

Sabine LANGEVIN

Aurélie DOMMES

Viola CAVALLO

Fabrice VIENNE

Jennifer OXLEY

Daniel MESTRE

Cécile MARTHA

SEPIA : SÉcurité du PIéton Âgé

**Impacts du déclin cognitif, perceptif et moteur liés au vieillissement
sur le comportement de traversée de rue avec trafic à double sens :**

Résultats de l'expérimentation

Livrable intermédiaire N°2

Convention INRETS/Fondation Sécurité Routière

Décembre 2010

Contribution :

Sabine Langevin, INRETS - LPC

Aurélie Dommès, INRETS -LPC

Viola Cavallo, INRETS -LPC

Fabrice Vienne, INRETS – LEPSIS

Jennifer Oxley, Monash University Accident Research Centre

Daniel Mestre, Institut des Sciences du Mouvement, Université de la Méditerranée - CNRS

Cécile Martha, Institut des Sciences du Mouvement, Université de la Méditerranée - CNRS

SOMMAIRE

RESUME	4
INTRODUCTION.....	5
I. Méthodologie expérimentale : rappel du premier livrable	7
1. Participants.....	7
2. Matériel et tâches	7
2.1. <i>Simulateur de traversée de rue</i>	8
2.2. <i>Tâche de traversée de rue et conditions expérimentales</i>	9
3. Batterie de tests.....	10
4. Procédure expérimentale	11
II. Résultats obtenus à la tâche d'estimation de traversée de rue.....	12
1. Analyse des données	12
2. Temps de réponse	13
3. Marges de sécurité	14
4. Collisions.....	15
5. Discussion	18
III. Résultats aux tests fonctionnels : performances cognitives, perceptives et physiques	20
1. Analyses des données.....	20
2. Performances cognitives.....	22
3. Performances perceptives	23
4. Performances motrices.....	24
5. Discussion	24
IV. Facteurs prédictifs des décisions de traversée de rue	25
1. Analyses statistiques	25
1.1 <i>Analyse de corrélation</i>	25
1.2 <i>Analyse de régression</i>	27
2. Discussion	29
V. Conclusion générale	31
VI. Références bibliographiques.....	33

RESUME

Le présent rapport expose l'ensemble des résultats obtenus pour la première expérimentation réalisée dans le cadre du projet SEPIA.

Dans le prolongement des travaux antérieurs menés par notre équipe sur la sécurité du piéton âgé (cf. Lobjois et Cavallo, 2007 ; 2009), la présente étude vise à explorer un nouveau facteur, à savoir l'effet de la complexité du trafic. Dans ce contexte, le premier objectif de la présente expérimentation est ainsi d'étudier les effets conjoints et respectifs de l'âge, de la vitesse d'approche des véhicules et de la complexité du trafic sur les comportements et décisions de traversée de rue. L'utilisation d'un nouveau dispositif de simulation nous permet aujourd'hui de reproduire un environnement virtuel proche des conditions réelles de traversée, avec l'avantage d'être sans danger pour les participants et de permettre un contrôle rigoureux des conditions de trafic approchant d'une ou de deux directions et à des vitesses différentes.

Par ailleurs, il est généralement démontré que le vieillissement a un effet délétère sur bon nombre de capacités cognitives, perceptives et physiques. La marche et le franchissement de rues deviennent ainsi des activités plus difficiles à réaliser avec l'avancée en âge puisqu'elles sollicitent des capacités fonctionnelles connues pour décliner chez la personne âgée. Le second objectif de la présente étude est ainsi d'accroître les connaissances pour expliquer la tendance des piétons seniors à manifester des comportements de traversée dangereux, en les mettant en relation avec les performances cognitives, perceptives et physiques.

Les résultats obtenus lors de cette expérimentation révèlent en premier lieu, que l'âge constitue un important facteur de vulnérabilité des piétons en situation de traversée de rue. Les seniors adoptent des marges de sécurité très voire trop réduites par rapport à leur vitesse de marche, ce qui engendre un taux de collisions trois fois plus élevé que celui des piétons jeunes.

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

Ces résultats comportementaux ont ensuite été mis en relation avec les résultats obtenus aux tests évaluant les capacités cognitives, perceptives et physiques de tous les participants afin d'identifier les facteurs fonctionnels prédictifs des collisions. Il est à retenir que le ralentissement de la vitesse de marche, associé au déclin de la flexibilité cognitive et de l'acuité visuelle avec l'âge expliquent les collisions observées lors de la traversée de rue.

