flexibilité cognitive pourraient être sollicitées dans la mesure où le piéton âgé porte souvent une grande attention à sa marche (par crainte d'une chute notamment), attention qu'il doit distribuer (cf. « *switcher* ») avec les informations visuelles qu'il perçoit, telle la distance et la vitesse du véhicule à l'approche.

Dès lors, comme **stratégie compensatrice** des déclins perceptivo-cognitifs, les seniors utiliseraient des heuristiques simplificatrices basées sur la seule distance des véhicules approchant au lieu de fonder leur jugement sur l'intervalle de temps, comme le font les piétons jeunes. De part un seuil de perception du mouvement altéré, les âgés n'aurait pas le temps nécessaire pour évaluer

correctement et prendre en compte dans leur décision la vitesse d'approche du véhicule. Mais encore, les informations concernant la vitesse d'approche du véhicule, accessibles dans la scène visuelle plus tardivement que celles relatives à la distance et qui nécessitent un traitement sans doute plus coûteux que celui relatif à la distance, pourraient être plus difficilement traitées et intégrées avec l'âge dans le processus de prise de décision de traversée de rue. Les diverses opérations cognitives nécessaires à l'activité seraient exécutées trop lentement pour être entièrement accomplies dans le temps imparti, parce que trop de temps serait alloué aux traitements de bas niveau (de nature sensorielle et perceptive). La mise à jour des informations déjà traitées en mémoire de travail (comme par exemple les informations relatives à la distance du véhicule à l'approche) avec celles accessibles plus tardivement dans la scène visuelle (comme celles relatives à la vitesse du véhicule) pourrait être plus difficile chez des piétons âgés.

1.3 Lien entre déficits cognitifs et comportements de traversée de rue des piétons âgés

L'équipe australienne d'Oxley et collaborateurs a récemment mis en évidence un lien entre les capacités physiques, perceptives et cognitives de piétons plus ou moins âgés avec leurs décisions de traversée de rue ; ce lien contribuant selon eux, en partie, à la surreprésentation des piétons âgés dans les accidents. Pour cela, Oxley, Ihsen, Fildes et Charlton (2001) ont comparé les performances d'adultes âgés à des tests fonctionnels avec la sécurité de leurs prises de décision de traversée de rue au cours d'une tâche informatisée (décision de traverser en oui/non). Au cours des épreuves fonctionnelles, les participants les plus âgés (au-delà de 75 ans) obtenaient en moyenne des performances physiques (agilité), visuelles (acuité) et cognitives (ressources/vitesse de traitement, coordination visuo-motrice, capacités attentionnelles et statut mental général) nettement moins bonnes que celles obtenues par les participants des autres groupes d'âge (30-45 ans et 60-69 ans). L'impact de ces déficits a été évalué en les corrélant avec le nombre de décisions correctes oui « je traverse » émises par les participants au cours de la tâche de traversée de rue. Les décisions correctes oui étaient établies pour chaque participant en fonction de sa vitesse de marche et de son temps de prise de décision pour chaque fenêtre temporelle disponible. Les résultats des analyses de régression montraient que les performances relevées à tous les tests fonctionnels prédisaient significativement le nombre de décisions correctes de traversée de rue : plus la performance à un test était élevée, plus la probabilité d'émettre une décision sécurisée augmentait. L'agilité physique était l'une des mesures qui prédisait le mieux les décisions de traversée : plus les participants étaient rapides au test d'agilité, plus leurs décisions étaient sécurisées. Les performances des participants relevées au test du Digit/Symbol montraient une bonne corrélation avec les décisions de traversée : les participants disposant des plus grandes capacités de coordination visuo-motrice, d'une rapidité de la vitesse de traitement et de capacités attentionnelles préservées étaient les plus susceptibles d'émettre une décision sécurisée de traversée de rue.

Les résultats de cette recherche suggèrent que l'efficacité des fonctions physiques, perceptives et cognitives a un impact sur la sécurité des comportements de traversée de rue. Toutefois, on peut remarquer que l'étude d'Oxley et al. (2001) est la seule à ce jour à avoir étudié le lien entre capacités fonctionnelles et comportements de traversée de rue. Cette question convient donc d'être approfondie, d'autant plus que l'étude de l'équipe d'Oxley comporte un certain nombre de limites, principalement d'ordre méthodologique (tâche d'estimation de traversée de rue, non effective, et batterie de tests ne mesurant que globalement les fonctions cognitives). Par conséquent, une meilleure connaissance de l'impact des déclin perceptivo-cognitifs sur les comportements de traversée de rue des piétons âgés nous paraît nécessaire, surtout pour parvenir à la mise en place d'un programme de réentraînement perceptivo-cognitif ciblé et adapté au piéton âgé.

2. Le paradigme d'entraînement dans la réduction des effets du vieillissement

L'**entraînement** est un moyen reconnu pour atténuer les effets du vieillissement. L'entraînement s'appuie sur le concept d'apprentissage (ou de réapprentissage) qui implique la modification du comportement et de la capacité à réaliser une tâche sous l'effet de la pratique et d'exercices répétés.

À la question de savoir si les adultes âgés sont capables de recouvrer certaines fonctionnalités et d'acquérir de nouvelles compétences, plusieurs études répondent positivement (*cf. e.g.* Fisk & Rogers, 2000). Les données issues des recherches menées en laboratoire indiquent clairement que les adultes âgés parviennent à améliorer leurs performances par la pratique.

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 (*cf.* section précédente), la mise en place d'un programme d'entraînement (ou de réentraînement) à la traversée de rue paraît un moyen efficace pour améliorer leur sécurité. L'amélioration du comportement du piéton âgé peut procéder soit par un entraînement du comportement de traversée à proprement parler, soit par un entraînement des fonctionnalités (motrices, perceptives, cognitives) qui sous-tendent ce comportement.

À notre connaissance, aucune recherche n'a encore abordé la question de l'entraînement chez le piéton âgé, qu'il s'agisse du comportement ou des processus sous-jacents, et de ses effets sur la sécurité de la traversée de rue. En revanche, l'amélioration de la sécurité du piéton enfant lors de la traversée de rue fait objet de nombreux travaux depuis une vingtaine d'années. On note aussi un important courant de recherche qui s'intéresse à l'atténuation des effets du vieillissement au moyen du paradigme d'entraînement, afin de faciliter les activités quotidiennes (dont la conduite) des personnes âgées. Le programme d'entraînement du piéton âgé que nous avons mis en place et évalué s'inspire largement de l'ensemble de ces travaux.

2.1 L'entraînement du piéton enfant pour sécuriser sa traversée de rue

Une revue de la littérature fait émerger une multiplicité de méthodes d'entraînement à la traversée de rue du piéton enfant, privilégiant des méthodes tantôt conceptuelles, tantôt comportementales, alliant souvent les deux, et faisant appel à des outils divers, allant de la route réelle au dispositif informatisé (pour une présentation détaillée *cf.* rapport précédent).

Si l'apprentissage conceptuel, basé sur l'acquisition de règles de sécurité et l'évaluation du comportement déclaré, prévaut dans nombre d'études (*e.g.* Cross *et al.*, 2000), l'efficacité de ces interventions éducatives 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, la pratique et l'action effective de l'activité (« on n'apprend pas à conduire en restant assis sur une chaise »).

C'est ainsi que les travaux princeps de Young et Lee (1987) utilisaient une méthode comportementale d'entraînement à la traversée de rue auprès d'enfants âgés de 5 ans par l'intermédiaire de la tâche de traversée semi-réelle (*the pretend road crossing task*, Lee, Young, & McLaughlin, 1984). Le dispositif comprenait deux chaussées : la première sur laquelle l'enfant s'entraînait à traverser sans trafic et la seconde, adjacente, comprenant le trafic routier réel. L'enfant devait traverser la première voie en fonction de ce qu'il percevait du trafic présent sur la seconde. Les séances d'entraînement étaient effectuées individuellement. Chaque séance durait au maximum 15 minutes. L'enfant s'entraînait à traverser une voie à sens unique (approximativement 11 séances) puis une voie à double sens (6 séances environ). L'expérimentateur donnait à l'enfant des feedbacks au cours de chaque essai (des recommandations ou des réprimandes). Les résultats montraient, dès les premières séances d'entraînement, que les enfants sélectionnaient des intervalles temporels entre deux voitures plus sécurisés. Ils initiaient leur traversée plus rapidement (avant que le dernier véhicule ne soit complètement passé à leur hauteur); ils finissaient de traverser avant que le second véhicule n'atteigne leur hauteur et prenaient en compte la durée de l'intervalle en traversant plus rapidement lorsque la fenêtre sélectionnée était trop courte. Ils restaient cependant très prudents en refusant de

nombreux intervalles pourtant adéquats. L'amélioration des performances des enfants s'était maintenue plus de trois semaines après l'entraînement. Les enfants de 5 ans avaient développé un degré de compétences similaire à celui d'enfants beaucoup plus âgés, voire proche de celui obtenu par des adultes.

Cette méthode de traversée de rue semi-réelle (Young & Lee, 1987) présente l'avantage d'un environnement routier réel associé à un comportement physique de traversée. Toutefois, la généralisation de cette méthode se heurte à la difficulté de trouver un site approprié. Par ailleurs, le contrôle des caractéristiques du trafic est problématique, voire impossible, et la perspective offerte à l'enfant est déformée à cause du décalage des routes.

Une méthode d'un emploi plus facile a été développée par Thomson *et al.* (2005), proposant un entraînement des enfants piétons par l'intermédiaire d'une tâche informatisée de traversée de rue. Ces travaux se sont intéressés aux décisions de traversée de rue d'enfants âgés de 7, 9 et 11 ans selon qu'ils aient participé ou non à un programme informatisé d'entraînement. L'entraînement était axé sur les composantes comportementales et conceptuelles impliquées dans la traversée de rue. L'enfant était encouragé à considérer le temps plutôt que la distance-vitesse des véhicules approchant, à améliorer la distinction entre le temps requis pour traverser et le temps disponible, à maximiser la sécurité des intervalles acceptés en diminuant le délai pour initier l'action, et à aider l'enfant à adopter des marges de sécurité appropriées et à éviter les comportements dangereux. Le programme informatisé présentait des trafics routiers, plus ou moins complexes, en image de synthèse. Le participant devait décider à quel moment le personnage présent dans la scène visuelle pouvait traverser en toute sécurité. Deux feedbacks étaient délivrés : (1) si la fenêtre sélectionnée par l'enfant était adéquate, le personnage traversait la route; (2) si la fenêtre sélectionnée était trop courte, l'ordinateur émettait le son strident du freinage du véhicule à l'approche, bloquait l'action et affichait à l'écran le fantôme du personnage. Ce feedback déclenchait des discussions entre les enfants et l'entraîneur. Les résultats montraient que les enfants ayant pris part au programme d'entraînement traversaient plus rapidement en situation réelle et que leurs estimations du temps de traversée s'alignaient mieux avec les temps de traversée réelle, comparativement au groupe contrôle. Les enfants entraînés traversaient plus promptement, manquaient moins d'opportunités, acceptaient des intervalles plus courts sans pour autant augmenter le nombre de traversées risquées, et montraient une meilleure compréhension des facteurs à prendre en compte lors de la prise de décision de traverser la rue. Tous les âges (7, 9 et 11 ans) avaient connu une amélioration de leurs performances, à des niveaux comparables. Cette amélioration s'était maintenue huit mois après le programme d'entraînement.

L'entraînement de la traversée de rue du piéton enfant par l'intermédiaire d'une tâche informatisée présente l'avantage de pouvoir construire des situations de trafic diversifiées, et de tendre vers la reproduction en laboratoire de la complexité des événements rencontrés par les usagers de la route. Cette méthode permet également de contrôler les différentes caractéristiques du trafic, et plus particulièrement à notre propos, le nombre, la vitesse et la distance des véhicules à l'approche. Cependant, les simulations employées par Thomson *et al.* (2005), présentant un personnage se déplaçant dans la scène visuelle, n'offrent pas à l'enfant une perspective correcte de la rue et du trafic et ne lui permettent pas de se déplacer réellement. Par ailleurs, la présentation sur un écran d'ordinateur ne permet pas une immersion suffisante à l'enfant pour se sentir vraiment à la place du piéton. On peut supposer que la prise d'information et l'acceptation des fenêtres sont affectées par les caractéristiques de cette simulation, posant la question du transfert des habiletés acquises dans la situation réelle de trafic.

Notons qu'aucune des méthodes d'entraînement comportemental n'a utilisé un simulateur interactif offrant un bon niveau d'immersion et de réalisme, comparable à celui que nous avons utilisé jusqu'à présent dans nos travaux sur le piéton âgé. Ce dispositif offre non seulement un bon niveau de validité (cf. Cavallo *et al.*, 2006), mais comparativement à un entraînement en situation réelle, il permet une traversée de rue sans danger ainsi qu'un contrôle parfait des caractéristiques du trafic (vitesse des véhicules, fenêtre entre les véhicules). D'une façon générale, la simulation permet de donner des feedbacks, de graduer la difficulté de la tâche et de l'adapter aux capacités de l'individu pour permettre une réhabilitation des compétences efficace et personnalisée (cf. Weiss, Naveh, & Katz, 2003). Par ailleurs, la plupart des participants considèrent la simulation comme attractive et plaisante, ce qui augmente autant leur motivation dans la participation à un programme de réhabilitation. Un avantage décisif de notre situation simulée est de comprendre une portion de route qui permet un déplacement effectif et ainsi une implication active du participant. Contrairement aux

environnements virtuels classiques (*cf.* Simpson *et al.*, 2003), nous n'utilisons pas de casque de réalité virtuelle qui est peu adapté aux personnes âgées.

2.2 L'entraînement des adultes âgés pour optimiser la réalisation d'activités quotidiennes

Les recherches visant à optimiser le comportement avec l'âge et à remédier aux déclinés liés au vieillissement par la méthode d'entraînement se sont intéressées à ces questions pour une large gamme de processus cognitifs, perceptifs ou moteurs, et pour plusieurs activités quotidiennes. Parmi les tâches de la vie courante, des travaux ont été consacrés à la conduite automobile. En revanche, aucune recherche n'a considéré la traversée de rue.

Les récents travaux de Roenker et collaborateurs (2003) visaient à améliorer les performances de conducteurs âgés sous l'effet d'un entraînement des capacités d'attention visuelle ou de l'entraînement à la conduite sur simulateur. Des travaux antérieurs (Owsley *et al.*, 1991) montraient en effet un lien de corrélation significatif entre les capacités d'attention visuelle et de vitesse de traitement, mesurées par la taille du champ visuel utile (UFOV, *Useful Field Of View*), et le nombre d'accidents survenus au cours des cinq années précédant l'étude. L'entraînement des capacités d'attention visuelle et de la vitesse de traitement était effectué individuellement par l'intermédiaire du programme d'entraînement UFOV développé par Ball *et al.* (1988) et Edwards *et al.* (2002). L'entraînement à la conduite, réalisé sur simulateur pendant deux sessions successives par petits groupe de 3-4 participants, présentait les règles du code de la route, un exemple simulé de conduite sécurisée et des instructions quant aux comportements à adopter afin d'éviter un accident. Les deux groupes de participants qui prenaient part aux programmes d'entraînement souffraient tous d'un trouble d'attention visuelle (réduction du champ visuel utile de plus de 30%). Le groupe de référence était constitué de participants non atteints de déficits d'attention visuels. Avant l'entraînement, immédiatement après, et après un délai de 18 mois, les performances de conduite de chaque participant étaient évaluées sur simulateur. Les résultats indiquaient une amélioration des performances de conduite différente selon le type d'entraînement délivré aux conducteurs. Les participants ayant suivi l'entraînement à la conduite sur simulateur ont perfectionné leurs compétences et leurs manœuvres de conduite qui ont été spécifiquement enseignées pendant l'entraînement (ex. positionnement du véhicule lors d'un changement de direction). Néanmoins, ces améliorations ne se maintenaient pas dans le temps. Au contraire, les participants du programme d'entraînement des capacités d'attention visuelle ont vu leurs performances s'améliorer pour des tâches auxquelles ils n'étaient pas spécifiquement entraînés. Le nombre de manœuvres dangereuses pendant la conduite (dont le choix de fenêtres appropriées pour tourner ou traverser le trafic) avait très largement diminué. Les temps de réaction relevés au cours d'une tâche visuelle complexe diminuaient significativement. Ces effets se maintenaient 18 mois après l'intervention.

Les bénéfices liés à un programme d'entraînement semblent donc se manifester sur des comportements qui sollicitent les capacités et fonctionnalités qui ont été entraînées. Ainsi, des bénéfices cognitifs, fonctionnels et comportementaux émergent de l'optimisation des capacités d'attention visuelle. L'entraînement de ces capacités est d'autant plus essentiel que l'attention visuelle est impliquée dans la majeure partie des activités quotidiennes (ex. conduire, marcher, se déplacer dans l'environnement). À ce propos, les récents travaux d'Edwards et collaborateurs (2005) attestent d'une optimisation des habiletés quotidiennes d'adultes âgés consécutive à un entraînement des capacités d'attention visuelle et de la vitesse de traitement. Les participants souffraient tous au préalable d'une réduction de la taille du champ visuel utile. Le groupe expérimental suivait un programme d'entraînement au moyen du test UFOV et le groupe contrôle participait à un programme d'entraînement à l'utilisation d'Internet (bénéficiant ainsi d'un environnement social et d'une expérience informatique comparables au groupe expérimental). Les résultats montraient que l'entraînement des capacités d'attention visuelle et de la vitesse de traitement améliorait, non seulement la taille du champ visuel utile, mais également l'efficacité des habiletés quotidiennes. Ces dernières étaient évaluées par le *Timed Instrumental Activities of Daily Living* (Timed IADL) comprenant une série de tâches rapides qui simulent les activités cognitivement coûteuses de la vie quotidienne (ex. chercher rapidement dans un annuaire et composer un numéro de téléphone, compter la monnaie, lire des notices de médicaments, etc.). L'entraînement des capacités d'attention visuelle se révèle être un moyen efficace d'optimiser les habiletés quotidiennes des personnes âgées, leur assurant ainsi une meilleure autonomie et qualité de vie, et cela plus particulièrement si l'entraînement

est proposé à des adultes âgés souffrant au préalable d'une réduction du champ visuel utile. Les résultats montraient également que le transfert de l'entraînement des capacités d'attention visuelle et de la vitesse de traitement à d'autres fonctions cognitives était moins évident (e.g. mémoire et fonctions exécutives).

Un dernier exemple, particulièrement intéressant pour la traversée de rue à double sens, concerne l'amélioration des performances obtenues par des adultes âgés à des doubles tâches consécutivement à un programme d'entraînement (cf. Bherer *et al.*, 2005 ; Kramer *et al.*, 1995). La double tâche ne serait pas simplement la somme de ses composants (les deux tâches) mais impliquerait des processus attentionnels pour coordonner les tâches et les intégrer. Dunbar, Hill et Lewis (2001) considèrent que les enfants piétons mobiliseraient des capacités d'attention soutenue pour traverser la rue, et notamment pour rester vigilant et sélectionner un intervalle approprié. De plus, des capacités de flexibilité attentionnelle (*switching*) seraient sollicitées plus particulièrement pour partager et distribuer son attention entre les différentes informations disponibles (Dunbar, Lewis, & Hill, 1999). Il paraît donc raisonnable de supposer qu'un entraînement améliorant les performances à des double-tâches puisse optimiser les décisions de traverser, notamment en situation de trafic à double sens.

3. Objectifs de la présente étude

Dans un récent rapport, Oxley et collaborateurs (2005a) regrettaient que trop peu d'études ne se soient intéressées à l'impact des déficits cognitifs associés au vieillissement normal ou pathologique sur la sécurité et les comportements de traversée de rue des piétons âgés. Ils suggéraient alors d'orienter les recherches à venir vers (a) l'évaluation de la prévalence des déclin cognitifs associés au vieillissement normal (et pathologique) dans la population des piétons âgés, (b) l'étude de l'impact et de l'ampleur des déficits cognitifs liés au vieillissement normal (et pathologique) sur les comportements des piétons, et plus particulièrement concernant la traversée de rue, (c) un examen de l'effet lié à la complexité de l'environnement routier sur les performances des piétons âgés pour traverser la rue et (d) le développement de moyens de prévention et de techniques visant à améliorer la mobilité et la sécurité des piétons âgés. Bien qu'il paraisse évident que les déclin fonctionnels et cognitifs contribuent à augmenter les risques encourus par les piétons âgés, force est de constater que peu d'études y ont été consacrées. Or, tant que la question relative au fait de savoir si le déficit cognitif constitue un facteur de risque pour le piéton âgé et que des moyens de prévention efficaces et des techniques de réhabilitation appropriées n'ont pas été développés, les problèmes et les risques associés au déplacement du piéton âgé ne cesseront d'augmenter au cours des décennies à venir.