Cette première expérimentation représente ainsi une étape indispensable pour guider la suite de nos travaux dans le cadre du projet SEPIA. La seconde étape du projet consistera en effet à proposer des méthodes de réentraînement adaptés au piéton âgé dans la perspective d'améliorer sa sécurité. L'identification des capacités fonctionnelles prédictives des comportements dangereux permettra alors d'élaborer un programme d'entraînement ciblé sur ces fonctions.

INTRODUCTION

Le projet de recherche SEPIA s'inscrit dans la perspective d'améliorer la sécurité des piétons âgés qui représentent une population très vulnérable parmi les usagers de la route. Faisant suite au premier livrable qui portait sur la description de la démarche méthodologique utilisée pour notre première expérimentation, ce second livrable expose l'ensemble des résultats obtenus à l'issue de celle-ci.

Alors que les personnes âgées de plus de 65 ans représentent près de la moitié des piétons tués en France (ONSIR, 2008), l'étude de leurs comportements et l'amélioration de leur sécurité fait encore l'objet de peu de travaux dans la littérature. On note un progrès des connaissances acquises sur le domaine depuis seulement 10-15 ans, et bon nombre de questions n'ont pas encore trouvé de réponses.

Les travaux antérieurs s'accordent néanmoins tous à faire apparaître des changements significatifs avec l'âge dans les comportements et décisions de traversée de rue (Oxley et al., 1997, 2005 ; Lobjois et Cavallo, 2007, 2009 ; Holland et Hill, 2010). Les piétons âgés sont plus lents pour prendre la décision de traverser et pour initier le premier pas. Ils marchent globalement plus lentement, adoptent des marges de sécurité réduites et montrent ainsi des difficultés à sélectionner des gaps suffisamment longs pour franchir le trafic en toute sécurité. Parmi les facteurs influençant la traversée, nous retiendrons que les piétons âgés prennent plus de décisions risquées lorsque la vitesse d'approche des véhicules est élevée (ex. 60km/h, cf. Oxley et al., 2005 ; Lobjois et Cavallo, 2007, 2009), et lorsque les conditions de trafic sont complexes. L'étude observationnelle d'Oxley et collaborateurs (1997) révèle ainsi une occurrence élevée de décisions dangereuses et d'accidents avec l'âge dans la voie la plus éloignée de rues à double sens de circulation.

Nous retiendrons également de cette revue de littérature que les travaux expérimentaux se sont limités à des situations de trafic à sens unique (Lobjois et Cavallo, 2007,2009 ; Oxley et al., 2005). Alors que la traversée de rue à double sens de circulation est particulièrement complexe et accidentogène chez les seniors, l'étude d'Oxley et al. (1997) est la seule à ce jour à avoir comparé les comportements des seniors selon que le trafic approche d'une seule ou de deux directions. Toutefois, cette étude était observationnelle, et les chercheurs ne pouvaient pas manipuler les conditions réelles de trafic, mais seulement les observer.

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

Le second objectif de la présente étude était d'accroître les connaissances pour expliquer le grand nombre d'accidents des piétons seniors. Les travaux antérieurs expliquent souvent l'augmentation des

traversées risquées avec l'âge par le déclin des capacités cognitives, perceptives ou motrices (Oxley et al., 1997, 2005 ; Lobjois et Cavallo, 2007, 2009 ; Holland et Hill, 2009). Seule l'équipe australienne de Jennifer Oxley du MUARC (Monash University Accident Research Centre) a entrepris une quantification de ces capacités (ex. Oxley et al., 2001, 2005). Toutefois, la démarche de quantification ou l'exploitation des données recueillies n'est pas optimale. Ainsi, Oxley et al. (2001) utilisent cinq tests différents (Get-up-and-go, Mean Visual Acuity, Trail Making Test , Digit / Symbol Test et MOMSSE) mais ne les soumettent pas à une seule et même analyse de régression pour examiner quelle aptitude prédit le mieux les décisions de traversée de rue sécuritaires.

La traversée de rue est une activité locomotrice qui se révèle être plus complexe qu'elle n'y paraît. Elle requiert un ensemble de capacités cognitives, perceptives et physiques, et impose ainsi de multiples contraintes au piéton. Il s'agit pour le piéton désireux de traverser de repérer les véhicules à l'approche, de déterminer leur vitesse, d'estimer s'il a le temps nécessaire pour traverser en fonction de ses propres capacités de marche, de prendre la décision de traverser s'il le juge possible, et d'initier la marche le cas échéant. Or, bon nombre des travaux de la littérature du vieillissement s'accordent à mettre en évidence un effet délétère de l'avancée en âge sur l'ensemble des performances cognitives, perceptives et physiques.

Il apparaît ainsi clairement que les âgés ont des difficultés cognitives, notamment liées au contrôle attentionnel et exécutif, pour partager leur attention, sélectionner les informations pertinentes de l'environnement, tout en ignorant les autres, ou encore pour planifier leurs actions et alterner entre plusieurs sources d'informations (Crawford et al., 2000). Le vieillissement se caractérise aussi par un ralentissement de la vitesse de traitement des informations, et cela d'autant plus que les tâches sont complexes (Salthouse, 1996, 2003). Les traitements cognitifs de bas niveau (e.g., traitement des caractéristiques perceptives et sensorielles) seraient exécutés trop lentement pour que les traitements de plus haut niveau (e.g., estimation de la vitesse d'approche) soient complètement et correctement accomplis dans le temps imparti. Par ailleurs, le ralentissement de la vitesse de traitement des informations pourrait entraîner la réduction ou la perte des informations en mémoire. Ce déclin cognitif est associé à une détérioration des capacités perceptives et visuelles. Avec l'âge, les personnes ont un champ visuel utile restreint (Rubin et al., 1997), des difficultés à percevoir les détails et les objets en mouvement, et cela notamment pour ce qui concerne les mouvements lents (Hills, 1975). Enfin, les personnes âgées souffrent généralement de problèmes d'équilibre, d'une faiblesse musculaire et articulaire (pour revue, Oxley et al., 2004). L'affaiblissement des mécanismes de contrôle de l'équilibre et le déclin des réflexes posturaux réduisent leur mobilité et rendent les personnes âgées plus prédisposés aux risques de chutes.

La marche et le franchissement de rues deviennent ainsi des activités plus difficiles à réaliser avec l'avancée en âge puisqu'elles sollicitent d'importantes capacités fonctionnelles connues pour décliner chez la personne âgée.

Après un rappel de la démarche méthodologique utilisée, le présent livrable synthétise et discute les résultats de notre étude en trois chapitres :

- Le premier chapitre présente les résultats comportementaux obtenus lors de la tâche de traversée de rue. Les performances des participants ont été analysées en fonction de l'âge des participants, de la vitesse d'approche des véhicules et de la complexité du trafic simulé;
- Le deuxième chapitre présente les résultats obtenus aux tests fonctionnels (cognitifs, perceptifs et moteurs) en fonction de l'âge des participants ;
- Le troisième chapitre présente les résultats des analyses statistiques visant à étudier l'impact du déclin des capacités cognitives, perceptives et physiques lié à l'âge sur les comportements de traversée de rue de piétons jeunes et plus âgés.

I. Méthodologie expérimentale : rappel du premier livrable

1. Participants

59 participants ont participé à cette étude. Ils ont été répartis en trois groupes d'âge : des adultes jeunes âgés de 20 à 35 ans, des personnes âgées de 60 à 67 ans, et des personnes très âgées de 68 à 84 ans (cf. Tableau 1). Les 59 sujets étaient rémunérés pour leur participation et signaient une feuille de consentement libre et éclairé avant le début de l'expérimentation. Chaque groupe comprend approximativement autant d'hommes que de femmes.

Les participants âgés sont tous autonomes, vivant au domicile, et se déplaçant quotidiennement sans canne ni béquille. L'intégrité cognitive globale de tous les participants âgés a été évaluée à l'aide du MMSE (Folstein et al., 1975). Ils ont tous obtenu un score supérieur aux normes (score supérieur à 24/30), et ne présentent donc aucun signe de vieillissement pathologique.

Les caractéristiques générales des participants sont présentées dans le Tableau 1 ci-dessous.

	JEUNES	AGES	TRES AGES
EFFECTIF	20	19	20
AGE (MOY ET ECART TYPE)	28.9 (\pm 4.21)	62.50 (\pm 2.41)	76.55 (\pm 4.44)
SCORE MMSE (MAX=30)	–	29.15	28.85

Tableau 1 : Caractéristiques générales des trois groupes de participants.