Le deuxième volet de la convention de recherche Inrets/Fondation Maif répondait à l'un de ces objectifs, à savoir de mettre au point et d'évaluer un **programme de réentraînement à la traversée de rue adapté aux piétons âgés**.

La mise en place de notre programme de réentraînement à la traversée de rue s'est d'abord appuyé sur les recommandations formulées par Rogers, Campbell et Park (2001) qui préconisent une démarche comprenant trois étapes : (1) *l'analyse de l'activité permettant l'estimation des exigences* (identification des composantes de l'activité, des capacités nécessaires à sa réalisation, ainsi que des capacités et des limites de l'individu à entraîner) ; (2) *la sélection - construction du programme d'entraînement* (qui peut s'inspirer de techniques existantes en les adaptant aux besoins de la nouvelle activité et de la population à entraîner) ; (3) *l'évaluation de l'efficacité du programme* (formulation de critères de performances, mesure de transfert et évaluation du maintien des performances avec le temps). Dans la perspective de la démarche proposée par Rogers et collaborateurs (2001), notre choix du comportement spécifique à entraîner a été guidé par les principales difficultés des piétons âgés identifiées dans nos travaux antérieurs, à savoir la prise en compte insuffisante de la vitesse des véhicules à l'approche qui conduit les âgés à prendre des risques importants en cas de vitesse élevée et à manquer souvent des opportunités de traverser à vitesse faible (cf. Chapitre 1, section 1.1 page 9).

Notre méthode d'entraînement à la traversée de rue du piéton âgé a été élaborée à partir des techniques d'entraînement du piéton enfant et des méthodes de remédiation des effets délétères du vieillissement sur les activités cognitives et quotidiennes des personnes âgées. L'entraînement privilégie la composante comportementale de l'activité à réhabiliter, à savoir l'action à proprement parler de traverser la rue. Pour cela, les participants seront individuellement entraînés à traverser la

rue, par une pratique intensive de l'activité, dans notre simulateur de traversée de rue de l'Inrets (*cf.* Chapitre II Méthode, section 2 page 21). Cette méthode présente l'avantage d'un entraînement portant 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). Cependant, cette méthode axée sur le comportement de traversée présente des difficultés pour identifier le rôle des processus sous-jacents si une amélioration du comportement est constatée, ou de comprendre les raisons de la non-amélioration du comportement en cas d'échec de la méthode d'entraînement.

La méthode d'entraînement que nous avons mise en place comporte également une composante conceptuelle de l'activité à entraîner. Par un entretien préliminaire aux modules d'entraînement à la traversée de rue, par des feedbacks donnés au cours des essais, et par des discussions postérieures à chaque série d'essais, l'expérimentateur verbalisait, commentait et définissait les différentes informations à prendre en compte pour traverser la rue en toute sécurité et évoquait les différents comportements sécuritaires à adopter (*cf.* Chapitre II Méthode, section 3 page 22).

Par une meilleure compréhension du problème et par une pratique répétée de l'activité, le programme d'entraînement visait à : 1) améliorer la sécurité globale des comportements (temps de traversée, moment d'initiation, etc.) et des décisions (décisions catégorisées comme dangereuses, risquées, etc.) des piétons âgés et 2) améliorer la prise en compte de la vitesse d'approche du véhicule dans ces comportements et ces décisions de traversée de rue.

Pour évaluer l'efficacité de l'intervention, un groupe contrôle constitué de participants qui ne prenaient pas part au programme d'entraînement à la traversée de rue était nécessaire. Les participants du groupe contrôle, afin de bénéficier d'un environnement social et informatique similaire à celui du groupe expérimental qui bénéficiait du programme de réentraînement, suivaient quant à eux une formation à la recherche d'informations sur Internet. L'objectif était de pouvoir comparer les comportements de traversée de rue des participants selon qu'ils aient bénéficié ou non d'un programme de réentraînement, et cela avant et après l'intervention.

Chapitre II. : Méthode

1. Participants

1.1 Caractéristiques des participants

40 participants âgés ont pris part à l'étude. Ils sont âgés de 61 à 83 ans et ont en moyenne 72.2 ans ($ET=5.23$). En référence aux groupes d'âges considérés dans nos travaux antérieurs (60-70 vs 70-80 ans), 17 participants sont âgés entre 61 et 70 ans et 23 participants ont plus de 71 ans. Les 40 participants ont été répartis en deux groupes. Le groupe expérimental a pris part au programme de réentraînement à la traversée de rue et le groupe contrôle suivait en contrepartie une formation à l'utilisation d'Internet.

Tableau 1 : Effectif, âge moyen et écart-type de chaque groupe de participants

	groupe	Effectif	Moyenne	Ecart-type
Expérimental	Femmes	11	72.18	4.09
	Hommes	9	74.11	4.63
Contrôle	Femmes	12	72.25	5.49
	Hommes	8	70	5.94

Les participants ont tous passé un examen médical d'inclusion, réalisé sur les lieux de l'expérimentation par le Docteur Elsa Rautou. Le docteur, informé du protocole de recherche, a vérifié l'absence des critères d'élimination suivants : pathologie évolutive en cours de traitement (infection, tumeur, accident cardiaque ou neurologique), contrôle ordonnance (patients polymédicamentés, sauf traitements de confort), prise de somnifères (hors produits inducteurs à durée de vie brève), infarctus récent, HTA sévère, Parkinson, Alzheimer, démence sénile, troubles neurologiques importants, ou épilepsie. Pour les besoins de notre expérience, le médecin contrôlait également l'acuité visuelle (vision de près et de loin) et auditive (audiomètre). À la suite de cet examen médical d'inclusion, une participante a été éliminée en raison d'une pathologie évolutive (Parkinson). Les 40 autres participants retenus pour notre étude répondaient tous aux critères d'inclusion précédemment mentionnés.

1.2 Identification des piétons « à risque » et homogénéité des groupes

Parmi ces 40 participants, 31 avaient déjà pris part à nos travaux antérieurs. Afin d'identifier les participants « à risque », nous avons créé un critère qui nous a permis de répartir ces 31 participants de façon homogène dans les deux groupes (expérimental et contrôle) en fonction du caractère risqué de leurs comportements de traversée de rue observés lors de notre dernière expérimentation en janvier 2007. Le critère de risque a été élaboré à partir des marges de sécurité adoptées par les participants au cours des essais où le véhicule approchait à vitesse élevée (60km/h). En référence aux travaux de Simpson *et al.* (2003), une décision de traversée de rue est considérée risquée (i.e. *tight fit*) si le temps de collision entre le véhicule et le piéton est inférieur à 1.5 secondes, c'est-à-dire si le véhicule approchant se trouve à moins de 1.5 secondes du piéton. Cette prise de risque correspond à des traversées achevées avec succès mais pour lesquelles le véhicule passe très près du piéton, sur sa ligne de traversée, sans entrer en collision avec celui-ci. Selon Simpson *et al.* (2003), la prise en compte et l'étude des traversées risquées est nécessaire à la mise en place de programmes d'éducation à la traversée de rue sécurisée : les piétons devraient inclure une marge de sécurité dans leur traversée

pour faire face aux changements inattendus, et qui peuvent concerner autant leur comportement (par exemple en cas de trébuchement) que le véhicule approchant (par exemple en cas d'accélération).

Pour élaborer ce critère, nous avons ré-analysé les données issues de notre dernière expérimentation à laquelle participaient 22 adultes jeunes (20-30 ans), 22 adultes âgés entre 60 et 70 ans et 23 adultes âgés entre 70 et 80 ans (parmi les 45 adultes âgés, 31 prenaient part à la présente étude). La catégorisation « à risque » et « non à risque » des participants était opérée de la manière suivante : si la marge moyenne de sécurité était inférieure à 1.5s sur l'ensemble des essais où la traversée était effectuée et où le véhicule approchait à vitesse élevée, le participant était catégorisé « à risque ». Au contraire, si la moyenne du participant était supérieure à 1.5s pour l'ensemble de ces essais, le participant était catégorisé « non à risque ». Le tableau 2 ci-dessous présente le nombre (et le pourcentage) de participants dans chacune des catégories à risque ou non à risque de la marge moyenne de sécurité adoptée pour des essais où le véhicule approchait à 60km/h. On note que plus de la moitié des participants âgés ont adopté une marge moyenne de sécurité à risque lorsque le véhicule approchait à 60km/h, alors qu'ils ne sont de 32 % dans le groupe des adultes jeunes.

Tableau 2 : Répartition et effectif des participants de notre étude antérieure catégorisés comme « à risque » et « non à risque »

Marge de sécurité moyenne :	Groupes			Total
	20-30 ans	60-70 ans	70-80 ans	
A risque (<1.5 secondes)	N= 7 (31.82%)	N=12 (54.55%)	N=15 (65.22%)	34 (50.75%)
Non à risque (> 1.5 secondes)	N=15 (68.18%)	N=10 (45.45%)	N=8 (34.78%)	33 (49.25%)
Total	22	22	23	67

Des analyses statistiques montrent que le critère « à risque » ou « non à risque » de la marge moyenne de sécurité des participants permet de prédire en grande partie les comportements et décisions de traversée de rue. Le tableau 3 ci-dessous présente les principales corrélations obtenues.

Tableau 3 : Corrélations entre le critère « à risque » et « non à risque » de la marge de sécurité des participants de notre étude antérieure et leurs comportements de traversée de rue

Le critère « à risque »/« non à risque » de la marge de sécurité des participants corrèle avec :	
L'âge ($r=.27$; $p=.026$)	Plus les participants étaient âgés, plus la marge de sécurité qu'ils avaient adoptée était catégorisée « à risque ».
L'intervalle médian accepté ($r= -.46$; $p<.001$)	Plus la marge moyenne de sécurité des participants était catégorisée « à risque », plus l'intervalle médian qu'ils ont accepté était court.
Le temps de traversée ($r=.41$; $p=.001$)	Plus la marge moyenne de sécurité des participants était catégorisée « à risque », plus leur temps de traversée était long.
Le pourcentage de collisions ($r=.26$; $p=.034$)	Plus la marge moyenne de sécurité des participants était catégorisée « à risque », plus ils ont eu tendance à entrer en collision avec le véhicule à l'approche.
Le pourcentage de décisions dangereuses ($r=.55$; $p<.001$)	Plus la marge moyenne de sécurité des participants était catégorisée « à risque », plus ils ont eu tendance à émettre des décisions de traversées dangereuses.
Le pourcentage d'opportunités manquées ($r= -.36$; $p=.003$),	Plus la marge moyenne de sécurité des participants était catégorisée « à risque », moins ils ont manqué d'opportunités de traverser.

A partir de ce critère d'identification des piétons à risque, nous avons réparti les 31 participants âgés qui prenaient part à nouveau à nos expérimentations de façon homogène entre le groupe contrôle et expérimental de la présente étude (cf. tableau 4 ci-après). Les 9 autres participants de notre étude n'avaient jamais pris part à nos travaux antérieurs et ont été répartis aléatoirement entre le groupe expérimental et contrôle.

Tableau 4 : Répartition des participants dans les groupes expérimental et contrôle

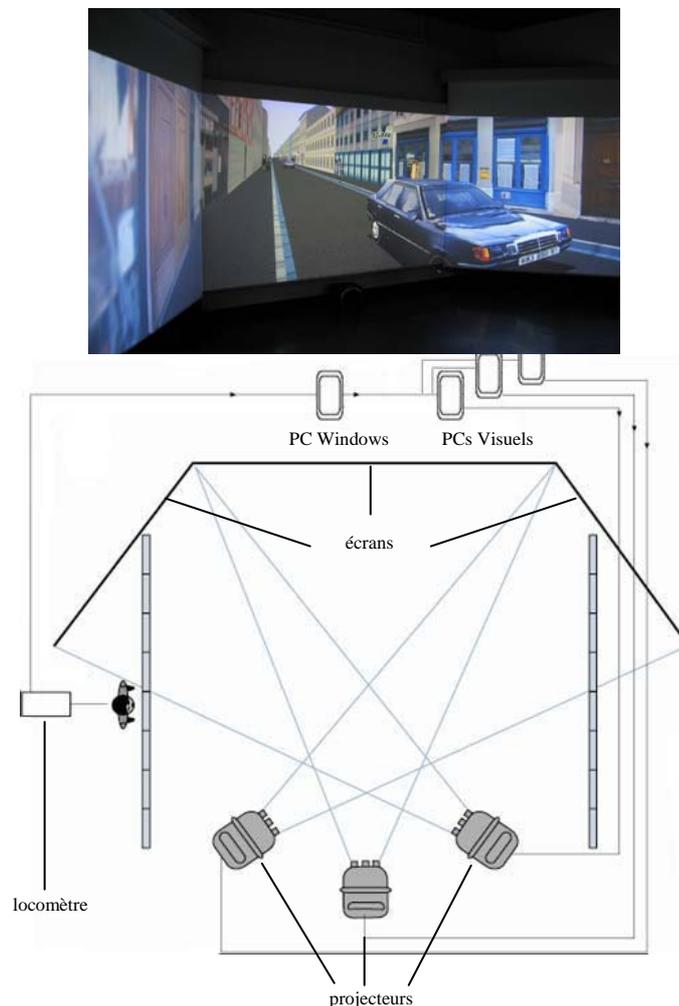
	Groupe	Effectif	Marge de sécurité moyenne (s) adoptée dans la précédente étude lorsque le véhicule approchait à 60 km/h
Expérimental	« à risque »	10	0.99s
	« non à risque »	6	1.96s
	nouveaux participants	4	-
Contrôle	« à risque »	9	1.18s
	« non à risque »	6	2.04s
	nouveaux participants	5	-

2. Dispositif expérimental

Le dispositif de simulation pour la traversée de rue (Cavallo *et al.*, 2006) a été adapté du simulateur de conduite Sim² de l'Inrets (Espié, 1999). Il est constitué d'une portion de route, de systèmes de génération et de projection d'images et d'un système d'enregistrement des traversées (cf. Figure 1 ci-dessous). La route, large de 4.20 m, est matérialisée à même le sol de la salle d'expérimentation. Les images sont générées par trois PCs (environnement LINUX / bibliothèque graphique OpenGL Performer avec des cartes GeForce 8800 GT, un PC par écran de projection). Ces trois PCs sont interconnectés avec un ordinateur pour la gestion des scénarios de trafic (environnement Windows). Ce dernier PC permet également de générer un rendu sonore réaliste et d'enregistrer les réponses des participants.

Les scènes visuelles représentent une voie à sens unique large de 4.20 m de trottoir à trottoir. Le trafic est toujours composé d'une moto et de deux véhicules légers. La vitesse d'approche des véhicules varie selon les conditions expérimentales. Les véhicules se déplacent de la gauche vers la droite en référence à la position du piéton au bord du trottoir. Les scènes visuelles sont projetées par trois projecteurs BARCO sur trois écrans larges de 2.70 m et haut de 1.90 m. Ce dispositif permet d'avoir, dans la position du piéton, un champ de vision horizontal de 90° (et de 140° en milieu de traversée) et un champ vertical de 40°. L'enregistrement des positions du piéton lors de la traversée se fait par l'intermédiaire d'un locomètre (câble attaché au niveau de la taille des participants). Ce système a également pour fonction d'asservir la scène visuelle au déplacement du piéton, et donc à son point de vue qui se modifie pendant la traversée. Enfin, 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.

Figure 1 : Vue de haut du dispositif expérimental et présentation d'une scène routière à partir du point de vue de départ du piéton.



3. Procédure

L'expérience comprend 3 phases :

1) Phase pré-test : Lors de la première séance, nous évaluons les comportements de traversée de rue des participants du groupe expérimental (avant de prendre part au programme de réentraînement à la traversée de rue) et des participants du groupe contrôle (avant la formation à Internet) sur le simulateur de traversée de rue.

2) Phase d'entraînement : Approximativement une semaine après la phase pré-test, les participants du groupe expérimental prenaient part à deux séances de réentraînement à la traversée de rue tandis que le groupe contrôle participait à deux séances de formation à l'utilisation d'Internet. Pour chaque groupe, les deux séances avaient approximativement lieu à une semaine d'intervalle.

3) Phase post-test : La quatrième séance consistait en une dernière évaluation des comportements de traversée de rue des participants du groupe expérimental (après l'entraînement à la traversée de rue) et des participants du groupe contrôle (après la formation à Internet) sur le simulateur de traversée de rue. La séance post-test prenait place approximativement 1 semaine après la dernière séance d'entraînement à la traversée de rue pour le groupe expérimental et après la formation à Internet pour le groupe contrôle.

Lors des **phases pré et post tests de l'expérience**, les 40 participants ont répondu à une tâche de traversée de rue sur simulateur. A chaque essai le trafic était composé de trois véhicules, une moto suivie de deux voitures qui se déplacent de la gauche vers la droite en référence à la position du piéton au bord du trottoir. Les participants devaient décider s'ils acceptaient ou non de traverser entre les deux voitures à l'approche. S'il pensait avoir le temps, le participant se déplaçait d'un trottoir à l'autre. Sinon, il conservait sa position sur le trottoir. L'expérimentateur précisait au participant qu'il n'avait jamais le temps de traverser avant la moto, ni entre la moto et la première voiture. La vitesse des véhicules variait : les véhicules roulaient à 30, 40, 50, 60, ou 70 km/h. Au début de chaque scène, la moto se trouvait à 1.5 s du piéton et la première voiture à 1 s de la moto. L'intervalle temporel qui séparait le 2^{ème} véhicule du 1^{er} variait entre 1 et 7 s en fonction des essais. Pour chaque vitesse, les différents Temps Inter-Véhiculaires (TIV) proposés aux participants se répartissaient de la manière suivante :

TIV	1 s	2s	3s	4s	5s	6s	7s
Nombre d'essais proposés	1 essai	2 essais	3 essais	3 essais	3 essais	2 essais	1 essai

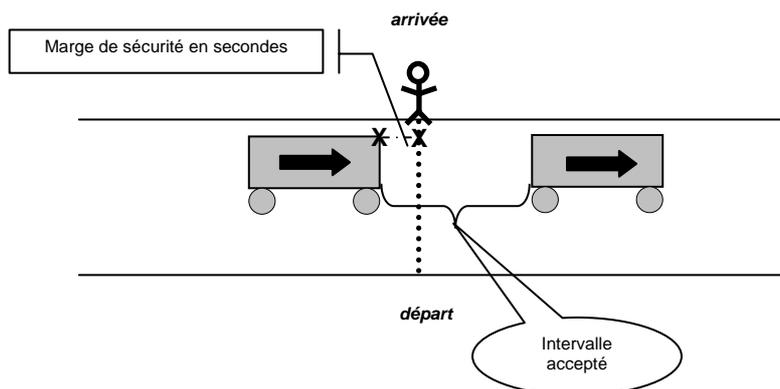
Le nombre d'essais proposés aux participants en fonction du TIV a été déterminé à partir de nos travaux antérieurs, les participants refusant de traverser pour les TIV les plus courts et acceptant de traverser les TIV les plus longs de façon systématique. Les essais critiques où le TIV est de 3, 4 et 5s sont répétés plusieurs fois. Les 15 essais étaient proposés pour chacune des vitesses (pour un total de 75 essais). Ces 75 essais étaient présentés de façon aléatoire et répartis en deux blocs d'essais (37 puis 38 essais), entrecoupés d'une pause de 10 minutes.

Avant de proposer la tâche expérimentale de traversée de rue, quelques essais de familiarisation étaient proposés au participant afin qu'il s'habitue et comprenne les consignes de la tâche de traversée de rue sur le simulateur. Dans ces exemples, nous faisons varier la vitesse d'approche des véhicules (30, 50 et 70 km/h) et le TIV (1, 4 et 7 secondes).