2. Matériel et tâches

Chaque participant répondait à une tâche de traversée de rue sur simulateur et à une série de tests et questionnaires. Pour respecter les délais d'expérimentation du projet SEPIA et en raison de la construction de notre nouveau simulateur à Versailles Satory, nous avons utilisé le simulateur du LEPSIS (LCPC, Paris 15^{ème}). La configuration du simulateur du LEPSIS ne nous a pas permis de proposer aux participants d'effectuer une tâche réelle de traversée de rue dans un environnement

simulé (la distance de marche effective étant trop courte dans ce dispositif). Une tâche d'estimation de traversée a donc été proposée, et le sujet répondait à l'aide d'un bouton réponse pour déclarer à chaque essai présenté s'il acceptait ou non de franchir le trafic virtuel.

2.1. *Simulateur de traversée de rue*

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). L'environnement de simulation est constitué de systèmes de génération et de projection d'images, d'un bouton réponse et d'un système d'enregistrement des décisions de traverser la rue. Les images sont générées par deux PCs visuels (environnement LINUX/bibliothèque graphique OpenGL Performer avec des cartes GeForce 8800 GT), et chaque PC gère 3 projecteurs DLP. La fréquence de rafraîchissement des écrans a été fixée à 30 Hz et la résolution spatiale de chaque écran était de 1024 pixels (en largeur) x 1280 pixels (en hauteur). Ces PCs sont interconnectés avec un PC-maître 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 via le bouton-réponse relié au PC.

Les scènes visuelles sont projetées sur six écrans de dimensions 255 cm (hauteur) x 188 cm (largeur), placés en héli-cercle, offrant au participant un champ visuel horizontal de 180° et un champ visuel vertical de 40°. Le logiciel utilisé (Archisim) prend en compte la taille des sujets afin de placer l'horizon visuel à la hauteur du regard, augmentant encore le réalisme de la scène virtuelle. Les scènes visuelles représentent une voie à double sens de circulation, large de 6m de trottoir à trottoir (cf. Figure 1). Le trafic est composé de motos et de véhicules légers dont la vitesse d'approche varie suivant les besoins de l'expérimentation. Sur la voie proche du piéton, les véhicules se déplacent de la gauche vers la droite en référence à la position du piéton au bord du trottoir. Sur la voie éloignée, les véhicules se déplacent de la droite vers la gauche.



Figure 1: Dispositif de simulation de la traversée de rue pour un trafic à double sens.

2.2. Tâche de traversée de rue et conditions expérimentales

Les sujets répondaient à une tâche d'estimation de traversée de rue dans un environnement virtuel. Placé au centre du simulateur de traversée de rue (voir Figure 1), chaque participant devait décider à chaque essai proposé s'il pensait ou non avoir le temps de franchir le trafic virtuel d'une seule traite et sans courir. Pour répondre, le sujet disposait d'un bouton presseur dans la main et devait appuyer au moment où il pensait pouvoir initier sa traversée. S'il pensait ne pas avoir le temps de franchir le trafic virtuel, le participant attendait l'essai suivant.

Trois conditions expérimentales ont été élaborées afin d'étudier l'effet de la complexité du trafic sur le comportement de traversée de rue :

- La première condition de trafic est à sens unique :

Les véhicules ne circulent que sur la voie proche du piéton, de gauche à droite en référence à sa position simulée au bord du trottoir. Aucun véhicule ne circule sur la voie éloignée de la chaussée.

D'autre part, la vitesse de déplacement des véhicules était de 40 km/h ou 60 km/h.

Le gap disponible était compris entre 1 et 7 secondes (variant par pas de 1 seconde). D'après une étude antérieure (Lobjois et Cavallo, 2007), les gaps très petits étaient toujours refusés et les gaps très grands toujours acceptés, de ce fait le nombre d'essais a été répété en fonction du gap disponible (cf. Tableau 2).

Gap disponible : Voie proche	Nombre d'essais
1	1
2	2
3	3
4	3
5	3
6	2
7	1
	Total : 15 essais

Tableau 2 : Nombre des essais par gap pour la condition à sens unique.

Donc au total, en considérant les deux vitesses de déplacement des véhicules, 30 essais ont été constitués pour la condition à sens unique (soit 15 essais x 2).

- Deux conditions de trafic à double sens ont été créées:

Condition 1 : Les véhicules de la voie proche (voie 1) arrivent à hauteur du piéton avant les véhicules de la voie éloignée (voie 2).

Condition 2 : Les véhicules de la voie éloignée (voie 2) arrivent à hauteur du piéton avant les véhicules de la voie proche (voie 1).

Comme pour la condition à sens unique, la vitesse de déplacement des véhicules était de 40 km/h ou 60 km/h., le gap disponible entre deux véhicules cibles variait entre 1 et 7 secondes (par pas de 1 seconde) et le nombre d'essais variait selon le gap disponible (cf. Tableau 3).

Gap disponible : voie proche	Gap disponible: voie éloignée	Nombre d'essais
1	1	1
2	2	2
3	3	3
3	4	3
3	5	3
4	3	3
4	4	3
4	5	3
5	3	3
5	4	3
5	5	3
6	6	2
7	7	1
		Total : 33 essais

Tableau 3: Nombre d'essais par gap pour chaque condition à double sens.

Ainsi, pour une condition à double sens, pour les deux vitesses de déplacement, 66 essais ont été constitués (soit 33 essais x 2).

Donc au total pour les deux conditions à double sens, 132 essais ont été définis.

En considérant toutes les conditions expérimentales, 162 essais étaient donc présentés à chaque participant pour la tâche de traversée. Ces essais étaient répartis en 4 blocs, qui contenaient chacun 40 ou 41 d'essais. Les essais étaient répartis de sorte que toutes les conditions apparaissent dans chaque bloc. L'ordre des essais à l'intérieur des blocs était aléatoire ; l'ordre de passation des blocs était contrebalancé. Après chaque bloc, le sujet faisait une pause et complétait un questionnaire ou un test.

3. Batterie de tests

Tous les participants jeunes et âgés ont également répondu à une batterie de tests et de questionnaires. Plusieurs épreuves ont été sélectionnées et élaborées afin d'évaluer les capacités cognitives, perceptives et motrices des participants. Un récapitulatif des tests utilisés est présenté ci-dessous (cf. Tableau 4). Leur description détaillée est présentée dans le précédent livrable de SEPIA et dans le Tome 1 des livrables de PT2.

EVALUATION DES CAPACITES COGNITIVES		
Nom du test	Fonction évaluée	Références
CODE	Vitesse de traitement Capacités grapho-motrices	Wechsler, 2000
Trail Making Test	Flexibilité mentale Vitesse de traitement	Reitan & Wolsfon, 1985
Mise à jour	Mémoire de travail	Zimmerman & Fimm, 2009
Go/NoGo	Inhibition	Zimmerman & Fimm, 2009
Attention divisée	Attention divisée	Zimmerman & Fimm, 2009
Flexibilité	Flexibilité mentale	Zimmerman & Fimm, 2009
Stroop visuo-spatial	Sensibilité aux interférences	Zimmerman & Fimm, 2009
Balayage visuel	Exploration visuelle	Zimmerman & Fimm, 2009
UFOV	Détection et identification d'informations visuelles	Ball et al., 1988, 1993
EVALUATION DES CAPACITES PERCEPTIVES		
Ergovision	Acuité visuelle	Essilor
Perception du mouvement	Tâche expérimentale de perception du mouvement	
Perception de la vitesse d'approche d'un véhicule	Tâche expérimentale de perception du mouvement	
Perception du temps d'approche d'un véhicule	Tâche expérimentale de perception du mouvement	
EVALUATION DES CAPACITES PHYSIQUES		
Gait and Balance Test	Epreuves d'équilibre et de marche	Tinetti et al., (1994)
Mesure de la vitesse de marche et auto-estimation	Mesure de la vitesse de marche du participant sur une distance de 6 mètres, à allure normale et rapide	
QUESTIONNAIRES		
Informations générales	Questionnaire sur les activités et l'état de santé des sujets	
Test d'anxiété STAI	Anxiété Etat et Trait	Spielberger, 1983
Comportement de traversée de rue	Estimation subjective des comportements dangereux	Elliott et Baughan, 2004
Peur de chuter	Questionnaire pour la personne âgée sur la peur de tomber	Tinetti et al., 1990
Déclin cognitif	Questionnaire pour la personne âgée des difficultés cognitives au quotidien	Broadbent et al., 1982
Capacités fonctionnelles et incapacités	Questionnaire pour la personne âgée sur ses incapacités	Haley et al., 2002 Jeete et al., 2002

Tableau 4 : Synthèse des tests et questionnaires utilisés pour l'évaluation des capacités cognitives, perceptives et physiques.

4. Procédure expérimentale

L'expérimentation s'est déroulée en deux séances d'environ 1h30 chacune.

Au cours de la première séance, chaque participant était individuellement accueilli par l'expérimentateur qui lui présentait les objectifs de la recherche, les conditions de participation et lui faisait signer une feuille de consentement libre et éclairé. Cette session était consacrée à la tâche de traversée de rue dans le simulateur, et à la passation de quelques questionnaires d'informations générales et du MMSE pour les participants âgés. Des pauses étaient proposées régulièrement aux participants, entre chaque série d'essais de traversée de rue notamment.