Les deux séances de la **phase d'entraînement à la traversée de rue**, d'une durée d'1h30 chacune à une semaine d'intervalle, avaient pour objectif d'améliorer la sécurité de la traversée de rue des 20 participants du groupe expérimental. L'objectif était plus particulièrement de solliciter les participants à mieux prendre en compte la vitesse d'approche des véhicules dans leur décision de traverser la rue. Pour cela, l'expérimentateur débutait la première séance par un entretien avec le participant. L'expérimentateur verbalisait, commentait et définissait les différentes informations à prendre en compte pour traverser la rue en toute sécurité et évoquait les différents comportements sécuritaires à adopter à l'aide d'un schéma (cf. Figure 2 ci-après). Étaient principalement évoqués : a) l'importance de la distance du véhicule à l'approche, de sa vitesse, du rapport distance-vitesse et donc du temps inter-véhiculaire, b) le rôle du moment d'initiation de la traversée (avant le 1^{er} véhicule, pendant son passage, etc.), et c) l'utilité d'observer le trafic pendant la traversée afin de pouvoir réguler sa vitesse

de marche en fonction des événements. L'expérimentateur présentait ensuite les principaux résultats de nos travaux antérieurs et insistait sur l'effet particulièrement important chez les piétons âgés de la vitesse d'approche du véhicule sur les marges de sécurité adoptées et sur l'intervalle accepté, provoquant dès lors des prises de risque non négligeables en cas de vitesse élevée. Ces deux indicateurs (marge de sécurité et intervalle accepté) étaient définis au participant à l'aide du schéma. La marge de sécurité correspond au temps entre la fin de la traversée et le passage du deuxième véhicule à la hauteur du piéton et l'intervalle accepté renvoie au TIV disponible que le piéton a accepté pour effectuer sa traversée.

Figure 2 : schéma utilisé pendant l'entretien préliminaire au programme d'entraînement à la traversée de rue



Après cet entretien préliminaire (d'une durée approximative de 30 minutes), le participant était invité à effectuer une série de trois modules de traversée de rue. Ces trois modules étaient répartis sur les deux séances d'entraînement et proposés dans un ordre aléatoire. L'objectif était d'inciter le participant à porter une grande attention à la vitesse d'approche du véhicule avant d'émettre sa décision (et donc à travailler le moment d'initiation de sa traversée), pendant la traversée de rue (en observant le trafic et donc en ajustant sa vitesse de marche si nécessaire) ou même après avoir émis la décision de franchir le trafic (et donc à veiller si la marge de sécurité était satisfaisante).

Les trois modules utilisaient les mêmes scènes visuelles que celles des séances pré et post-tests. La tâche était identique : le participant devait décider s'il acceptait de traverser entre les deux voitures à l'approche. Ces trois modules confrontaient le participant à 5 vitesses possibles d'approche des véhicules (30, 40, 50, 60 et 70 km/h), présentées deux par deux par module :

module A : les véhicules approchaient à 30 et 50 km/h

module B : les véhicules approchaient à 40 et 60 km/h

module C : les véhicules approchaient à 50 et 70 km/h

Chaque module comprenait 42 essais de traversée de rue. Ces 42 essais sont issus du croisement de 7 Temps Inter-Véhiculaires (de 1 à 7s., par pas de 1s., avec répétition des TIV critiques, soit 21 TIV au total) et de 2 vitesses possibles d'approche des véhicules (30-50 km/h ; 40-60km/h ou 50-70 km/h). Dans chaque module, les essais étaient présentés dans un ordre aléatoire prédéterminé.

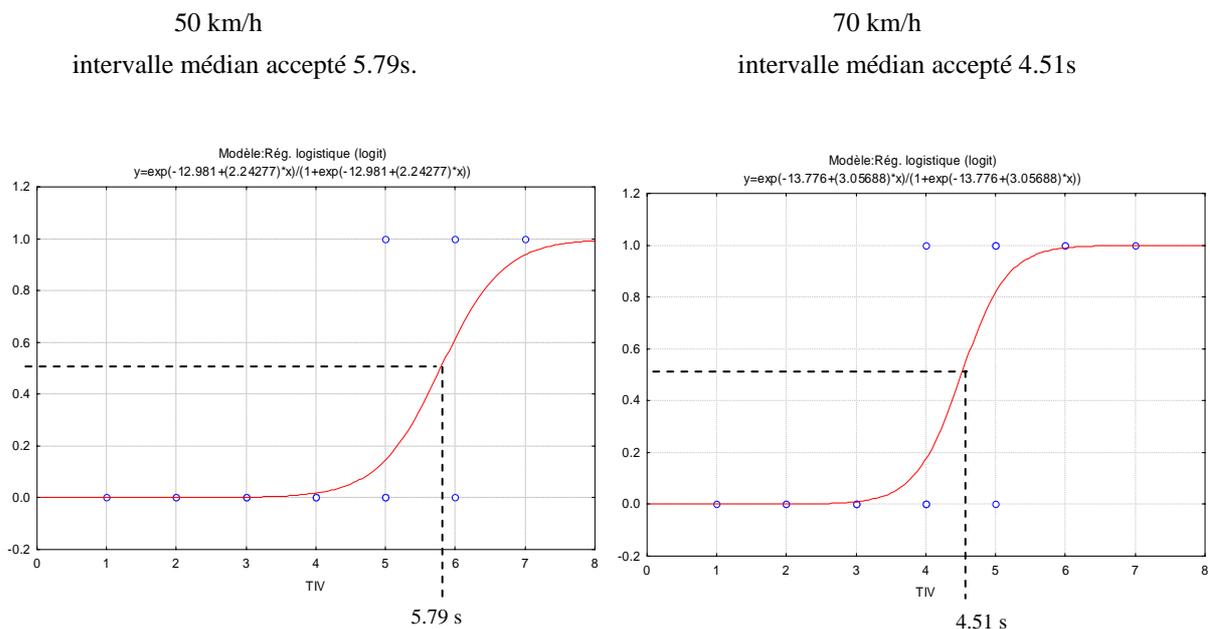
Chacun des modules (A, B ou C) était immédiatement et consécutivement répété, le participant effectuant deux fois de suite le même module.

Pendant et après chaque module, l'expérimentateur délivrait deux feedbacks :

1) La marge de sécurité. À chaque essai, la marge de sécurité était calculée *online* et délivrée au participant à chaque fois qu'il effectuait la traversée. Dans le cas où la marge était supérieure à 1.5 s, la traversée était considérée comme sécuritaire (critère envisagé en référence aux travaux de Simpson *et al.*, 2003). L'expérimentateur déclenchait alors l'essai suivant. Si la marge était inférieure à 1.5 s., l'expérimentateur informait le participant et envisageait avec lui les raisons de cette décision risquée (intervalle trop court en référence à sa vitesse de marche, moment d'initiation trop tardif, etc.). L'essai pouvait être à nouveau présenté au participant.

2) L'intervalle médian accepté. A la fin d'un module, l'expérimentateur étudiait directement avec le participant l'effet de la vitesse d'approche du véhicule sur l'intervalle médian accepté. L'expérimentateur invitait le participant à découvrir et à analyser les choix qu'il venait d'émettre en étudiant les données qui venaient d'être enregistrées sur un ordinateur. A l'aide d'un graphique (cf. Figure 3 ci-dessous), ils étudiaient ensemble le pourcentage de traversées que le participant avait acceptées en fonction du temps inter-véhiculaire et pour les deux vitesses considérées dans l'module. L'intervalle médian accepté était directement calculé (par une analyse de régression logistique directement effectuée sur les données brutes, cf. Figure 3). Le participant et l'expérimentateur comparaient alors l'intervalle médian accepté entre les deux vitesses d'approche des véhicules. Dans le cas de la présence d'un effet vitesse (intervalle médian se réduisant à mesure que la vitesse augmente), ils discutaient ensemble de l'importance de la vitesse d'approche du véhicule dans la décision de traverser la rue.

Figure 3 : exemple des données d'un participant du groupe expérimental étudiées pendant la séance d'entraînement. Le participant venait d'effectuer pour la deuxième fois le module C.



Au cours des deux séances d'entraînement, le participant pouvait ainsi prendre connaissance au fur et à mesure de l'évolution de ses comportements de traversée de rue grâce aux nombreux feedbacks et discussions avec l'expérimentateur.

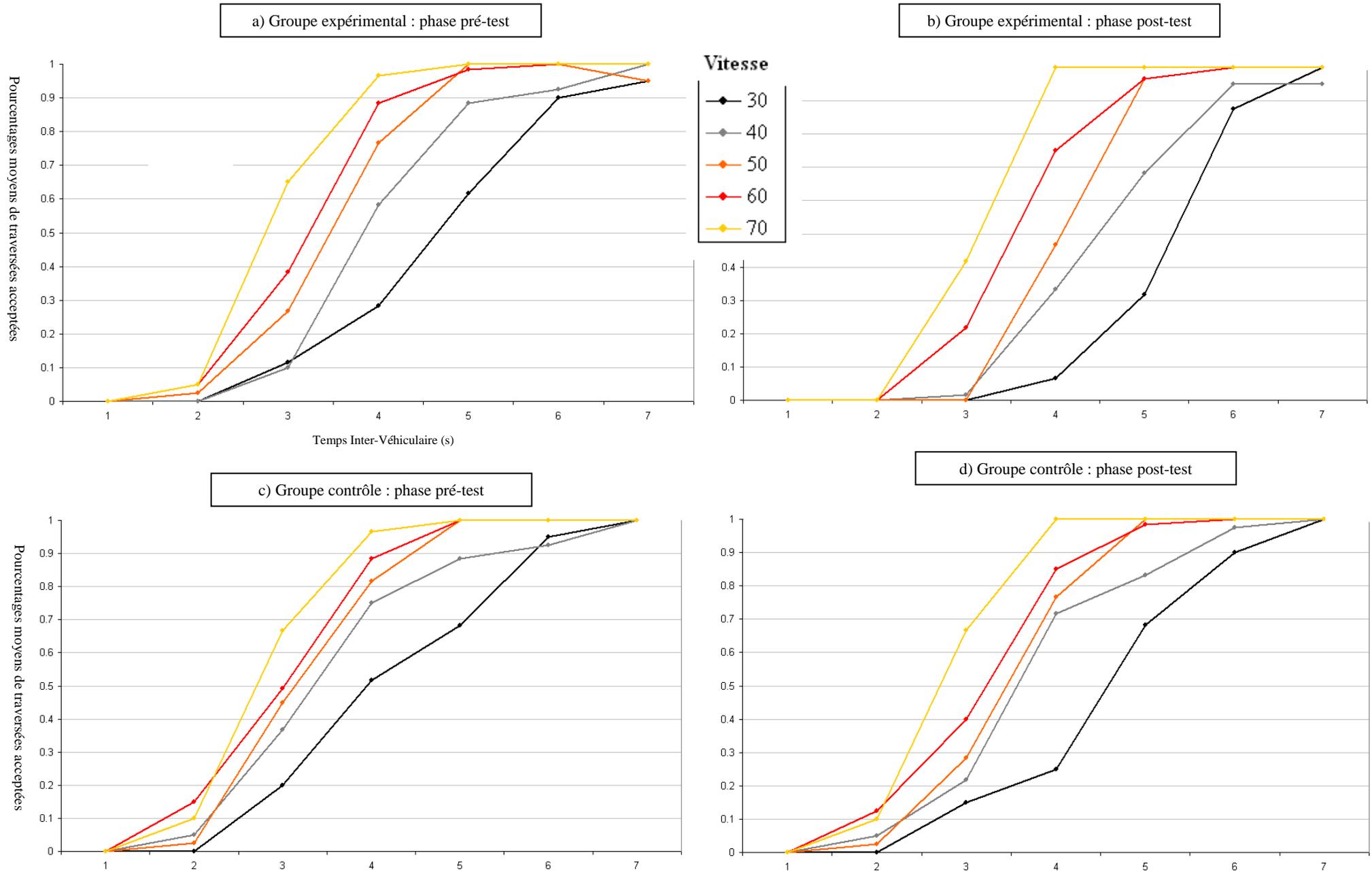
Les 20 autres participants, le **groupe contrôle**, participaient quant à eux pendant deux séances d'1h30, à une semaine d'intervalle, à une **formation à l'utilisation d'Internet**. L'expérimentateur abordait quatre grands thèmes : 1) l'utilisation d'un ordinateur, la manipulation du clavier et de la souris. Le participant s'entraînait à utiliser logiciel Word avec l'aide de l'expérimentateur ; 2) le World Wide Web, les sites Web et les moteurs de recherche – vs annuaires –. L'expérimentateur expliquait et définissait à l'aide d'exemples ces différents outils ; 3) la recherche d'informations à partir d'un moteur de recherche. L'expérimentateur abordait les différentes techniques pour rechercher et trouver des informations sur *Google* ; 4) Modules de recherche d'informations sur *Google*. Le participant répondait à une série de questions de recherche d'informations en fonction de ses intérêts personnels (ex. peinture, littérature, jardinage, santé, etc.) et à une série d'modules où la difficulté de la tâche variait (questions simples vs questions complexes). L'ensemble de la formation s'adaptait à l'expérience informatique préalable du participant (novice vs déjà utilisateur).

Chapitre III : Résultats

Pour chaque essai, la décision du participant de traverser ou de ne pas traverser était enregistrée (*cf.* section 1). Le déplacement proprement dit était également enregistré à chaque fois où le participant a accepté et effectué l'essai. À partir de ces données, plusieurs indicateurs ont été calculés (*cf.* sections 2 à 4). Chacun des indicateurs présentés et définis par la suite a été analysé par l'intermédiaire d'analyses de variance (Anovas, Statistica), le seuil de significativité étant fixé à .05. La taille des effets est indexée par l'indicateur η^2 partiel. Des tests post-hoc de Newmann-Keuls ont également été utilisés pour approfondir certains effets.

La figure 4 ci-dessous présente l'ensemble des réponses données aux deux phases tests par les participants des deux groupes en fonction de la vitesse des véhicules et du temps inter-véhiculaire.

Figure 4 : Proportions de traversées acceptées en fonction du TIV, du groupe, de la phase test, et de la vitesse



Ces données brutes suggèrent que les participants, indépendamment de leur groupe ou de la phase test, ont tendance à traverser plus fréquemment avec l'augmentation du TIV, mais également avec l'augmentation de la vitesse.

Par ailleurs, on note que les patterns de réponses se distinguent d'une phase test à l'autre, entre la phase pré-test et post-test, et cela d'autant plus pour le groupe expérimental. Les participants du groupe expérimental refusent plus souvent en phase post-test de traverser des TIV courts (ex. 2 et 3s) qu'en phase pré-test. Ils acceptent donc en moyenne de traverser pour des TIV plus longs en phase post-test qu'en phase pré-test (Figure 4 a vs 4 b).

1. Pourcentage de traversées acceptées

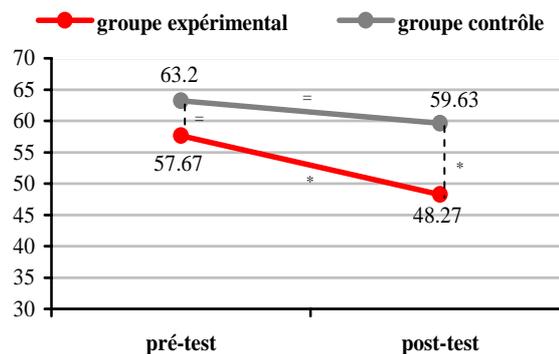
Pour chacune des phases test et des vitesses, le nombre de traversées acceptées par le participant a été calculé puis exprimé en pourcentage, le total de traversées acceptées étant rapporté au nombre d'essais proposés par vitesse (15 essais).

L'Anova Groupe2 x Phase2 x Vitesse5 sur les pourcentages moyens de traversées acceptées montre un effet principal du Groupe ($F(1,38)=6.12, p=.01798$), $\eta^2 =.14$, le groupe contrôle acceptant plus souvent de traverser ($M= 61.37\%$; $SE=2.40$) que le groupe expérimental ($M= 52.97\%$; $SE=2.40$).

On note également un effet principal de la Phase test ($F(1,38)=18.21, p=.00013$, $\eta^2 =.32$), les participants acceptant plus souvent de traverser en phase pré-test ($M= 60.43\%$; $SE=2.05$) qu'en phase post-test ($M= 53.9\%$; $SE=1.65$).

L'interaction Phase x Groupe est tendancielle ($F(1,38)=3.51, p=.0689$, $\eta^2 =.08$).

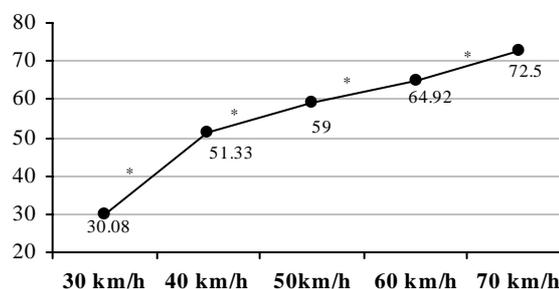
Figure 5 : Pourcentage moyen de traversées acceptées en fonction du groupe et de la phase



L'analyse post-hoc révèle que les participants des deux groupes ne se distinguent pas à la phase pré-test ($p>.40$; cf. figure 5 ci-dessus). En revanche, à la phase post-test, les participants du groupe expérimental acceptent en moyenne moins souvent de traverser ($M= 48.27\%$; $SE=2.33$) que les participants du groupe contrôle ($M= 59.63\%$; $SE=2.33$) ($p=.062$). Par ailleurs, on observe que la diminution du pourcentage moyen de traversées acceptées d'une phase test à l'autre n'est significative que chez le groupe expérimental ($p=.0002$).

Par ailleurs, les résultats indiquent un effet significatif de la Vitesse du véhicule à l'approche sur le pourcentage moyen de traversées acceptées par participant ($F(4,152)=157.78, p<.0001, \eta^2 =.81$). La figure 6 ci-dessous montre que le pourcentage moyen de traversées acceptées accroît à mesure que la vitesse augmente. Le test post-hoc révèle que ce pourcentage augmente significativement vitesse par vitesse (* $p<.00001$).

Figure 6 : Pourcentage moyen de traversées acceptées en fonction de la vitesse du véhicule



L'interaction Vitesse x Groupe est significative ($F(4,152)=3.32, p=.01216, \eta^2 =.08$). Le test post-hoc montre que le groupe expérimental comme le groupe contrôle traversent significativement plus souvent à mesure que la vitesse augmente ($p<.05$).

Enfin, on note que l'interaction Phase x Vitesse est significative ($F(4,152)=4.5, p=.00184, \eta^2 =.11$), les pourcentages moyens de traversées acceptées étant plus élevés en phase pré-test qu'en phase post-test pour toutes les vitesses ($p<.005$), sauf dans le cas où le véhicule roulait à 70 km/h ($p>.10$).

2. L'intervalle médian accepté

L'intervalle médian accepté (en secondes) par chacun des participants, et pour chacune des vitesses, a été calculé à partir des données brutes (nombre de traversées acceptées en fonction du temps inter-véhiculaire) par l'intermédiaire d'une analyse de régression logistique.

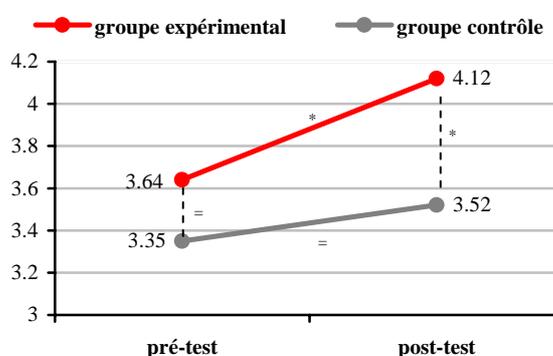
La fonction logistique appliquée, de la forme $F(x) = \frac{1}{1 + e^{-\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)}}$, nous a ainsi permis de déterminer pour chaque participant et par vitesse le point de transition entre « ne traverse pas » et « traverse » (argument α de la fonction ; x étant le temps inter-véhiculaire, et β la pente au point α).

L'Anova Groupe2 x Phase2 x Vitesse5 sur l'intervalle médian accepté montre un effet principal du Groupe $F(1,38)=6.2$, $p=.0173$, $\eta^2=.14$. L'intervalle médian accepté par le groupe expérimental ($M=3.88$ s; $SE=0.1258$) est plus large que celui accepté par le groupe contrôle ($M=3.4$ s; $SE=0.1258$).

On note également un effet principal de la Phase test $F(1,38)=18.285$, $p=.00012$, $\eta^2=.32$. L'intervalle médian accepté en phase pré-test ($M=3.5$ s; $SE=0.1056$) est plus court que celui accepté en phase post-test ($M=3.82$ s; $SE=0.0872$).

L'interaction Phase x Groupe est tendancielle $F(1,38)=4.031$, $p=.05183$, $\eta^2=.096$.

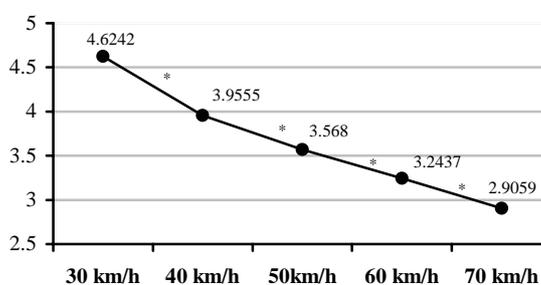
Figure 7 : Intervalle médian accepté (en secondes) en fonction de la phase test et du groupe



L'analyse post-hoc révèle que les participants des deux groupes ne se distinguent pas à la phase pré-test ($p>.40$; cf. figure 7 ci-dessus). En revanche, à la phase post-test, les participants du groupe expérimental acceptent en moyenne un intervalle médian significativement plus large ($M=4.12$ s; $SE=0.1233$) que les participants du groupe contrôle ($M=3.52$ s; $SE=0.1233$) ($p=.0583$). Par ailleurs, on observe que l'allongement de l'intervalle médian accepté d'une phase test à l'autre n'est significatif que pour le groupe expérimental ($p=.0002$).

Les résultats indiquent également un effet principal de la Vitesse $F(4,152)=145.98$, $p<.00001$, $\eta^2=.79$, l'intervalle médian accepté réduisant significativement à mesure que la vitesse augmente (cf. Figure 8 ci-dessous ; * $p<.05$).

Figure 8 : Intervalle moyen accepté (en secondes) en fonction de la vitesse du véhicule



L'interaction Vitesse x Groupe est significative $F(4,152)=3.52$, $p=.0089$, $\eta^2=.08$, les deux groupes optant pour des intervalles de plus en plus courts avec l'augmentation de la vitesse ($p<.05$).

L'interaction Phase x Vitesse est également significative $F(4,152)=3.1007$, $p=.01735$, $\eta^2=.08$, les intervalles médians acceptés étant plus larges en phase post-test qu'en phase pré-test pour toutes les vitesses ($p<.0005$), sauf dans le cas où le véhicule roulait à 70 km/h ($p>.10$).

3. Les comportements de traversée de rue

Trois indicateurs comportementaux ont été calculés à partir de la position du participant sur la route expérimentale respectivement aux positions du premier ou du second véhicule sur la route virtuelle.

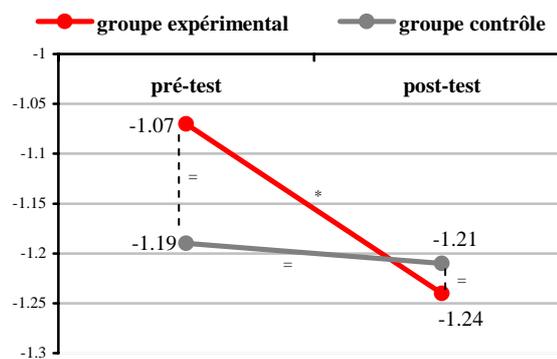
3.1 Le moment d'initiation de la traversée

Le moment d'initiation de la traversée a été calculé pour chacune des traversées effectuées et pour chacune des vitesses. Il correspond au temps écoulé entre le moment où l'arrière du premier véhicule passe à la hauteur du participant et le moment où ce dernier démarre sa traversée. L'indicateur est négatif à chaque fois que le participant démarre sa traversée avant que le premier véhicule ne soit entièrement passé (ex. -0,7 s pour un participant initiant sa traversée 700 msec. avant le passage du premier véhicule) et positif si le participant démarre après le passage du premier véhicule (ex. 0.2 s pour un participant initiant sa traversée 200ms après que le premier véhicule soit passé).

L'Anova Groupe2 x Phase2 x Vitesse5 indique un effet principal de la Phase test $F(1,38)=6.35$, $p=.0160$, $\eta^2=.14$, la traversée étant initiée plus tôt en phase post-test ($M=-1.23$ s; $SE=0.0693$) qu'en phase pré-test ($M=-1.13$ s; $SE=0.0632$).

L'interaction Phase x Groupe est marginale $F(1,38)=3.52$, $p=.0683$, $\eta^2=.08$.

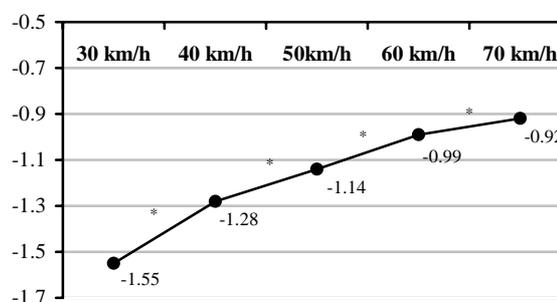
Figure 9 : Moment d'initiation moyen (en secondes) en fonction de la phase test et du groupe



L'analyse post-hoc révèle que les participants des deux groupes ne se distinguent ni à la phase pré-test ($p>.50$; cf. figure 9 ci-dessus) ni à la phase post-test ($p>.80$). En revanche, on note que seuls les participants du groupe expérimental montrent un raccourcissement du moment d'initiation ($p=.018$).

Les résultats indiquent également un effet principal de la Vitesse $F(4,152)=393.49$, $p<.00001$, $\eta^2=.91$, les participants initiant de plus en plus tard à mesure que la vitesse augmente (cf. Figure 10 ci-dessous ; * $p<.05$).

Figure 10 : Moment d'initiation moyen (en secondes) en fonction de la vitesse du véhicule



Les résultats montrent enfin que l'interaction Vitesse x Groupe est significative $F(4,152)=2.51$, $p=.0445$, $\eta^2=.06$, les deux groupes initiant de plus en plus tard avec l'augmentation de la vitesse ($p<.03$).

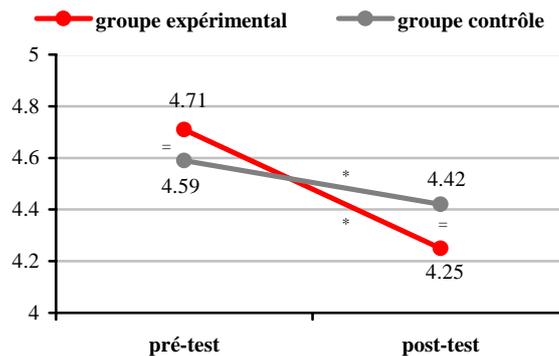
3.2 Le temps de traversée

Le Temps de traversée correspond au temps écoulé en secondes entre le moment où le participant démarre sa traversée et le moment où il a complètement atteint le trottoir d'arrivée. Il est calculé pour chacune des traversées effectuées et pour chacune des vitesses.

L'Anova Groupe2 x Phase2 x Vitesse5 indique un effet principal de la Phase test $F(1,38)=40.27$, $p<.00001$, $\eta^2 =.51$, le temps de traversée étant plus court en phase post-test ($M= 4.33$ s; $SE=0.057$) qu'en phase pré-test ($M= 4.65$ s; $SE=0.063$).

L'interaction Phase x Groupe est significative $F(1,38)=8.12$, $p=.00704$, $\eta^2 =.18$.

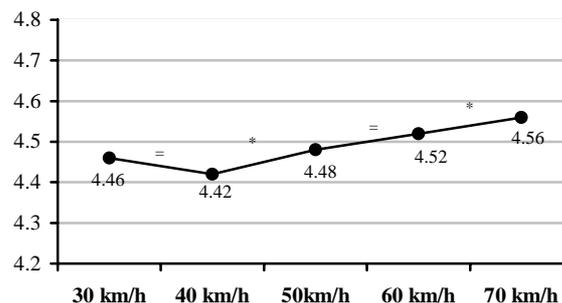
Figure 11 : Temps de traversée moyen (en secondes) en fonction de la phase test et du groupe



L'analyse post-hoc révèle que les participants des deux groupes ne se distinguent ni à la phase pré-test ($p>.40$; cf. figure 11 ci-dessus) ni à la phase post-test ($p>.20$). On note que les participants du groupe expérimental ($p=.00017$), comme les participants du groupe contrôle ($p=.018$) montrent un raccourcissement du temps de traversée moyen d'une phase à l'autre. Toutefois, ce raccourcissement est plus marqué dans le groupe expérimental (diminution de 0.46s) que dans le groupe contrôle (diminution de 0.17s).

Les résultats indiquent également un effet principal de la Vitesse $F(4,152)=11.34$, $p<.00001$, $\eta^2 =.23$. La Figure 12 ci-dessous montre que le temps de traversée des participants varie en fonction de la vitesse d'approche du véhicule (* $p<.05$).

Figure 12 : Temps de traversée moyen (en secondes) en fonction de la vitesse



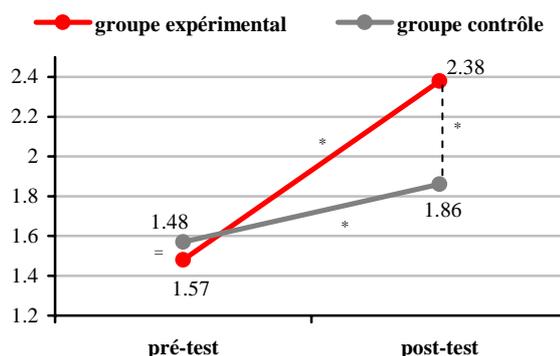
3.3 La marge de sécurité

La marge de sécurité correspond au temps écoulé (en secondes) entre la fin de la traversée et le passage du deuxième véhicule à hauteur du piéton. La marge de sécurité est négative dans le cas où le piéton se trouve encore sur la chaussée au moment où le deuxième véhicule parvient à sa hauteur. Elle est calculée pour chacune des traversées effectuées et chacune des vitesses.

L'Anova Groupe2 x Phase2 x Vitesse5 indique un effet principal de la Phase test $F(1,38)=129.85$, $p<.00001$, $\eta^2=.77$, la marge de sécurité étant plus élevée en phase post-test ($M= 2.12$ s; $SE=0.068$) qu'en phase pré-test ($M= 1.53$ s; $SE=0.062$).

L'interaction Phase x Groupe est significative $F(1,38)=33.206$, $p<.00001$, $\eta^2=.47$.

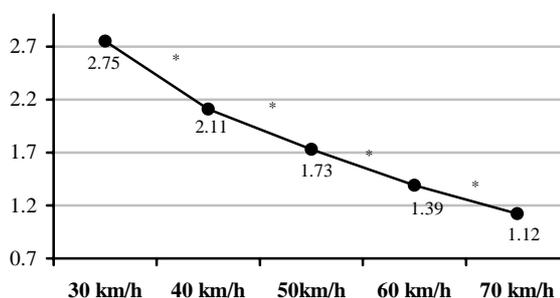
Figure 13 : Marge de sécurité moyenne (en secondes) en fonction de la phase test et du groupe



L'analyse post-hoc révèle que les participants des deux groupes ne se distinguent pas à la phase pré-test ($p>.60$; cf. figure 13 ci-dessus). En revanche, à la phase post-test, les participants du groupe expérimental adoptent en moyenne une marge de sécurité plus élevée ($M= 2.38$ s; $SE=0.09$) que celle adoptée par les participants du groupe contrôle ($M= 1.86$ s; $SE=0.09$). On note toutefois que les participants des deux groupes montrent une amélioration de leur marge de sécurité de la phase pré-test à la phase post-test ($p=.00017$ pour le groupe expérimental et $p=.00043$ pour le groupe contrôle).

Les résultats indiquent également un effet principal de la Vitesse $F(4,152)=364.88$, $p<.00001$, $\eta^2=.91$. La Figure 14 ci-dessous montre que la marge de sécurité adoptée par les participants diminue à mesure que la vitesse du véhicule à l'approche augmente (* $p<.00001$).

Figure 14 : Marge de sécurité moyenne (en secondes) en fonction de la vitesse



L'interaction Phase x Vitesse est significative $F(4,152)=4.07$, $p=.0037$, $\eta^2=.10$. Le test post-hoc révèle que la marge de sécurité est plus élevée en phase post-test qu'en phase pré-test pour toutes les vitesses ($p<.0001$).

4. Ajustement comportemental au temps disponible

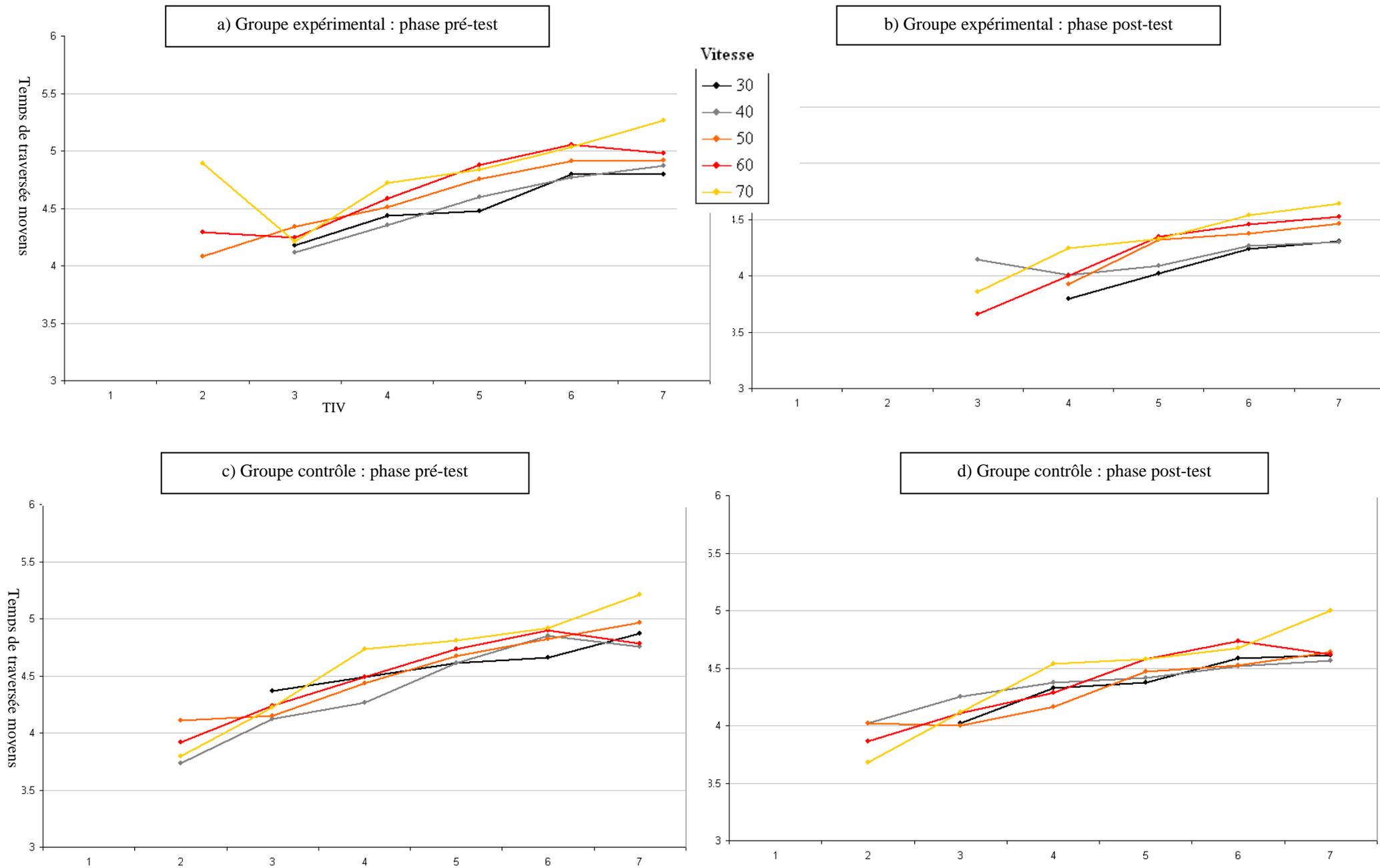
Pour déterminer si les participants ajustent leurs comportements de traversée au Temps Inter-Véhiculaire disponible (TIV), et ce notamment après avoir bénéficié du programme d'entraînement, nous avons étudié les relations linéaires entre le temps de traversée et le TIV d'une part, et entre le moment d'initiation et le TIV d'autre part. Les régressions linéaires ont considérées toutes les traversées pour chaque TIV proposé. A partir des droites de régression, dont l'équation est du type $Y=b+aX$, nous considérons les indicateurs suivants :

- i) le coefficient de corrélation (*i.e.* le degré de relation entre deux variables, entre le Temps de Traversée et le TIV et entre le Moment d'Initiation et le TIV)
- ii) la pente de la droite de régression (*i.e.*, la valeur de a dans l'équation $Y=b+aX$, autrement dit le taux changement constaté au niveau du Temps de Traversée ou du Moment d'Initiation par un changement d'unité au niveau du TIV)

4.1. Ajustement du temps de traversée au temps inter-véhiculaire disponible

La figure 15 ci-après représente le temps de traversée moyen en fonction des TIV proposés (de 1 à 7 secondes), de la vitesse du véhicule à l'approche (de 30 à 70 km/h), du groupe (expérimental vs contrôle) et de la phase test (pré vs post-test).

Figure 15 : Temps de traversée moyens en fonction du TIV, du groupe, de la phase test, et de la vitesse



De façon globale, sur les 4 figures (a, b, c et d), on observe que les participants prennent plus de temps pour traverser la route expérimentale à mesure que le TIV proposé augmente : en moyenne, ils mettent 4.75 s pour traverser pour un TIV de 7 s contre 3.96 s pour traverser un TIV de 2 s. Les statistiques confirment l'adaptation de la vitesse de marche au Temps Inter-Véhiculaire disponible : le coefficient de corrélation moyen entre le Temps de Traversée et le TIV est de $r=.49$. Néanmoins, on observe que la pente moyenne des droites de régressions est relativement faible ($a=0.17$).

Sur ces figures, on observe également des différences liées à la vitesse d'approche du véhicule.

Le tableau 5 ci-dessous montre que les coefficients moyens de corrélation entre le temps de traversée et le TIV ainsi que les pentes moyennes de régression augmentent avec la vitesse. Ainsi, le coefficient moyen de corrélation relevé pour la vitesse 30 km/h ($r=.416$) est inférieur à celui observé à 70 km/h ($r=.58$). Toutefois, la différence n'apparaît pas significative ($p=.1793$)¹. Les résultats vont dans le même sens pour ce qui concerne la pente moyenne des droites de régression.

Tableau 5 : Coefficients de corrélation moyens entre Temps de Traversée et TIV et pentes moyennes des droites de régression en fonction de la vitesse d'approche du véhicule

	30 km/h	40 km/h	50 km/h	60 km/h	70 km/h
Coefficient de corrélation moyen	$r=.416$ ($SE=0.060$)	$r=.413$ ($SE=0.047$)	$r=.496$ ($SE=0.056$)	$r=.553$ ($SE=0.031$)	$r=.581$ ($SE=0.042$)
Pente moyenne	$a=0.163$ ($SE=0.022$)	$a=0.134$ ($SE=0.020$)	$a=0.159$ ($SE=0.022$)	$a=0.178$ ($SE=0.014$)	$a=0.194$ ($SE=0.018$)

Enfin, sur la figure 15 ci-dessus, on observe que les pentes des courbes sont relativement comparables d'une phase test à l'autre de l'étude, autant dans le groupe expérimental que contrôle. A la lecture du tableau 6 ci-dessous, on note que le coefficient moyen de corrélation ne varie pas significativement entre la phase pré et post test dans le groupe expérimental ($r=.46$ vs $r=.479$ respectivement, $p=.4584$)¹ comme dans le groupe contrôle ($r=.54$ vs $r=.49$ respectivement, $p=.3943$). Les pentes moyennes des droites de régression ne varient pas non plus significativement d'une phase test à l'autre, dans aucun des deux groupes.