Au cours de la deuxième session, le sujet était à nouveau informé des objectifs de l'étude et du déroulement de la séance. Cette dernière séance était consacrée à l'évaluation des capacités cognitives, perceptives et physiques pouvant être impliquées dans le comportement de traversée de rue. La passation était également individuelle. Le sujet était placé à un bureau pour effectuer les épreuves informatisées sur un ordinateur situé face à lui, et pour compléter les questionnaires/tests présentés sur feuille. Les participants étaient invités à faire des pauses régulièrement au cours de la séance. Les performances des sujets étaient enregistrées soit directement sur ordinateur, soit stockées dans un dossier pour chaque participant pour les tests papier-crayon.

II. Résultats obtenus à la tâche d'estimation de traversée de rue

1. Analyse des données

Pour chaque essai, la décision de traverser ou non a été enregistrée. Différentes variables ont été calculées à partir de ce recueil et des informations relatives aux conditions de trafic :

Le temps de réponse (TR) correspond au moment où le participant a appuyé sur le bouton-réponse pour déclarer qu'il aurait initié sa traversée en condition réelle de trafic. Le TR est calculé en référence au passage à la hauteur du piéton du premier véhicule du gap sélectionné dans la voie la plus proche. Le TR correspond donc au moment d'initiation de la traversée, c'est-à-dire au temps écoulé entre le moment où l'arrière du premier véhicule du gap sélectionné dans la voie la plus proche passe à la hauteur du participant et le moment où ce dernier déclare initier sa traversée.

Le TR est négatif chaque fois que le participant déclare démarrer sa traversée avant que le premier véhicule du gap sélectionné dans la voie proche ne soit entièrement passé (ex. -0.7 s. pour un participant déclarant initier sa traversée 700 ms. avant le passage du premier véhicule du gap accepté dans la voie proche). Le TR est positif lorsque le participant a initié sa traversée après que le premier véhicule du gap sélectionné dans la voie proche soit entièrement passé.

La marge de sécurité est calculée en soustrayant le temps de marche moyen du participant pour franchir la distance en question au temps disponible pour traverser au moment où il a déclaré pouvoir le faire. La marge de sécurité est négative dans le cas où le piéton se serait trouvé encore sur la chaussée au moment où le second véhicule arrive à sa hauteur.

Les collisions : Une collision a été comptabilisée chaque fois que le piéton avait accepté de traverser le gap proposé alors qu'il se serait trouvé sur la trajectoire de la voiture à l'approche au moment où elle passait à sa hauteur. Compte tenu de son temps moyen de marche et du moment où il déclarait initier sa traversée, le piéton aurait donc été heurté par le véhicule à l'approche. Le nombre total de collisions est exprimé en pourcentage, par rapport au nombre de traversées acceptées.

Ces trois variables ont été soumises à des analyses de variance avec le facteur Age (participants jeunes, âgés, et très âgés) en tant que facteur inter-groupe, et les facteurs Complexité du trafic (Trafic à sens unique vs. Trafic à double sens qui parvient à la hauteur du piéton dans la voie proche d'abord vs. Trafic à double sens qui parvient à la hauteur du piéton dans la voie éloignée d'abord) et Vitesse

d'approche des véhicules (Vitesse rapide vs. Vitesse lente) en tant que facteurs intra-groupe. Le seuil de significativité était fixé à .05 et la taille des effets est donnée par η^2 . Lorsque nécessaire, l'analyse post-hoc de Newman-Keuls a été réalisée afin de préciser les effets significatifs obtenus.

2. Temps de réponse

L'analyse statistique révèle 3 effets principaux : un effet significatif de l'âge [$F(2,56)=3.36$, $p<.05$, $\eta^2 = 0.11$], les piétons très âgés ($M=0.83$ s) décident de traverser plus tardivement que les jeunes ($M=0.65$ s), et aucune différence significative n'est observée avec le groupe des âgés ($M=0.72$ s); un effet significatif de la vitesse [$F(1,56)=9.39$, $p<.01$, $\eta^2 = 0.14$], les participants décident de traverser plus tardivement lorsque les véhicules approchent à vitesse rapide (i.e. 60 km/h, $M=0.77$ s) plutôt qu'à vitesse lente (i.e. 40 km/h, $M=0.70$ s); un effet significatif de la complexité du trafic [$F(2,56)=91.04$, $p<.0001$, $\eta^2 = 0.62$], les participants décident de traverser plus tardivement lorsque le trafic à double sens parvient à la hauteur du piéton dans la voie éloignée d'abord ($M=0.89$ s.) comparé au trafic à double sens parvenant à la hauteur du piéton dans la voie proche d'abord ($M=0.53$ s.) et au trafic à sens unique ($M= 0.78$ s).

Les résultats montrent une interaction significative entre les facteurs vitesse et complexité du trafic [$F(2,56)=2.89$, $p=.05$, $\eta^2 = 0.05$; cf. Figure 2]. L'analyse post-hoc indique que l'effet de la vitesse se retrouve lorsque le trafic à double sens parvient à la hauteur du piéton dans la voie proche d'abord, ($p<.01$) alors qu'aucun effet significatif de la vitesse n'est observé pour les deux autres conditions de trafic ($p>.05$).

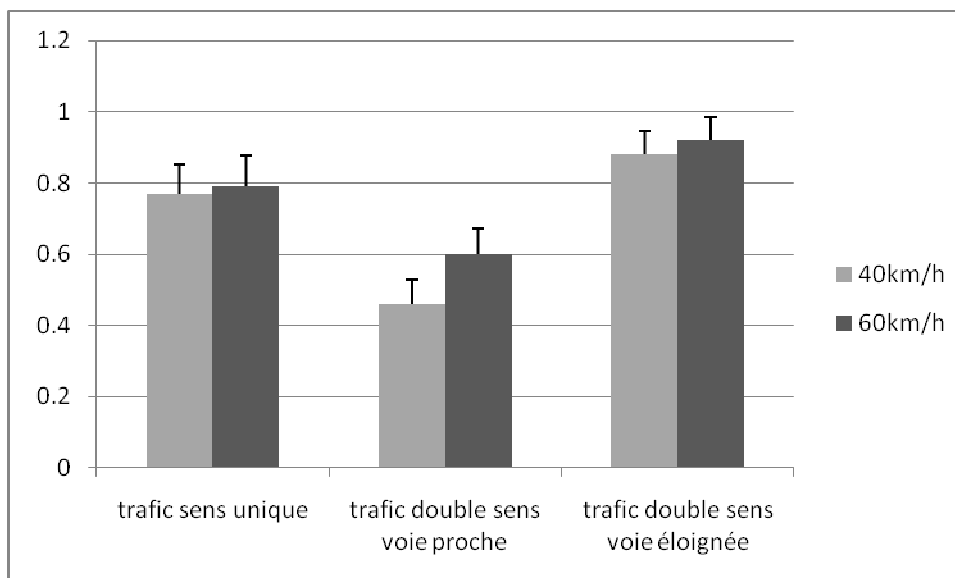


Figure 2 : Moyenne et écart-type du temps de réponse en fonction de la complexité du trafic et la vitesse d'approche des véhicules.

3. Marges de sécurité

L'analyse de variance sur les marges de sécurité révèle trois effets principaux : un effet significatif de l'âge [$F(2,56)=12.92$, $p<.0001$, $\eta^2 = 0.31$], les piétons très âgés adoptent une marge de sécurité en moyenne plus faible ($M=0.28$ s) que celle relevée chez les participants jeunes ($M=1.61$ s) et âgés ($M=1.25$ s), toutes ces différences inter-groupe sont significatives ; un effet significatif de la vitesse [$F(1,56)=4.97$, $p<.0001$, $\eta^2 = 0.35$], les participants adoptent une marge de sécurité plus petite lorsque les véhicules circulent à vitesse élevée ($M=0.95$ s) qu'à vitesse lente ($M=1.16$ s) ; un effet significatif de la complexité du trafic [$F(2,56)=2.84$, $p<.0001$, $\eta^2 = 0.15$], la marge de sécurité adoptée par les participants est significativement plus faible lorsque le trafic à double sens parvient à la hauteur du piéton dans la voie éloignée d'abord ($M=0.89$ s) plutôt que dans la voie proche ($M=1.20$ s) ou encore lorsque le trafic est à sens unique ($M=1.03$ s).