Tableau 6 : Coefficients de corrélation moyens entre Temps de Traversée et TIV et pentes moyennes des droites de régression en fonction du groupe et de la phase test

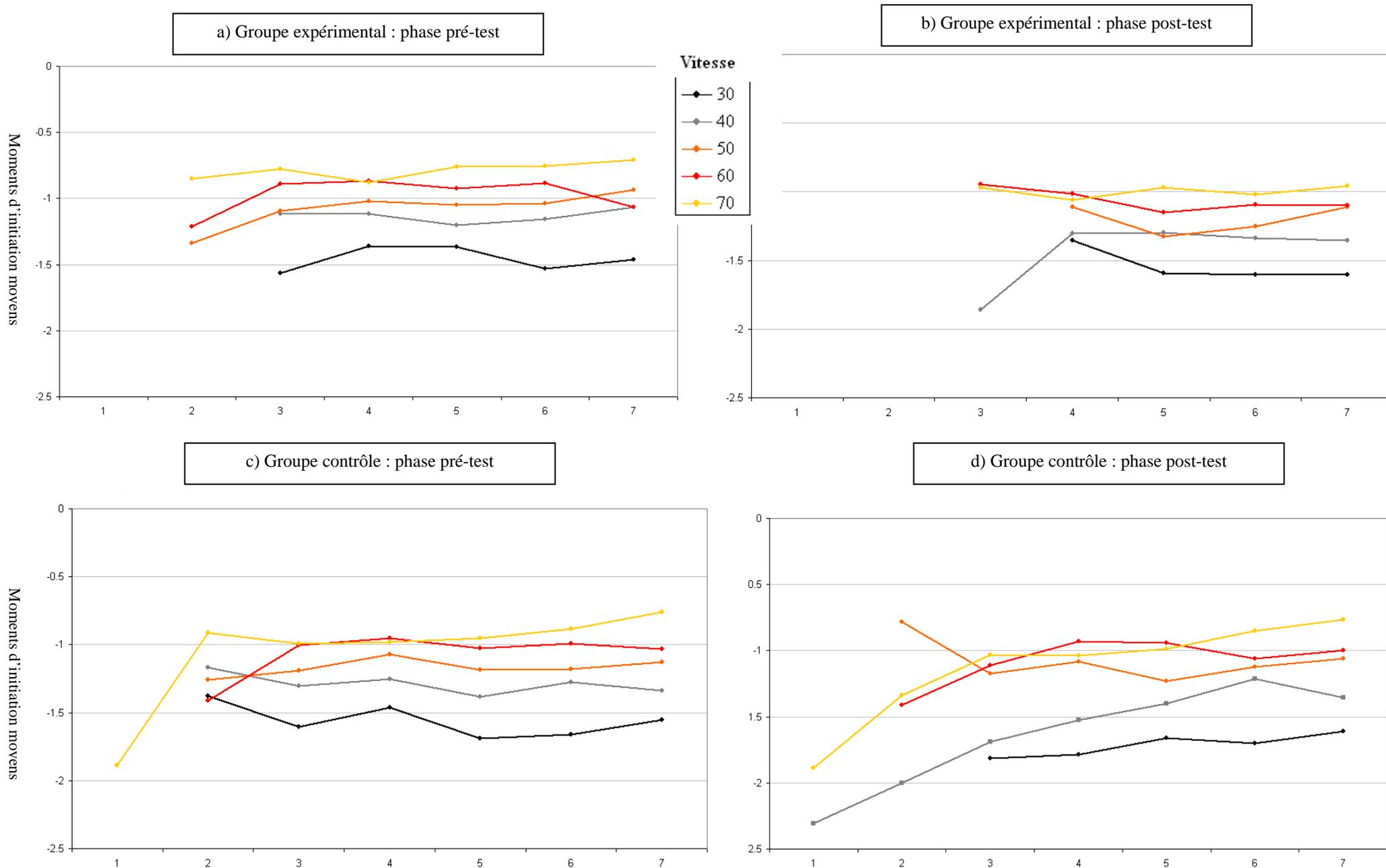
	Groupe expérimental		Groupe contrôle	
	phase pré-test	phase post-test	phase pré-test	phase post-test
Coefficient de corrélation moyen	$r=.460$ ($SE=0.051$)	$r=.479$ ($SE=0.065$)	$r=.537$ ($SE=0.051$)	$r=.491$ ($SE=0.065$)
Pente moyenne	$a=0.152$ ($SE=0.019$)	$a=0.145$ ($SE=0.029$)	$a=0.200$ ($SE=0.019$)	$a=0.166$ ($SE=0.029$)

4.2. Ajustement du moment d'initiation au temps inter-véhiculaire disponible

La figure 16 ci-après représente le moment d'initiation moyen en fonction des TIV proposés (de 1 à 7 secondes), de la vitesse du véhicule à l'approche (de 30 à 70 km/h), du groupe (expérimental vs contrôle) et de la phase test (pré vs post-test).

¹ Test unilatéral d'homogénéité entre deux coefficients de corrélation.

Figure 16 : Moments d'initiation moyens en fonction du TIV, du groupe, de la phase test, et de la vitesse



De façon globale, sur les 4 figures (a, b, c et d) ci-dessus, on observe que les participants adaptent très peu le moment d'initiation de leur traversée au Temps Inter-Véhiculaire disponible. On note une tendance à l'initiation plus précoce pour les TIV les plus courts (1, 2 et 3s). Les analyses révèlent que le coefficient de corrélation moyen entre le Moment d'Initiation et le TIV est très faible ($r=0.02$) et la pente moyenne nulle ($a=0.0005$).

Su ces figures, on observe également des différences liées à la vitesse d'approche du véhicule. Le tableau 7 ci-dessous montre que les coefficients moyens de corrélation entre le temps de traversée et le TIV tendent à légèrement augmenter avec la vitesse, toutefois ces différences ne sont pas significative (entre 30 et 70 km/h, $p=.0818$). Les résultats vont dans le même sens pour ce qui concerne les pentes moyennes des droites de régression.

Tableau 7 : Coefficients de corrélation moyens entre Moment d'Initiation et TIV et pentes moyennes des droites de régression en fonction de la vitesse d'approche du véhicule

	30 km/h	40 km/h	50 km/h	60 km/h	70 km/h
Coefficient de corrélation moyen	$r = -0.141$ ($SE=0.063$)	$r = 0.077$ ($SE=0.063$)	$r = 0.066$ ($SE=0.055$)	$r = -0.084$ ($SE=0.04$)	$r = 0.183$ ($SE=0.051$)
Pente moyenne	$a = -0.049$ ($SE=0.022$)	$a = 0.016$ ($SE=0.018$)	$a = 0.016$ ($SE=0.015$)	$a = -0.024$ ($SE=0.011$)	$a = 0.038$ ($SE=0.011$)

Enfin, sur la figure 16 ci-dessus, on note que les pentes des courbes sont relativement comparables d'une phase test à l'autre de l'étude, autant pour le groupe expérimental que contrôle. A la lecture du tableau 8 ci-dessous, on retient que le coefficient moyen de corrélation ne varie pas entre la phase pré et post-test, ni dans le groupe expérimental ($r=0.05$ vs $r=0.02$ respectivement, $p=.4488$) ni dans le groupe contrôle ($r=-0.06$ vs $r=0.07$ respectivement, $p=.2886$). Il en va de même pour les pentes des droites de régression.

Tableau 8 : Coefficients de corrélation moyens entre Moment d'Initiation et TIV et pentes moyennes des droites de régression en fonction du groupe et de la phase test

	Groupe expérimental		Groupe contrôle	
	phase pré-test	phase post-test	phase pré-test	phase post-test
Coefficient de corrélation moyen	$r = 0.052$ ($SE=0.056$)	$r = 0.016$ ($SE=0.071$)	$r = -0.061$ ($SE=0.056$)	$r = 0.074$ ($SE=0.071$)
Pente moyenne	$a = 0.004$ ($SE=0.016$)	$a = -0.006$ ($SE=0.018$)	$a = -0.024$ ($SE=0.016$)	$a = 0.024$ ($SE=0.019$)

5. Catégorisation des décisions de traversée de rue

Plusieurs catégories de décisions ont été distinguées en fonction de la réponse émise par le sujet (traversée acceptée vs traversée refusée), de sa position sur la route expérimentale, et de la position respective du deuxième véhicule sur la route virtuelle.

5.1 Les collisions

Parmi les traversées acceptées, nous avons calculé le nombre de collisions. Une collision se produit lorsque le participant se trouve sur la trajectoire de la voiture au moment où celle-ci passe à sa hauteur. Dans ces conditions, le participant est virtuellement « heurté » par le deuxième véhicule à l'approche. Ces données ont ensuite été exprimées en pourcentages, le nombre total de collision étant rapporté au nombre de traversées acceptées par le participant.

Tableau 9 : Pourcentages moyens (écarts-types) de collisions par participant en fonction de la phase test, de la vitesse du véhicule à l'approche et du groupe auquel appartient le participant

Vitesse :	Phase pré-test					Phase post-test				
	30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
Groupe expérimental	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0.72 (3.11)	0.80 (2.41)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Groupe contrôle	0 (0)	0 (0)	0.56 (2.42)	0.39 (1.68)	0.80 (2.41)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0.42 (1.82)	0.36 (1.68)

Sur l'ensemble des essais (6000), seules 9 collisions se sont produites, dont deux pour un même participant. Dans le tableau 9, on note que les collisions ont eu lieu lorsque le véhicule approchait à vitesse élevée : 1 collision à 50 km/h, 3 à 60 km/h et 5 à 70 km/h. Elles concernent des essais où l'intervalle inter-véhiculaire était court en référence à la vitesse de marche des participants : 5 collisions où le TIV était de 2s, 3 où le TIV était de 3s et 1 collision où le TIV était de 4s. Par ailleurs, on retient qu'autant de femmes que d'hommes ont été victimes de collisions (4 femmes, une femme ayant été heurtée deux fois, et 4 hommes). Enfin, 8 collisions sur 9 ont eu lieu alors que le participant parvenait à la fin de la zone de collision (qui correspond à la largeur de la trajectoire du véhicule à l'approche). Pour ce qui concerne l'effet de l'entraînement, on observe que dans le groupe expérimental, les collisions ont eu lieu uniquement en session pré-test (avant l'entraînement) alors que dans le groupe contrôle, quasiment autant de collisions se sont produites en session pré-test qu'en session post-test.

Tableau 10 : Descriptif des collisions

Participant	Genre	Groupe	Phase	vitesse	TIV	Position du piéton dans la zone de collision
3	femme	expérimental	pré-test	70	2	milieu
4	femme	expérimental	pré-test	60	4	fin
16	homme	expérimental	pré-test	70	3	fin
22	femme	contrôle	pré-test	70	2	fin
22	femme	contrôle	post-test	60	2	fin
31	homme	contrôle	post-test	70	2	fin
33	homme	contrôle	pré-test	70	3	fin
37	femme	contrôle	pré-test	60	2	fin
38	homme	contrôle	pré-test	50	3	fin

5.2 Les décisions dangereuses

Parmi les traversées acceptées, nous avons calculé le nombre de décisions dangereuses. Dans ce cas de figure, le piéton n'avait pas atteint le trottoir et se trouvait encore sur la chaussée au moment où la voiture passait à sa hauteur : la marge de sécurité (telle que définie auparavant, cf. page 32) était donc inférieure à 0 s, mais le piéton n'était pas heurté par le véhicule à l'approche. Ces données ont ensuite été exprimées en pourcentage, le total de décisions dangereuses étant rapporté au nombre de traversées acceptées par le participant.

Tableau 11 : Pourcentages moyens (écart-types) de décisions dangereuses en fonction de la phase test, de la vitesse du véhicule à l'approche et du groupe auquel appartient le participant

Vitesse :	Phase pré-test					Phase post-test				
	30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
Groupe expérimental	0.92 (2.76)	0.5 (2.18)	8.77 (10.88)	16.21 (14.33)	26.37 (12.32)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1.81 (5.84)	4.36 (8.23)
Groupe contrôle	0.5 (2.18)	5.4 (9.05)	10.11 (11.07)	14.96 (11.91)	21.4 (15.88)	0 (0)	1.81 (3.67)	2.43 (5.28)	8.03 (10.09)	10.87 (11.06)

Compte tenu de la dispersion nulle des données relevées dans la condition où le véhicule roulait à 30 km/h (cf. Tableau 11), l'Anova ne considérera que les données relevées lorsque le véhicule roulait à 40, 50, 60, et 70 km/h (facteur Vitesse à 4 modalités au lieu de 5).

L'Anova Groupe2 x Phase2 x Vitesse4 indique un effet principal de la Phase test $F(1,38)=56.47$, $p<.00001$, $\eta^2 = .60$, le pourcentage moyen de décisions dangereuses étant plus important en phase pré-test ($M= 12.96\%$; $SE=1.47$) qu'en phase post-test ($M= 3.67\%$ s; $SE=0.77$).

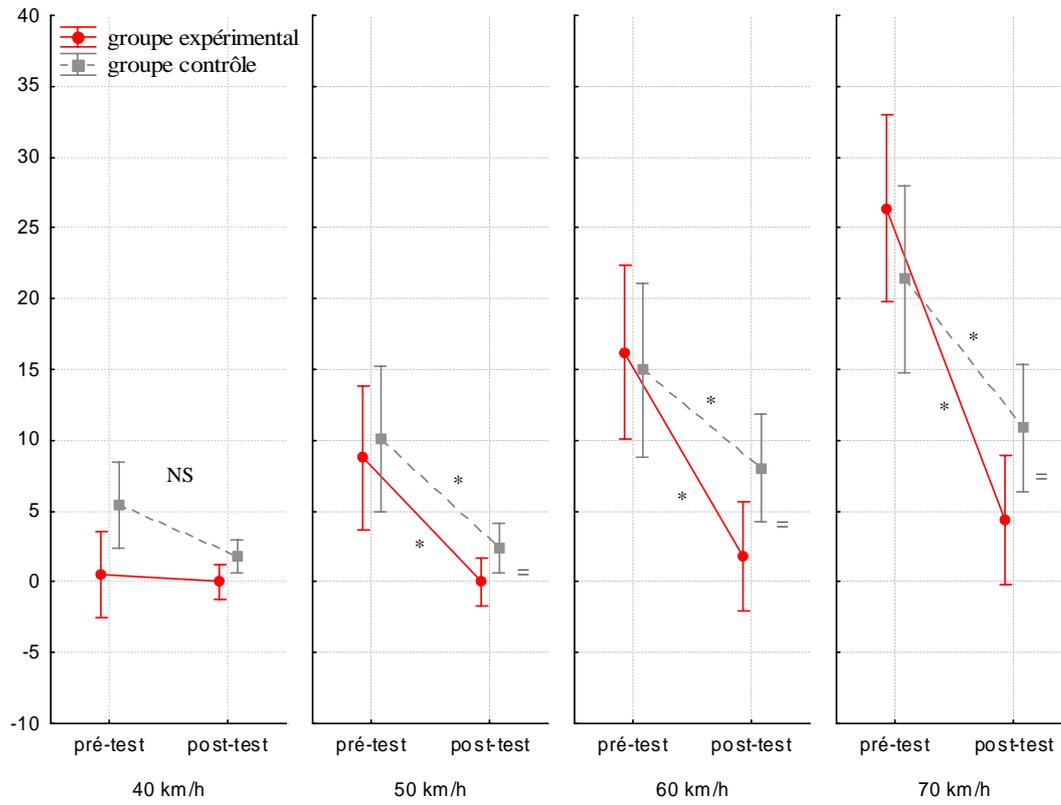
Les résultats révèlent également un effet principal de la Vitesse $F(3,114)=44.37$, $p<.00001$, $\eta^2 = .54$, le pourcentage moyen de décisions dangereuses augmentant à mesure que la vitesse du véhicule à l'approche augmente.

L'interaction Phase x Vitesse est significative $F(3,114)=16.62$, $p<.00001$, $\eta^2 = .30$. Le test post-hoc révèle que lorsque le véhicule approche à 50, 60 et 70 km/h, le pourcentage moyen de décisions dangereuses est plus élevé en phase pré-test qu'en phase post-test ($p<.0002$). Lorsque le véhicule approche plus lentement, à 40 km/h, le pourcentage moyen de décisions dangereuses ne varie plus en fonction de la phase ($p>.30$).

L'interaction triple Phase x Vitesse x Groupe est significative $F(3,114)=5.04$, $p=.0026$, $\eta^2 = .12$. La figure 17 ci-après et le test post-hoc montrent que, alors qu'à 40 km/h aucun des pourcentages moyens ne se différencie, les deux groupes montrent une diminution significative du pourcentage moyen de décisions dangereuses entre la phase pré et post test lorsque le véhicule approche à 50, 60 et 70 km/h ($p<.01$). Par ailleurs, à la phase post-test, les deux groupes ne se différencient pas, pour aucune des vitesses ($p>.50$). Mais, alors qu'en phase pré-test les deux groupes montrent des pourcentages moyens de décisions dangereuses significativement plus importants à 70 km/h qu'à 40 km/h ($p<.00002$), en phase post-test, les participants du groupe expérimental ont un pourcentage de décisions dangereuses à 70 km/h ($M=4.4\%$, $SE=2.24$) qui ne diffère plus de celui relevé à 40 km/h ($M=0$, $SE=0.6$) ($p>.20$). Au contraire, en phase post-test, les participants du groupe contrôle persistent à émettre significativement plus de décisions dangereuses à 70 km/h ($M=10.87\%$, $SE=2.24$) qu'à 40 km/h ($M=1.81\%$, $SE=0.6$) ($p<.0007$).

Figure 17 : Pourcentage moyen de décisions dangereuses en fonction de la phase du test, de la vitesse du véhicule et du groupe auquel appartient le participant.

Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 0.95



5.3 Les décisions risquées

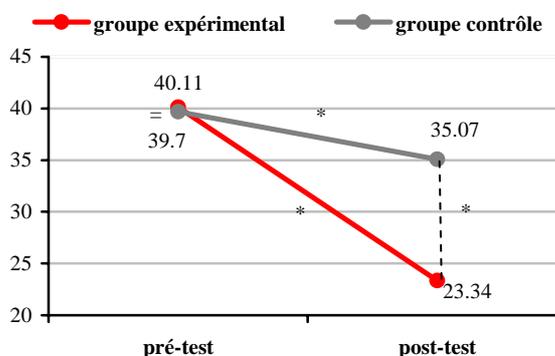
Parmi les traversées acceptées, nous avons également calculé le nombre de décisions risquées par participant. Dans ce cas de figure, le piéton est parvenu sur le trottoir d'arrivée avant que le deuxième véhicule ne parvienne à sa hauteur mais sa marge de sécurité était comprise entre 0 et 1.5 secondes (le critère de 1.5s fait référence aux travaux de Simpson *et al.*, 2003). Ces données ont ensuite été exprimées en pourcentage, le total de décisions risquées étant rapporté au nombre de traversées acceptées par le participant.

L'Anova Groupe2 x Phase2 x Vitesse5 révèle un effet principal du Groupe $F(1,38)=4.62$, $p=.0381$, $\eta^2=.11$, le pourcentage moyen de décisions risquées du groupe expérimental ($M=31.73\%$; $SE=1.86$) étant inférieur à celui du groupe contrôle ($M=37.38\%$; $SE=1.86$).

On retient également un effet principal de la Phase Test $F(1,38)=63.52$, $p<.00001$, $\eta^2=.63$, le pourcentage moyen de décisions risquées étant plus élevé en phase pré-test ($M=39.9\%$; $SE=1.23$) qu'en phase post-test ($M=29.21\%$; $SE=1.69$).

L'interaction Phase x Groupe est significative $F(1,38)=20.45$, $p=.00006$, $\eta^2=.35$.

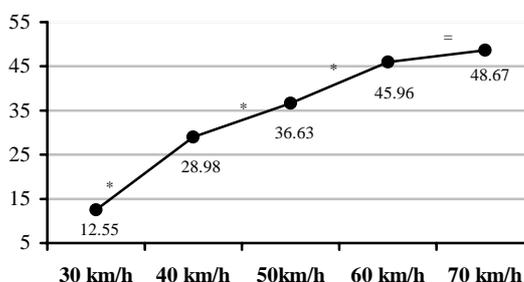
Figure 18 : Pourcentage moyen de décisions risquées en fonction de la phase test et du groupe



L'analyse post-hoc révèle que les participants des deux groupes ne se distinguent pas à la phase pré-test ($p>.90$; cf. figure 18 ci-dessus). En revanche, à la phase post-test, les participants du groupe expérimental émettent en moyenne significativement moins ($p<.004$) de décisions risquées ($M=23.34\%$; $SE=2.39$) que le groupe contrôle ($M=35.07\%$; $SE=2.39$). On note toutefois que les participants des deux groupes montrent une diminution significative du pourcentage moyen de décisions risquées entre la phase pré-test et la phase post-test ($p<.0002$ pour le groupe expérimental et $p<.02$ pour le groupe contrôle), cette diminution étant plus importante dans le groupe expérimental (16.77) que dans le groupe contrôle (4.63).

Les résultats indiquent également un effet principal de la Vitesse $F(4,152)=81.8$, $p<.00001$, $\eta^2=.68$. La figure 19 ci-dessous et le test post-hoc indiquent que le pourcentage moyen de décisions risquées augmente significativement à mesure que la vitesse du véhicule augmente (* $p<.001$).

Figure 19 : Pourcentage moyen de décisions risquées par vitesse



Enfin, on retient une interaction significative entre la Phase test et la Vitesse $F(4,152)=7.37$, $p=.00002$, $\eta^2=.16$. Le test post-hoc indique que le pourcentage moyen de décisions risquées est significativement plus élevé en phase pré-test qu'en phase post-test pour toutes les vitesses ($p<.03$), sauf lorsque le deuxième véhicule approchait du piéton à 70 km/h ($p>.80$).

5.4 Effet de la vitesse sur la prise de risque

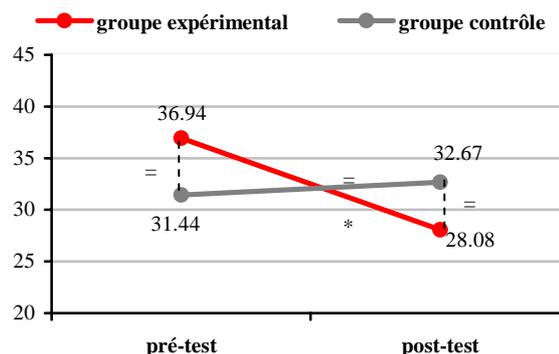
Afin de quantifier l'augmentation du risque avec la vitesse du véhicule à l'approche, nous avons créé un nouvel indicateur. L'indicateur de prise de risque avec l'augmentation de la vitesse est calculé à partir du pourcentage moyen de décisions imprudentes à vitesse élevée auquel on soustrait le pourcentage moyen de décisions imprudentes à vitesse faible.

Dans cette analyse, les décisions imprudentes correspondent à toutes les décisions où le participant a accepté de traverser mais où sa marge de sécurité était inférieure à 1.5 secondes (soit décisions dangereuses, *cf.* section 4.2, + décisions risquées, *cf.* section 4.3). Par ailleurs, la vitesse faible correspond aux conditions où le véhicule approchait à 30 et 40 km/h et la vitesse élevée aux conditions où le véhicule approchait à 50, 60 et 70 km/h.

Si la valeur de l'indicateur est nulle, cela signifie que le piéton prend autant de risque à vitesse élevée (ex. 20% de décisions imprudentes) qu'à vitesse faible (ex. 20% de décisions imprudentes). Si la valeur de l'indicateur est inférieure à 0, cela signifie que le piéton prend moins de risque à vitesse élevée (ex. 10% de décisions imprudentes) qu'à vitesse faible (ex. 20% de décisions imprudentes). Enfin, si la valeur de l'indicateur est supérieure à 0, cela signifie que le piéton prend plus de risque à vitesse élevée (ex. 20% de décisions imprudentes) qu'à faible vitesse (ex. 10 % de décisions imprudentes). Autrement dit, plus la valeur de l'indicateur est élevée, plus le piéton prend des décisions imprudentes à mesure que la vitesse augmente.

L'Anova Groupe2 x Phase2 révèle une interaction significative entre la Phase test et le facteur Groupe $F(1,38)=5.53, p=.02397, \eta^2=.13$.

Figure 20 : Indicateur moyen de la prise de risque avec la vitesse en fonction de la phase test et du groupe



L'analyse post-hoc révèle que les participants des deux groupes de participants ne se distinguent ni à la phase pré-test ni à la phase post-test ($p>.90$; *cf.* figure 20 ci-dessus). En revanche on note que l'indicateur de prise de risque avec la vitesse diminue significativement entre la phase pré-test ($M=36.94$; $SE=3.09$) et post-test ($M= 28.08$; $SE=2.8$) uniquement dans le groupe expérimental. ($p<.03$; $p>.60$ pour le groupe contrôle).

5.5 Les opportunités manquées

Parmi les traversées refusées, nous avons également calculé le nombre d'opportunités manquées par participant. Il s'agit du nombre de fois où le participant a eu tort de refuser l'essai car, compte tenu de son temps de traversée et de son moment d'initiation moyens, il aurait eu le temps de traverser en toute sécurité : sa marge de sécurité aurait été supérieure à 1.5s. Ces données ont ensuite été exprimées en pourcentage, le total d'opportunités manquées étant rapporté au nombre de traversées refusées par participant.

Compte tenu des dispersions nulles (ou quasi nulle) des données relevées pour les vitesses 50, 60 et 70 km/h (cf. Tableau 12 ci-dessous), l'Anova n'a considéré que les vitesses d'approche du véhicule 30 et 40 km/h.

Tableau 12 : Pourcentages moyens d'opportunités manquées en fonction de la Phase test, de la vitesse d'approche du véhicule et du groupe auquel appartient le participant.

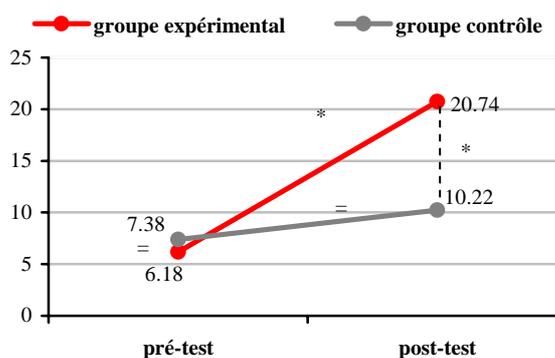
Vitesse :	Phase pré-test					Phase post-test				
	30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
Groupe expérimental	9.18 (10.82)	3.18 (5.77)	0.5 (2.18)	0 (0)	0 (0)	29.27 (15.19)	12.22 (15.07)	0.63 (2.72)	1.18 (3.55)	0 (0)
Groupe contrôle	9.55 (10.04)	5.21 (8.3)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	15.15 (14.4)	5.29 (8.88)	0 (0)	1.25 (5.45)	0 (0)

L'Anova révèle un effet tendanciel du Groupe $F(1,38)=3.48$, $p=.0699$, $\eta^2=.08$, le pourcentage moyen d'opportunités manquées étant plus élevé dans le groupe expérimental ($M=13.46\%$; $SE=1.77$) que dans le groupe contrôle ($M=8.8\%$; $SE=1.77$).

On retient également un effet principal de la Phase Test $F(1,38)=22.35$, $p=.00003$, $\eta^2=.37$, le pourcentage moyen d'opportunités manquées étant plus élevé en phase post-test ($M=15.48\%$; $SE=1.83$) qu'en phase pré-test ($M=6.78\%$; $SE=1.22$).

L'interaction Phase x Groupe est significative $F(1,38)=10.14$, $p=.0029$, $\eta^2=.21$.

Figure 21 : Pourcentage moyen d'opportunités manquées en fonction de la phase test et du groupe



L'analyse post-hoc révèle que les participants des deux groupes ne se distinguent pas à la phase pré-test ($p>.70$; cf. figure 21 ci-dessus). En revanche, à la phase post-test, on note que les participants du groupe expérimental manquent significativement plus souvent de traverser ($M=20.74\%$; $SE=2.58$) que les participants du groupe contrôle ($M=10.22\%$; $SE=2.58$) ($p<.006$). Par ailleurs, seuls les participants du groupe expérimental connaissent une augmentation significative du pourcentage moyen d'opportunités manquées entre la phase pré ($M=7.38\%$; $SE=1.72$) et post-test ($M=20.74\%$; $SE=2.58$) ($p<.0002$).

Les résultats indiquent également un effet principal de la Vitesse $F(1,38)=34.55$, $p<.00001$, $\eta^2=.48$, le pourcentage moyen d'opportunités manquées diminuant à mesure que la vitesse du véhicule à l'approche augmente (à 30 km/h : $M=15.79\%$; $SE=1.76$ et à 40 km/h : $M=6.47\%$; $SE=1.13$).

Enfin, on retient une interaction significative entre la Phase test et la Vitesse $F(1,38)=9.16$, $p=.0044$, $\eta^2=.19$. Le test post-hoc indique le pourcentage moyen d'opportunité manquées à 30 km/h est significativement plus important que celui relevé lorsque le véhicule roule à 40 km/h autant à la phase pré-test ($p<.03$) qu'à la phase post-test ($p<.0002$). Par ailleurs, on note une augmentation du pourcentage moyen d'opportunités manquées d'une phase à l'autre pour les deux vitesses d'approche du véhicule ($p<.0002$ et $p<.03$   30 et 40 km/h respectivement).

Chapitre IV : Discussion

Le premier objectif de cette étude était d'examiner si une méthode d'entraînement comportemental sur simulateur permettait d'améliorer la sécurité de la traversée de rue des piétons âgés, et plus particulièrement d'améliorer la prise en compte de la vitesse d'approche du véhicule dans la décision. Pour cela, les participants étaient répartis en deux groupes : un groupe bénéficiait d'un programme de réentraînement à la traversée de rue sur simulateur et le second groupe, qui ne prenait pas part à ce programme, bénéficiait en contrepartie d'une formation à l'utilisation d'Internet. Les comportements et décisions de traversée de rue de tous les participants étaient évalués dans une situation de traversée de rue à sens unique, sur simulateur, avant et après l'intervention, et pour des vitesses différentes du véhicule à l'approche. Après avoir discuté de l'efficacité du programme de réentraînement sur la sécurité globale de la traversée de rue des participants âgés, nous examinerons l'impact de cette méthode sur la prise en compte de la vitesse d'approche du véhicule dans la décision de traverser.

1. Efficacité de la méthode d'entraînement sur la sécurité de la traversée de rue des piétons âgés

Les résultats indiquent un effet bénéfique du programme de réentraînement sur la sécurité des comportements et des décisions de traversée de rue des participants du groupe expérimental. Aux vues des résultats présentés ci-dessous, l'amélioration de la sécurité de la traversée de rue des participants du groupe expérimental est plus importante que le simple effet lié à la pratique et à la répétition de la tâche observé dans le groupe contrôle.

Les résultats montrent tout d'abord que l'entraînement modifie sensiblement la propension à traverser la rue. Alors que les participants du groupe contrôle traversent autant la rue avant et après l'intervention (formation à Internet), les participants du groupe expérimental traversent significativement moins souvent la rue après qu'ils aient bénéficié du programme de réentraînement sur simulateur : on note une diminution du pourcentage moyen de traversées acceptées de 9.4 points dans le groupe expérimental entre la phase pré et post-test ($M=57.67\%$ vs $M=48.27\%$ respectivement). Ce premier résultat semble témoigner d'une plus grande prudence sous l'effet du programme d'entraînement sur simulateur.

Cette plus grande prudence avec l'entraînement se confirme dans l'analyse des comportements de traversée de rue. D'une part, on observe que les participants du groupe expérimental optent pour un intervalle médian temporel 0.48s plus long pour traverser après avoir bénéficié du programme de réentraînement ($M=3.64s$ avant l'entraînement vs $M=4.12s$ après). Au contraire, l'intervalle médian accepté par les participants du groupe contrôle ne varie pas significativement d'une phase test à l'autre de l'étude. D'autre part, les résultats révèlent que les participants du groupe expérimental initient leur traversée significativement plus tôt après l'intervention plutôt qu'avant ($M=-1.07s$ avant l'entraînement vs $M=-1.24s$ après). Au contraire, les participants du groupe contrôle ne modifient pas d'une phase test à l'autre le moment où, en moyenne, ils initient leurs traversées. Par ailleurs, nous avons pu observer que l'ensemble des participants met moins de temps à traverser la rue expérimentale après l'intervention. La différence est toutefois plus importante pour le groupe expérimental (ils sont plus rapides de 0.46s après l'entraînement) que pour le groupe contrôle (0.17s de différence entre la session pré et post-test). Enfin, les résultats montrent que le raccourcissement du temps de traversée et du moment d'initiation avec l'entraînement s'accompagne d'une amélioration de la marge de sécurité adoptée par les participants du groupe expérimental après qu'ils aient bénéficié du programme de réentraînement. Alors qu'en phase pré-test, les deux groupes ne se distinguaient pas, on note qu'après intervention, les participants du groupe expérimental ont adopté une marge de sécurité en moyenne 0.52s plus large que celle relevée dans le groupe contrôle ($M=2.38s$ pour le groupe expérimental vs $M=1.86s$ pour le groupe contrôle). Toutefois, les résultats montraient que les participants du groupe contrôle avaient également amélioré leur marge moyenne de sécurité d'une phase test à l'autre (gain significatif de 0.38s, $M=1.57s$ en phase pré-test vs $M=1.86s$ en phase post-test). L'amélioration est néanmoins plus importante chez les participants qui ont bénéficié du

programme de réentraînement sur simulateur (gain significatif de 0.9s, $M=1.48s$ en phase pré-test vs $M=2.38s$ en phase post-test).

L'amélioration des caractéristiques et des comportements de traversée de rue avec l'entraînement sur simulateur n'est pas sans conséquence sur la qualité des décisions prises par les participants du groupe expérimental. Alors que les participants du groupe contrôle montrent une légère amélioration de la sécurité de leurs décisions de traversée de rue d'une phase test à l'autre de l'étude, les participants du groupe expérimental manifestent une diminution notable de leur propension à émettre des décisions dangereuses et risquées de traversée de rue.

Ainsi, les résultats montrent que d'une phase test à l'autre de l'expérimentation, les deux groupes de participants ont sensiblement émis moins de décisions dangereuses de traversée de rue (décisions où la marge de sécurité était négative, le participant se trouvant encore sur la chaussée au moment où le véhicule parvenait à sa hauteur, sans être heurté pour autant). Néanmoins, la diminution du pourcentage moyen de décisions dangereuses est plus marquée dans le groupe expérimental que dans le groupe contrôle. Alors que les participants qui n'ont pas bénéficié du programme de réentraînement montrent une diminution significative de 7.19 points ($M=12.97%$ en phase pré-test vs $M=5.78%$ en phase post-test), les participants du groupe expérimental connaissent une diminution significative de 11.42 points de leur pourcentage moyen de décisions dangereuses d'une phase test à l'autre de l'étude (soit $M=12.96%$ en phase pré-test vs $M=1.54%$ en phase post-test).

Les résultats vont dans le même sens pour ce qui concerne les décisions risquées (décisions où la marge de sécurité était comprise entre 0 et 1.5s). Alors que les participants des deux groupes ne se distinguaient pas à la phase pré-test de l'étude, on observe qu'en phase post-test, les participants du groupe expérimental émettent significativement moins de décisions risquées que les participants du groupe contrôle (M groupe expérimental=23.34% vs M groupe contrôle= 35.07%). Si nous avons pu observer que les participants des deux groupes ont émis significativement moins de décisions risquées en phase post-test qu'en phase pré-test, la diminution est plus importante pour le groupe expérimental (16.36 points, $M=40.11%$ avant vs $M=23.34%$ après l'intervention) que pour le groupe contrôle (5.04 points, $M=39.7%$ en phase pré-test vs $M=35.07%$ en phase post-test).

Cette plus grande prudence sous l'effet du programme de réentraînement sur simulateur se manifeste enfin lorsque qu'on considère le nombre de fois que les participants ont manqué l'opportunité de traverser la rue expérimentale (l'intervalle temporel disponible était suffisant pour que le participant traverse en toute sécurité, avec une marge de sécurité d'au moins 1.5s). Alors que les participants des deux groupes ne se distinguaient pas en phase pré-test, on observe qu'à la phase post-test, les participants du groupe expérimental ont manqué significativement plus souvent de traverser ($M=20.74%$ d'opportunités manquées) que les participants du groupe contrôle ($M=10.22%$). L'augmentation du pourcentage moyen d'opportunités manquées entre la phase pré et post-test de l'étude n'est significative que dans le groupe expérimental (augmentation de 14.56 points, $M=6.18%$ avant vs $M=20.74%$ après l'intervention), les participants du groupe contrôle manquant de traverser aussi peu souvent avant ($M=7.38%$) qu'après l'intervention ($M=10.22%$).

Notre programme de réentraînement sur simulateur a donc eu un effet bénéfique sur la sécurité des comportements et des décisions de traversée de rue des 20 participants qui en ont bénéficié. Entre la phase pré et post intervention, on note que ces participants ont en moyenne traversé moins souvent, ont opté pour un intervalle temporel plus large, ont initié leur marche plus rapidement, ont traversé la rue expérimentale plus vite, et donc adopté des marges de sécurité plus élevées. Leurs décisions de traversée étaient moins dangereuses et moins risquées après l'intervention. Cette plus grande prudence les a toutefois conduits à manquer plus souvent d'opportunités de traverser la rue expérimentale après l'intervention. Les modules proposés pendant les deux séances d'entraînement, les nombreux feedbacks et discussions entre l'expérimentateur et chaque participant associés à la pratique répétée de l'activité semblent avoir sensibilisé les piétons âgés au danger de la traversée de rue : leurs traversées sont moins nombreuses et plus sécurisées.

La méthode d'entraînement telle que nous l'avons mise en place associait en réalité le réapprentissage de l'activité de traversée de rue à deux niveaux. D'une part, la réhabilitation de l'activité comprenait un niveau conceptuel, en termes de règles de sécurité, de sensibilisation au danger et d'éléments importants à considérer dans la prise de décision de traversée la rue. D'autre part, le programme de réentraînement comprenait une composante comportementale de l'activité à réhabiliter, par le réapprentissage et la modification de l'action elle-même. La composante conceptuelle était transmise à la fois par l'entretien préliminaire au programme, mais également par

les nombreux feedback que l'expérimentateur délivrait au participant tout au long des deux séances d'entraînement. L'expérimentateur commentait et insistait sur les notions de distance, de vitesse, d'intervalle temporel, l'importance du moment d'initiation, du temps de traversée et d'observation du trafic, et enfin du concept de marge de sécurité dans la décision de traverser la rue. A cette intervention conceptuelle s'associait la pratique répétée de l'activité en elle-même. Pendant les deux séances d'entraînement, le participant effectuait 3 modules deux fois de suite, pour un total de 252 essais de traversée de rue. La sensibilisation au danger, les feedbacks de l'expérimentateur associés à la pratique répétée de l'activité permettaient au participant de corriger et de modifier à tout moment son action directement sur le simulateur. Nos résultats ont montré que d'associer sensibilisation au danger, réapprentissage conceptuel et pratique répétée de l'activité permet d'améliorer considérablement la sécurité du déplacement du piéton âgé.

Notre programme s'inspire sensiblement des travaux de Young et Lee (1987) et de Thomson *et al.* (2005). Dans ces deux études, les piétons enfants étaient entraînés avec succès par l'intermédiaire d'une méthode alliant apprentissage conceptuel et comportemental de l'activité de traversée de rue. Comme le soulignent Young et Lee (1987), l'apprentissage et l'entraînement de l'activité de traversée de rue sécurisée doit inévitablement comprendre des composantes comportementales, la pratique et l'action effective de l'activité : « *on n'apprend pas à conduire en restant assis sur une chaise* ». D'après Tolmie, Thomson et collaborateurs (2005), le succès d'un programme d'entraînement à la traversée de rue implique le développement de stratégies procédurales dans un contexte explicatif et langagier (*i.e.* conceptuel) ; l'action doit se mêler au langage (*i.e.* l'explication des comportements). Les résultats de notre étude confirment que le succès d'un programme d'entraînement à la traversée de rue tient à la promotion des deux composantes de l'activité (concepts et action), dans la mesure où la tâche simule de façon appropriée l'activité réelle et l'utilisation d'un protocole informatisé permet à l'expérimentateur d'intervenir auprès du participant et donc de favoriser le dialogue et l'émergence d'explications conceptuelles sur le comportement entraîné.

Toutefois, il serait intéressant, notamment dans une perspective d'application de notre méthode au sein de collectivités locales, de distinguer l'impact de l'apprentissage (ou du réapprentissage) conceptuel de l'activité (intervention éducative), de l'effet de la pratique intensive de la tâche sur simulateur (intervention comportementale). L'efficacité de notre programme tient-elle à sa nature éducative/conceptuelle, à la pratique intensive de l'activité, ou à l'alliance des deux composantes ?

Un élément de réponse peut être apporté par les travaux réalisés chez le piéton enfant. Les travaux de Van Schagen et Rothengatter (1997) ont comparé l'efficacité des méthodes d'entraînement à la traversée de rue du piéton enfant selon leur nature conceptuelle ou comportementale. L'entraînement comportemental consistait à effectuer la tâche en situation réelle de traversée de rue sous la supervision d'un adulte. L'entraînement conceptuel était délivré en classe par l'intermédiaire d'instructions, de démonstrations et de discussions de groupes. Les résultats indiquaient que les connaissances et les performances de traversée s'étaient améliorées à la fois par la méthode d'entraînement conceptuel mais également par la méthode d'entraînement comportemental, bien que cette dernière conduise à une amélioration légèrement plus importante. L'entraînement comportemental avait permis aux enfants d'optimiser non seulement leurs comportements de traversée mais également leurs connaissances et leur compréhension du trafic. Les instructions délivrées aux enfants pendant l'entraînement conceptuel en classe ont également été bénéfiques à l'acquisition de compétences psychomotrices complexes, telles que la traversée de rue en intersection avec des véhicules stationnés aux alentours, alors que des travaux antérieurs indiquaient que ce type d'entraînement n'améliorait que les connaissances et ne permettait pas un transfert des connaissances aux compétences de traversée de rue. Néanmoins, l'entraînement conceptuel utilisé par Van Schagen et Rothengatter (1997) proposait aux enfants, au contraire des travaux antérieurs, des instructions verbales associées à des démonstrations par vidéo et des maquettes d'entraînement miniature, ces deux dernières techniques présentant des composantes motrices de l'activité de traversée de rue. Par ailleurs, l'entraînement comportemental utilisé dans cette étude comprenait des composantes conceptuelles de l'activité entraînée. Ainsi, l'expérimentateur fournissait simultanément à l'activité de l'enfant, et après l'exercice, des feedbacks correctifs qui contenaient des informations conceptuelles relatives à l'activité entraînée. Les résultats de cette étude ne nous permettent donc pas de réellement distinguer l'impact d'un apprentissage conceptuel de l'activité à entraîner de l'effet de la pratique intensive de la tâche.

Néanmoins, certains des résultats de notre étude peuvent apporter un élément de réponse quant à la question de savoir si l'efficacité de notre programme tient plus à sa nature conceptuelle que

comportementale, ou à l'alliage des deux, à savoir ceux relevés dans le groupe contrôle qui n'a pas été sensibilisé au danger et n'a reçu aucun feedback, ni intervention conceptuelle. Nous avons pu observer un effet lié à la répétition de la tâche d'une phase test à l'autre chez les participants du groupe contrôle (la tâche qu'effectuait tous les participants en phase pré-test était strictement identique à celle effectuée en phase post-test). Les participants du groupe contrôle ont montré un raccourcissement significatif du temps de traversée et une augmentation significative des marges de sécurité en phase post-test, soit la deuxième fois qu'ils effectuaient la même tâche. Comparativement à la phase pré-test, les participants sont ainsi parvenus à émettre des décisions moins dangereuses et moins risquées en phase post-test. La simple répétition de l'activité semble donc améliorer la sécurité du déplacement des participants du groupe contrôle. Toutefois, cette amélioration est moindre comparativement aux progrès réalisés par le groupe expérimental. Les résultats le confirment : en phase post-test, les participants du groupe expérimental traversent significativement moins souvent, optent pour des intervalles significativement plus larges et adoptent des marges de sécurité significativement plus élevées que les participants du groupe contrôle². De plus, les participants qui ont bénéficié du programme de réentraînement « conceptivo-comportemental » émettent significativement moins de décisions risquées³ que les participants qui n'ont pas bénéficié du programme et qui ont simplement répété la tâche deux fois. La composante conceptuelle du programme semble dès lors jouer un rôle primordial dans l'amélioration de la sécurité du déplacement des piétons âgés. L'efficacité de notre programme semble tenir à la possibilité d'agir directement et de modifier instantanément l'action sur le simulateur après que le participant ait bénéficié d'une sensibilisation au danger et de feedbacks.

Cette question mérite toutefois d'être approfondie par d'autres travaux afin d'examiner l'influence réciproque et/ou conjointe des composantes conceptuelle et comportementale de l'activité à réhabiliter. Ainsi, une étude pourrait comparer l'efficacité de plusieurs méthodes de réentraînement à la traversée de rue : a) une méthode conceptuelle seule (intervention éducative et sensibilisation au danger par entretien de groupe) ; b) une méthode comportementale (pratique intensive de l'activité sur simulateur sans feedbacks) et c) une méthode mixte qui associe les deux premières (telle celle que nous avons appliquée : intervention conceptuelle et pratique intensive de l'activité sur simulateur avec feedbacks). Une telle étude pourrait permettre de répondre à la question de savoir si une campagne éducative de prévention et de sensibilisation au danger lors la traversée de rue, appliquée par exemple par des collectivités locales, pourrait permettre à elle seule de réduire le risque encouru par les piétons âgés.

Par ailleurs, d'autres travaux devront examiner l'efficacité à plus long terme de notre méthode d'entraînement sur simulateur. Dans notre étude, le post-test prenait place 1 semaine après la fin du programme de réentraînement. Mais qu'en est-il de l'efficacité de notre programme à plus long terme (par exemple à 6 mois d'intervalle) ? Les travaux réalisés sur le piéton enfant nous mènent à penser que l'efficacité de notre programme se maintiendra à long terme, plus de 6 mois après que les participants aient bénéficié du programme de réentraînement à la traversée de rue. L'étude de Young et Lee (1987) montre que l'amélioration des performances des enfants s'était maintenue plus de 3 semaines après l'entraînement, et les travaux de Thomson *et al.* (2005) indiquent que les progrès des piétons enfants sont encore perceptibles plus 8 mois après l'intervention. Pour répondre à cette question, nous avons prévu de renouveler l'expérimentation en novembre 2008, soit 6 mois après que les participants du groupe expérimental aient bénéficié du programme de réentraînement.

² Les différences inter-groupes n'apparaissent pas significatives en phase post-test pour ce qui concerne le moment d'initiation et le temps de traversée.

³ Les différences inter-groupes en phase post-test ne sont pas significatives pour ce qui concerne le pourcentage de décisions dangereuses.

2. Efficacité de la méthode d'entraînement sur la prise en compte de la vitesse

Plus spécifiquement, l'objectif de notre étude était d'améliorer la prise en compte de la vitesse du véhicule à l'approche dans la décision de traversée la rue. Ainsi, pendant les deux séances d'entraînement, les participants effectuaient une série de modules qui les confrontaient à 5 vitesses possibles d'approche du véhicule, présentées deux à deux par module. Pendant ces deux séances, l'expérimentateur insistait plus particulièrement sur le rôle de la vitesse des véhicules à l'approche et sur les dangers de baser sa décision uniquement en fonction de la distance, et cela par l'intermédiaire de feedbacks au moment même où le participant effectuait un essai et de discussions consécutives à la fin de chaque module d'entraînement (*cf.* Chapitre II, section 3 page 22).

Conformément aux travaux antérieurs (*cf.* Lobjois & Cavallo, 2007), les résultats révèlent un effet principal robuste de la vitesse du véhicule à l'approche sur les comportements et décisions de traversée de rue. L'entraînement sur simulateur ne semble modifier que très partiellement cet effet.

Les résultats indiquent que les participants acceptent significativement plus souvent de traverser à mesure que la vitesse augmente. La méthode d'entraînement que nous avons mise en place ne modifie pas cet effet : bien que les participants du groupe expérimental acceptent en moyenne moins souvent de traverser après l'intervention, ils continuent de traverser plus souvent lorsque la vitesse du véhicule à l'approche est élevée (*i.e.* 70 km/h) plutôt que faible (*i.e.* 30 km/h). De la même façon, les résultats ont montré que l'intervalle médian accepté par les participants diminue à mesure que la vitesse augmente (différence significative de 1.72s entre 30 et 70 km/h). L'entraînement n'atténue pas cet effet : en moyenne l'intervalle accepté est plus large après l'entraînement, mais il persiste à diminuer à mesure que la vitesse augmente. Par ailleurs, nous avons noté en phase pré-test que les participants initient leur traversée de plus en plus tard à mesure que la vitesse augmente. L'entraînement ne modifie pas non plus cet effet : bien que, en moyenne, les participants du groupe expérimental initient sensiblement plus tôt après l'intervention, ils persistent à traverser de plus en plus tard avec l'augmentation de la vitesse. Les résultats indiquent également que le temps de traversée des participants varie en fonction de la vitesse d'approche du véhicule en phase pré-test : les participants traversent significativement plus lentement à mesure que la vitesse augmente (différence significative de 0.10s entre 30 et 70 km/h). Toutefois, l'entraînement sur simulateur ne modifie pas cet effet de la vitesse : bien que les participants du groupe expérimental traversent significativement plus rapidement après l'intervention, ils continuent de traverser plus lentement à mesure que la vitesse du véhicule à l'approche augmente (interaction des facteurs Phase x Vitesse x Groupe non significative). Enfin, les résultats vont dans le même sens pour ce qui concerne la marge de sécurité adoptée par les participants. On note un effet massif de la vitesse en phase pré-test : la marge de sécurité moyenne diminue à mesure que la vitesse du véhicule à l'approche augmente (différence significative de 1.63s, $M=2.75s$ à 30 km/h et $M=1.12s$ à 70 km/h). L'entraînement ne modifie pas cet effet de la vitesse : bien que la marge de sécurité des participants du groupe expérimental soit en moyenne plus élevée après l'intervention, elle persiste à diminuer à mesure que la vitesse augmente.

Alors que l'entraînement ne semble pas modifier l'effet de la vitesse d'approche du véhicule sur les comportements de traversée de rue des participants du groupe expérimental (*i.e.* pourcentage de traversée acceptées, intervalle médian accepté, moment d'initiation, temps de traversée et marge de sécurité), les résultats indiquent une modification partielle cet effet sur la qualité des décisions des participants qui ont bénéficié de l'intervention. Concernant le pourcentage moyen de décisions dangereuses (décisions pour lesquelles la marge de sécurité était négative), les résultats indiquent un effet principal de la vitesse d'approche du véhicule en phase pré-test : plus la vitesse augmente, plus les participants émettent des décisions dangereuses de traversée de rue. L'entraînement sur simulateur modifie cet effet. Alors qu'en phase pré-test les deux groupes émettent significativement plus de décisions dangereuses à 70 qu'à 40 km/h, en phase post-test, les participants du groupe expérimental parviennent à émettre aussi peu de décisions dangereuses à 70 km/h ($M=4.4\%$) qu'à 40 km/h ($M=0\%$). Au contraire, les participants du groupe contrôle persistent à émettre significativement plus de décisions dangereuses à 70 km/h ($M=10.9\%$) qu'à 40 km/h ($M=1.81\%$) en phase post-test.

Concernant le pourcentage de décisions risquées (décisions pour lesquelles la marge de sécurité était comprise entre 0 et 1.5s), les résultats ne révèlent pas d'atténuation de l'effet vitesse. Même si les participants du groupe expérimental prennent nettement moins de décisions risquées après

l'entraînement, ces derniers persistent à en prendre significativement plus à mesure que la vitesse augmente.

Afin de quantifier plus globalement l'augmentation du risque avec la vitesse, et d'examiner l'impact de l'entraînement, un indicateur avait été construit par la soustraction du pourcentage moyen de décisions imprudentes (décisions dangereuses + décisions risquées) entre les conditions où la vitesse est élevée (50, 60 et 70 km/h) et celles où la vitesse est faible (30 et 40 km/h). Une valeur positive de l'indicateur révèle que le participant prend plus de décisions imprudentes à mesure que la vitesse augmente, ce qui est en réalité toujours le cas. Par ailleurs, plus la valeur de l'indicateur est élevée, plus la prise de risque avec la vitesse est importante. Les résultats montrent une réduction de l'effet vitesse uniquement dans le groupe qui a bénéficié du programme d'entraînement. L'indicateur de prise de risque avec la vitesse diminue significativement entre la phase pré ($M=36.94$) et post-test ($M=28.08$) exclusivement dans le groupe expérimental (diminution de 8.86 points). Au contraire, l'indicateur de prise de risque avec la vitesse ne varie pas d'une phase test à l'autre dans le groupe contrôle (on observe même une augmentation de 1.23 points). Ces résultats suggèrent que les participants qui ont bénéficié de l'entraînement sur simulateur continuent de prendre des risques après l'intervention à mesure que la vitesse augmente (indicateur moyen positif), mais dans une proportion moindre comparativement à avant l'intervention (diminution de la valeur de l'indicateur d'une phase test à l'autre).

Enfin, les résultats concernant le pourcentage d'opportunités manquées révèlent tout d'abord qu'elles n'ont lieu quasiment que lorsque la vitesse du véhicule à l'approche est faible (30 et 40 km/h). On note un effet principal de la vitesse en phase pré-test : le pourcentage moyen d'opportunités manquées diminue à mesure que la vitesse du véhicule à l'approche augmente ($M= 15.79\%$ à 30 km/h vs $M= 6.47\%$ à 40 km/h). Sous l'effet de l'entraînement, les participants tendent à refuser plus souvent de traverser et par la même occasion manquent plus souvent d'opportunités pour ces deux vitesses faibles, l'écart entre 30 et 40 km/h ne se réduisant pas pour autant avec l'entraînement. Le pourcentage moyen d'opportunités manquées des participants du groupe expérimental pour les vitesses 30 et 40 km/h est triplé d'une phase test à l'autre de l'étude ($M=6.18\%$ avant vs $M=20.74\%$ après l'intervention), alors qu'il ne varie pas significativement dans le groupe contrôle.

Pour synthétiser, si les résultats de notre étude montrent que le programme d'entraînement « conceptivo-comportemental » que nous avons mis en place a permis aux piétons âgés d'améliorer la sécurité globale de leurs comportements et de leurs décisions de traversée de rue, il ne leur a toutefois pas permis de mieux prendre en compte la vitesse d'approche du véhicule dans la décision de traverser la rue. L'entraînement n'a pas permis aux participants du groupe expérimental d'atténuer l'augmentation des prises de risque à mesure que la vitesse du véhicule à l'approche augmente, ni de réduire le nombre d'opportunités manquées à vitesse faible. On n'observe qu'une réduction légère et partielle de l'effet de la vitesse sur la prise de risque et une augmentation du nombre d'opportunités manquées à vitesse faible. Dès lors, notre programme semble avoir sensibilisé les piétons âgés au danger de la traversée de rue, leur inspirer une plus grande prudence, au prix de plus d'opportunités manquées, mais ne paraît pas avoir modifié leurs stratégies perceptivo-cognitives de traversée de rue.

Conformément aux travaux antérieurs (cf. Lobjois & Cavallo 2007, soumis), les piétons âgés semblent principalement prendre leur décisions de traversée de rue en fonction de la distance du véhicule à l'approche. Pour un temps inter-véhiculaire identique (ex. 3 ou 4 secondes), on constate beaucoup de décisions risquées à vitesse élevée et de nombreuses opportunités manquées à vitesse faible. Sur la figure 4 (page 26), on note ainsi que les inter-distances courtes ont été systématiquement refusées par les participants à vitesse faible, par exemple TIV de 3 secondes à 30 km/h qui est la vitesse qui génère les gammes de distances les plus courtes. Mais ces inter-distances courtes ont été très largement acceptées à vitesse élevée, c'est-à-dire à 70 km/h, vitesse qui génère les inter-distances les plus grandes. L'entraînement n'a pas ou peu atténué cet effet. Sur la figure 4a (page 26), on note qu'en phase pré-test, les participants du groupe expérimental acceptent en moyenne 10% des traversées où le TIV n'est que de 3 secondes (leurs temps de traversée étant en moyenne de plus de 4s) lorsque le véhicule roule à 30 km/h, mais acceptent de franchir ce même gap dans plus de 60 % des cas si le véhicule approche à 70 km/h. Après l'entraînement (figure 4b), les deux pourcentages diminuent mais les participants continuent de traverser souvent (dans 40% des cas) pour des gaps courts (ex. 3s) à 70 km/h.

Le rejet quasi systématique des distances courtes émanerait d'un sentiment d'insécurité provoqué par la proximité du véhicule et par sa plus grande taille angulaire. Ce phénomène semble s'accroître sous l'effet de l'entraînement qui insiste et sensibilise le piéton aux dangers de la traversée de rue. Quant aux grandes distances, elles sont acceptées quasi systématiquement sans que le participant fasse référence au temps disponible, du fait que le mouvement du véhicule ne soit pas perceptible, de part sa faible vitesse angulaire inférieure au seuil de perception. Ces constats confirment l'effet vitesse mis en évidence par Lobjois et Cavallo (2007) et montrent que l'entraînement sur simulateur ne modifie pas la prise en compte de la vitesse d'approche du véhicule dans la décision de traverser la rue des piétons âgés.

Plusieurs explications sont susceptibles d'interpréter l'absence d'efficacité de notre programme d'entraînement sur la prise en compte de la vitesse d'approche du véhicule.

La première se situe à un niveau méthodologique et tiendrait au nombre des séances d'entraînement et à la durée de l'intervention. Deux séances d'entraînement d'1h30 ne sont sans doute pas suffisantes pour modifier les stratégies perceptivo-cognitives des piétons âgés, si tant est qu'on puisse vraiment les modifier et encourager les piétons âgés à prendre plus en compte la vitesse du véhicule à l'approche lorsqu'ils décident de traverser la rue. Si on fait référence aux travaux réalisés sur le piéton enfant, les séances d'entraînement sont plus nombreuses et la durée de l'intervention plus étalée dans le temps. L'étude de Young et Lee (1987) proposait entre 12 et 15 séances d'entraînement à la traversée de rue par enfant, pendant 15 minutes, séances réparties sur une durée de 6 à 7 semaines. La méthode employée par Thomson *et al.* (2005) comprenait 4 séances hebdomadaires d'une durée de 30 à 40 minutes. Récemment, Barton, Schwebel et Morrongiello (2007) ont employé la méthode de Young et Lee (1987) pour entraîner des piétons enfants mais avec un protocole beaucoup plus court : une seule séance de 15 minutes. Les résultats montraient que les traversées de rue des enfants étaient plus sécurisées après la séance d'entraînement, indiquant de fait qu'un entraînement à la tâche, même bref, améliorerait, au moins à court terme, les comportements des enfants. Néanmoins, comparer la durée des protocoles d'entraînement du piéton enfant avec celle de notre méthode d'entraînement du piéton âgé n'est peut-être pas pertinent pour répondre au problème de l'absence d'amélioration de la prise en compte de la vitesse chez les participants de notre groupe expérimental. En effet, entraîner un piéton enfant revient à lui inculquer et à lui apprendre les stratégies à adopter pour traverser la rue en toute sécurité. Entraîner ou ré-entraîner le piéton âgé vise à modifier la stratégie qu'il emploie depuis longtemps (stratégie vraisemblablement basée sur la distance) pour lui « ré »apprendre à traverser la rue en prenant en compte la vitesse d'approche du véhicule. Que le protocole d'entraînement soit plus ou moins long ne change probablement rien : modifier une stratégie utilisée depuis bon nombre d'années n'est peut-être pas possible. Si cela l'est, le protocole devra alors être long et étendu dans le temps.

La seconde explication, que nous privilégions, se situe à niveau perceptivo-cognitif. L'absence d'efficacité de notre programme d'entraînement sur la prise en compte de la vitesse d'approche du véhicule pourrait révéler des déficits perceptivo-cognitifs liés à l'âge, déficits que l'entraînement conceptivo-comportemental ne peut réhabiliter. L'utilisation d'heuristiques simplificatrices, basées sur la seule distance des véhicules approchant, au lieu de fonder la décision de traverser sur l'intervalle de temps, pourrait être due à des déficits de perception de la vitesse et à des fonctions cognitives ralenties et/ou altérées (*cf.* chapitre I., section 1.2 page 10). Dès lors, pour modifier la stratégie des piétons âgés et les aider à mieux prendre en compte la vitesse d'approche du véhicule dans leurs décisions, il faudrait au préalable et en amont réhabiliter des compétences d'ordre perceptif et cognitif altérées par l'avancée en âge et identifiées comme responsables de la non prise en compte des informations relatives à la vitesse. De part des difficultés de perception du mouvement, une vitesse de traitement des informations ralentie, et/ou un affaiblissement du système attentionnel et du système de contrôle exécutif, les âgés pourraient avoir des difficultés à traiter et/ou intégrer les informations relatives à la vitesse du véhicule à l'approche dans leur prise de décision, informations accessibles plus tardivement dans la scène visuelle et qui nécessitent un traitement sans doute plus long et plus coûteux que celui relatif à la distance. L'insuffisante prise en compte de la vitesse se manifeste de deux façons dans les comportements des piétons âgés : décisions risquées nombreuses à vitesse élevée et opportunités manquées abondantes à vitesse faible. Ces deux comportements pourraient résulter de déficits liés à l'âge à différents niveaux.

L'augmentation des décisions risquées avec la vitesse pourrait être la conséquence d'un déclin sensoriel de la sensibilité au mouvement visuel (*e.g.*, Sekuler *et al.*, 1980), en particulier de la capacité à percevoir des mouvements lents (Snowden et Kavanagh, 2006). Cette perte de sensibilité

est susceptible d'allonger considérablement le temps de détection du mouvement, voire de le rendre impossible dans le temps imparti. La perte de sensibilité est particulièrement marquée lorsque la vitesse du véhicule à l'approche est élevée, car dans ce cas le véhicule est éloigné, sa taille angulaire petite et sa vitesse angulaire faible. De plus, l'analyse de ce mouvement est ralenti par des déficits d'ordre cognitifs (vitesse de traitement ralentie, *cf.* Salthouse, 1996, et mémoire de travail altérée, *cf.* Salthouse *et al.*, 2003). Dès lors, l'utilisation d'une heuristique basée sur la seule distance rend le processus décisionnel moins coûteux et plus rapide, mais aussi moins précis. En basant leur décision essentiellement sur la distance éloignée du véhicule (à partir de sa petite taille angulaire), les piétons âgés surestiment le temps disponible et prennent un grand nombre de décisions risquées.

Le nombre accru d'opportunités manquées à vitesse faible pourrait également résulter du traitement prépondérant de la distance du véhicule à l'approche. La grande taille angulaire du véhicule lorsqu'il est proche pourrait avoir induit un sentiment accru d'insécurité amenant les piétons âgés à refuser des TIV du moins adéquats. Les piétons âgés semblent ainsi négliger les informations de mouvement, pourtant perceptibles et traduisant une vitesse d'approche faible. Plusieurs raisons peuvent être invoquées pour expliquer l'insuffisante prise en compte des informations de vitesse : (i) un coût cognitif trop élevé pour détecter et analyser les mouvements lents et pour les intégrer dans le processus de décision ; (ii) une adaptation insuffisante, voire absente, des stratégies de traitement d'information par rapport à la disponibilité des informations relatives au mouvement, du à un manque de flexibilité (Salthouse *et al.*, 2003) ; (iii) une difficulté à supprimer une réaction inappropriée (refus de traverser à cause d'un sentiment d'insécurité) du fait de processus d'inhibition déficitaires (Hasher et Zacks, 1988).

Pour répondre à ces interrogations, d'autres travaux sont nécessaires. De nouvelles études doivent en amont identifier les capacités perceptivo-cognitives les plus impliquées dans l'activité de traversée de rue. Cette avancée permettrait ensuite de tester l'impact d'un programme de réhabilitation des capacités perceptivo-cognitives altérées par l'avancée en âge et d'en examiner l'impact sur l'activité de traversée de rue.

Conclusion

Dans le but d'améliorer la sécurité de la traversée de rue des piétons âgés, et plus particulièrement d'améliorer la prise en compte de la vitesse d'approche du véhicule dans leur décision, nous avons mis en place et évalué l'efficacité d'un programme de réentraînement à la traversée de rue sur simulateur adapté aux personnes âgées. La méthode d'entraînement associait deux niveaux de réapprentissage de l'activité de traversée de rue : un niveau conceptuel, par de nombreux feedbacks et discussions, simultanés et consécutifs aux essais de traversée de rue, et un niveau comportemental, par la pratique répétée de l'activité sur le simulateur.

Les résultats montrent que le programme de réentraînement « conceptivo-comportemental » a permis aux piétons âgés d'améliorer la sécurité globale de leurs comportements et de leurs décisions de traversée de rue. Après l'intervention, les participants traversaient moins souvent, optaient pour un intervalle temporel plus large, initiaient leur marche plus rapidement, traversaient la rue expérimentale plus vite, et donc adoptaient des marges de sécurité plus élevées. Leurs décisions de traversée étaient moins dangereuses et moins risquées après l'intervention. Toutefois, le programme de réentraînement n'a pas permis aux bénéficiaires de mieux prendre en compte la vitesse d'approche du véhicule, c'est-à-dire d'atténuer l'augmentation des prises de risque à mesure que la vitesse du véhicule à l'approche augmente, ni de réduire le nombre d'opportunités manquées à vitesse faible. On n'observe qu'une réduction légère et partielle de l'effet de la vitesse sur la prise de risque. Dès lors, notre programme conceptivo-comportemental semble avoir sensibilisé les piétons âgés au danger de la traversée de rue, leur inspirer une plus grande prudence, mais ne paraît pas avoir modifié leurs stratégies perceptivo-cognitives de traversée de rue.

Les résultats de cette étude sont très prometteurs et ouvrent plusieurs pistes de recherche.

Tout d'abord, il faut rappeler que la problématique de l'entraînement des piétons âgés est entièrement nouvelle, non seulement pour le travail de notre équipe, mais plus généralement dans le cadre de la thématique relative à la réhabilitation des capacités et des performances des personnes âgées. Nos résultats témoignent de la possibilité d'amélioration de la sécurité de la traversée de rue des piétons âgés. Notre programme de réentraînement conceptivo-comportemental a sensibilisé les piétons âgés au danger et leur a permis d'émettre des décisions plus sécuritaires.

Dans la poursuite de ces travaux, nous envisageons de concevoir et de tester d'autres méthodes de réentraînement et d'examiner l'influence respective du réapprentissage des différentes composantes de l'activité à réhabiliter (conceptuelle, comportementale et perceptivo-cognitive). Ainsi, il serait intéressant de comparer l'efficacité de plusieurs méthodes de réentraînement à la traversée de rue : a) une méthode conceptuelle seule (intervention éducative et sensibilisation au danger par entretien de groupe) ; b) une méthode comportementale (pratique intensive de l'activité sur simulateur sans feedbacks) ; c) une méthode mixte qui associe les deux premières (telle celle que nous avons appliquée : intervention conceptuelle et pratique intensive de l'activité sur simulateur avec feedbacks) et enfin d) une méthode perceptivo-cognitive (réhabilitation des capacités perceptivo-cognitives altérées par l'avancée en âge et identifiées comme responsables de la non prise en compte de la vitesse). Un tel programme de recherche permettrait de répondre à plusieurs objectifs.

Le premier est lié à la question de savoir si une campagne éducative de prévention et de sensibilisation au danger lors la traversée de rue pourrait permettre à elle seule de réduire le risque encouru par les piétons âgés. Une telle méthode présenterait l'avantage de pouvoir être appliquée dans des collectivités locales, par l'intermédiaire de discussions de groupe entre un formateur et des personnes âgées.

Par ailleurs, dans l'objectif d'étendre l'application d'un programme de réentraînement à la traversée de rue et de le rendre accessible à tous, il nous paraît important de comparer l'efficacité d'une méthode d'entraînement comportemental sur simulateur à celle du réentraînement de l'activité par l'intermédiaire d'un programme informatique sur PC. La construction d'un logiciel interactif d'entraînement sur PC serait plus économique et plus facilement applicable par des collectivités locales que la construction et l'achat d'un simulateur 3D de traversée de rue.

De plus, la mise au point d'une méthode d'entraînement perceptivo-cognitif à la traversée de rue permettrait d'en examiner l'impact sur d'autres activités de la vie quotidienne, sur la conduite automobile par exemple. Un programme d'entraînement perceptivo-cognitif pourrait être réalisé sous la forme d'exercices interactifs sur PC. Ce type d'entraînement cérébral, commercialisé sous la forme de DVD, connaît actuellement un succès considérable auprès des seniors. Les personnes âgées ainsi entraînées pourraient bénéficier non seulement d'une amélioration de la sécurité de leur traversée de rue, mais également de leur conduite automobile, ou encore dans la réalisation d'activités cognitivement complexes de la vie quotidienne. Notons que la mise au point de telles méthodes de réentraînement nécessite que d'autres travaux identifient en amont les capacités perceptivo-cognitives les plus impliquées dans l'activité de traversée de rue et responsables des prises de risque associées à l'avancée en âge.

Les travaux à venir devront également examiner l'efficacité à long terme des différentes méthodes de réentraînement à la traversée de rue. Dans notre étude, le post-test prenait place une semaine après la fin du programme de réentraînement. Il reste à établir si l'efficacité de notre programme se maintient à plus long terme, par exemple à 6 mois d'intervalle. D'une façon plus générale se pose la question de savoir si le maintien du bénéfice lié au programme de réentraînement est dépendant de la composante de l'activité entraînée (composante conceptuelle, comportementale ou perceptivo-cognitive).

Bibliographie

- BALL K., BEARD B., ROENKER D., MILLER R., GRIGGS D. Age and visual search: Expanding the useful field of view. *Journal of the Optical Society of America*, 5 (12), 2210-2219, 1988.
- BARTON B.K., SCHWEBEL D.C., MORRONGIELLO B.A. Brief Report: Increasing Children's Safe Pedestrian Behaviors through Simple Skills Training, *Journal of Pediatric Psychology*, 32(4), 475-480, 2007.
- BHERER L., KRAMER A.F., PETERSON M., COLCOMBE S.J., ERICKSON K.I., BECIC E. Training effects on dual-task performance: are there age-related differences in plasticity of attentional control? *Psychology and Aging*, 20 (4), 695-709, 2005.
- BIRREN J.E., WOODS A.M., WILLIAMS M.V. Behavioral slowing with age: causes, organization and consequences. In L.W. Poon (Ed.), *Aging in the 1980s: Psychological issues*. Washington D.C.: American Psychological Association (pp. 293-308), 1980.
- CARMELI E., COLEMAN R., LLAGUNA O., BROWN-CROSS D. Do we allow elderly pedestrians sufficient time to cross the street in safety? *Journal of Aging and Physical Activity*, 3, 51-58, 2000.
- CAVALLO V., LOBJOIS R., VIENNE F. *The interest of an interactive road crossing simulation for the study of adaptive road crossing behaviour*. In: First Driving Simulation Conference Asia-Pacific, Tsukuba, Japan, 2006
- CROSS D., STEVENSON M., HALL M., BURNS S., LAUGHLIN D., OFFICER J., HOWAT P. Child pedestrian injury prevention project: Student results. *Preventive Medicine*, 30, 179-187, 2000.
- DeLUCIA P.R., BLECKLEY M.K., MEYER L.E., BUSH J. M. Judgments about collision in younger and older drivers. *Transportation Research: Part F*, 6, 63-80, 2003.
- DUNBAR G., HILL R., LEWIS V. Children's attentional skills and road behaviour. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 7 (3), 227-234, 2001.
- DUNBAR G., LEWIS V., HILL R. Control processes and road crossing skills. *The Psychologist*, 12, 400-402, 1999.
- EDWARDS J.D., WADLEY V.G., MYERS R.S., ROENKER D.L., CISSELL G.M., BALL K.K. Transfer of a speed of processing intervention to near and far cognitive functions. *Gerontology*, 48, 329-340, 2002.
- EDWARDS J.D., WADLEY V.G., VANCE D.E., WOOD K., ROENKER D.L., BALL K.K. The impact of speed of processing training on cognitive and everyday performance. *Aging & Mental Health*, 9 (3), 262-271, 2005.
- ESPIÉ S. *Vehicle-driven simulator versus traffic-driven simulator: The INRETS approach*. In: 1st Driving Simulation Conference Europe. Paris, France, pp. 367-376, 1999.
- FISK A.D., ROGERS W.A. Influence of training and experience on skill acquisition and maintenance in older adults. *Journal of Aging and Physical Activity*, 8, 373-378, 2000.
- GABAUDE C. Exploration des capacités visuelles et attentionnelles des conducteurs âgés : intérêts et techniques. *Recherche Transport Sécurité*, 81, 165-176, 2003.
- HARRELL W.A. Precautionary street crossing by elderly pedestrians. *International Journal of Aging and Human Development*, 32 (1), 65-80, 1991.
- HARRUFF R.C., AVERY A., ALTER-PANDYA A.S. Analysis of circumstances and injuries in 217 pedestrian traffic fatalities. *Accident Analysis and Prevention*, 30 (1), 11-20, 1998.
- HASHER L., ZACKS R. Working memory, comprehension, and aging : A review and a new view. In G.G. Bower (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation*. San Diego, CA: Academic Press, 1988.

- HOYER W.J., PLUDE D.J. Attentional and perceptual processes in the study of cognitive aging. In L.W. Poon (Ed.), *Aging in the 1980s: Psychological issues*. Washington D.C.: American Psychological Association, 1980.
- KOSNIK W., WINSLOW L., KLINE D., RASINSKI K., SEKULER R. Visual changes in daily life throughout adulthood. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 43 (3), 63-70, 1988.
- KRAMER A.F., LARISH J.F., STRAYER D.L. Training for attentional control in dual task settings: A comparison of young and old adults. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 1(1), 50-76, 1995.
- LEE D.N., YOUNG D.S., McLAUGHLIN C.M. A roadise simulation of roadcrossing for children. *Ergonomics*, 27, 1271-1281, 1984
- LOBJOIS R., CAVALLO V. 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 (5), 934-943, 2007.
- LOBJOIS R., DOMMES A., CAVALLO V., AILLERIE I., VIENNE F., BENGUIGUI N., ESPIE S., PERROT C. *La traversée de rue chez le piéton âgé*. Rapport intermédiaire n°2 de convention LPC-INRETS/Fondation MAIF, Arcueil : INRETS, octobre 2007
- LOBJOIS R., CAVALLO V. The effects of aging on street-crossing behavior: from estimation to actual crossing. *soumis*.
- LOBJOIS R., CAVALLO V., BENGUIGUI N., ESPIE S. *La traversée de rue chez le piéton âgé*. Rapport intermédiaire n°1 de convention LPC-INRETS/Fondation MAIF, Arcueil : INRETS, octobre 2006.
- LOBJOIS R., CAVALLO V., VIENNE F., AKNIN P., AILLERIE I., PERROT C., ESPIE S., GAURIAT P. *La traversée de rue du piéton âgé : facteurs de risque et méthode de récupération*. Rapport final de convention DSCR/CNRS/INRETS, Arcueil : INRETS, décembre 2005.
- MIYAKE A., FRIEDMAN N., EMERSON M., WITZKI A., WAGER T. The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: a latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49-100, 2000.
- OWSLEY C., BALL K., SLOANE M., ROENKER D., BRUNI J. Visual perception/cognitive correlates of vehicle accidents in older drivers. *Psychology and Aging*, 6, 403-415, 1991.
- OXLEY J., CHARLTON J., FILDES B. *The effect of cognitive impairment on older pedestrian behaviour and crash risk*. Monash University Accident Research Center, Report N°2444, 2005a.
- OXLEY J., FILDES B.N., DEWAR R.E. *Safety of older pedestrians*. Proceedings of the Conference Transportation in an aging society: A decade of experience, Bethesda, Maryland, 7-9 Nov. 1999, pp. 167-191, 2004.
- OXLEY J., FILDES B., IHSEN E. *Older pedestrian safety: The role of perceptual and cognitive factors and the ability to compensate for age-related changes*. Proceedings of the Road Safety Research, Policy and Education Conference (pp. 209-215), Brisbane, Australia, 2000.
- OXLEY J., FILDES B., IHSEN E., CHARLTON J. DAY R. *Age differences in road crossing decisions based on gap judgments*. Proceedings of the 43rd AAAAM Conference (pp. 279-300), Barcelona, Spain, 1999.
- OXLEY J., FILDES B., IHSEN E., CHARLTON J., DAY R. Differences in traffic judgments between young and old adults pedestrians. *Accident Analysis & Prevention*, 29 (6), 839-847, 1997.
- OXLEY J., FILDES B., IHSEN E., CHARLTON J., DAY R. Crossing roads safely: an experimental study of age differences in gap selection by pedestrians. *Accident Analysis and Prevention*, 37, 962-971, 2005b.

- OXLEY J., IHSEN E., FILDES B., CHARLTON J. Age-related functional impairments and the impact on the ability to cross roads safely. In: *Proceedings of the Traffic Safety on Three Continents Conference*, Moscow, Russia, 2001.
- ROENKER D.L., CISSEL G.M., BALL K.K., WADLEY V.G., EDWARDS J.D. Speed-of-processing and driving simulator training result in improved driving performance, *Human Factors*, 45 (2), 218-233, 2003.
- ROGERS W.A., CAMPBELL R.H., PARK R. A systems approach for training older adults to use technology. In N. Charness, D.C. Park, & B.A. Sabel (Eds.), *Communication, technology, and aging: Opportunities and challenges for the future* (pp. 187-208). New York: Springer, 2001.
- SALTHOUSE T.A. The processing-speed theory of adult age differences in Cognition. *Psychology and Aging*, 103, 403-428, 1996.
- SALTHOUSE T.A., ATKINSON T.M. BERISH D.E. Executive functioning as a potential mediator of age-related cognitive decline in normal adults. *Journal of Experimental Psychology*, 4, 566-594, 2003.
- SCHIFF W., OLDAK R., SHAH V. Aging person's estimates of vehicular motion. *Psychology and Aging*, 7, 518-525, 1992.
- SEKULER R., HUTMAN L.P., OWSLEY C.J. Human aging and spatial vision. *Science*, 209, 1255-1256, 1980.
- SHARP J., SYLVESTER T. Effects of aging on horizontal smooth pursuit. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 17 (5), 465-467, 1978.
- SIMPSON G., JOHNSTON L., SHAH V. an investigation of road crossing in a virtual environment. *Accident Analysis and Prevention*, 35, 787-796, 2003.
- SNOWDEN R.J., KAVANAGH E. Motion perception in the ageing visual system: Minimum motion, motion coherence, and speed discrimination thresholds. *Perception*, 35, 9-24, 2006.
- STAPLIN L., LYLES R. Age differences in motion perception and specific traffic manoeuvre problems. *Transportation Research Record*, 1325, 558-561, 1991.
- THOMSON J.A., TOLMIE A.K., FOOT H.C., SARVARY P., WHELAN K.M., MORRISON S. Influence of virtual reality training on the roadside crossing judgments of child pedestrians. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 11, 175-186, 2005.
- TOLMIE A., THOMSON J.A., FOOT H.C., WHELAN K., MORRISON S., McLAREN B. The effects of adult guidance and peer discussion on the development of children's representations: Evidence from the training of pedestrian skills. *British Journal of Psychology*, 96, 181-204, 2005.
- Van SCHAGEN I., ROTHENGATTER T. Classroom instruction versus roadside training in traffic safety education. *Journal of applied developmental psychology*, 18, 283-292, 1997.
- WARD N.S. Compensatory mechanisms in the aging motor system. *Ageing Research Reviews*, 5 (3), 239-254, 2006.
- WEISS P.L., NAVEH Y., KATZ N. Design and testing of a virtual environment to train stroke patients with unilateral spatial neglect to cross a street safely. *Occupational Therapy International*, 10 (1), 39-55, 2003.
- YOUNG D.S., LEE D.N. Training children in road crossing skills using a roadside simulation. *Accident Analysis & Prevention*, 19 (5), 327-341, 1987.