Les résultats indiquent également une triple interaction significative entre l'âge, la vitesse et la complexité du trafic [$F(4,112)=2.99$, $p<.05$, $\eta^2 = 0.10$; cf. Figure 3]. L'analyse post-hoc indique que les marges de sécurité ne diffèrent pas entre les jeunes et les âgés en condition de trafic à sens unique, alors que ces marges sont significativement plus faibles chez les âgés que chez les jeunes lorsque le trafic approche des deux directions. On constate par ailleurs que les participants jeunes et âgés adoptent une marge de sécurité qui ne varie pas significativement à mesure que la vitesse augmente lorsque le trafic circule à sens unique ($p>.05$), alors que les participants très âgés ont une marge de sécurité qui diminue significativement lorsque la vitesse augmente ($p<.001$). A l'inverse, lorsque le trafic est à double sens, un effet de la vitesse est observé chez les participants âgés et très âgés, ils adoptent des marges de sécurité plus petites lorsque la vitesse augmente ($p<.05$), alors que pour les participants jeunes, leur marge de sécurité ne varie pas significativement lorsque la vitesse augmente ($p>.05$).

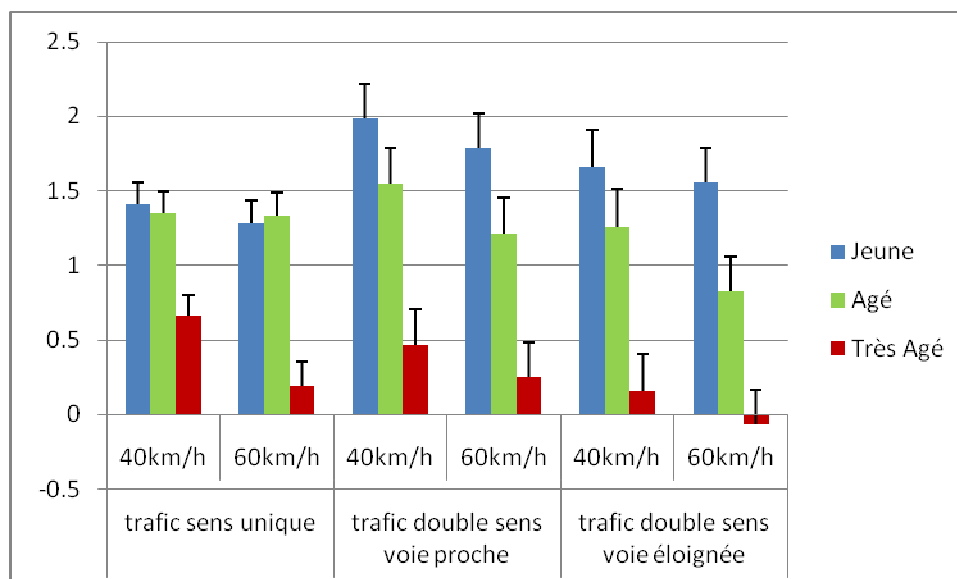


Figure 3 : Moyenne et écart-type de la marge de sécurité en fonction de l'âge, la complexité du trafic et la vitesse d'approche des véhicules.

Ces premiers résultats indiquent que les piétons très âgés adoptent des marges de sécurité réduites comparativement aux deux autres groupes d'âge, et cela notamment lorsque la vitesse des véhicules est élevée et que le trafic approche dans les deux directions. Les participants très âgés semblent ainsi choisir des gaps trop courts pour avoir le temps de traverser la chaussée en sécurité, certaines de ces décisions dangereuses pouvant alors mener les participants âgés à entrer en collision avec les véhicules à l'approche.

4. Collisions

L'analyse de variance réalisée sur les pourcentages de collisions révèle trois effets principaux : un effet significatif de l'âge [$F(2,56)=16.38$, $p<.0001$, $\eta^2 = 0.37$], les participants très âgés ($M=35.46\%$) prennent plus de décisions menant à des collisions que les participants jeunes ($M= 7.07\%$) et âgés ($M=20.34\%$), toutes ces différences inter-groupe sont significatives ; un effet significatif de la vitesse [$F(1,56)=22.18$, $p<.0001$, $\eta^2 = 0.28$], les collisions sont plus nombreuses lorsque la vitesse des véhicules à l'approche est élevée ($M=22.47\%$) plutôt que lente ($M=17.5\%$) ; et un effet significatif de la complexité du trafic [$F(1,56)=22.18$, $p<.0001$, $\eta^2 = 0.28$], les collisions sont plus nombreuses lorsque le trafic approche dans les deux directions ($M=21.62\%$) plutôt qu'une seule ($M=16.71\%$). Dans les conditions de trafic à double sens, on retient que le pourcentage de collisions est plus élevé lorsque les véhicules parviennent à la hauteur du piéton dans la voie éloignée d'abord ($M=23.42\%$) plutôt que dans la voie proche d'abord ($M=19.82\%$).

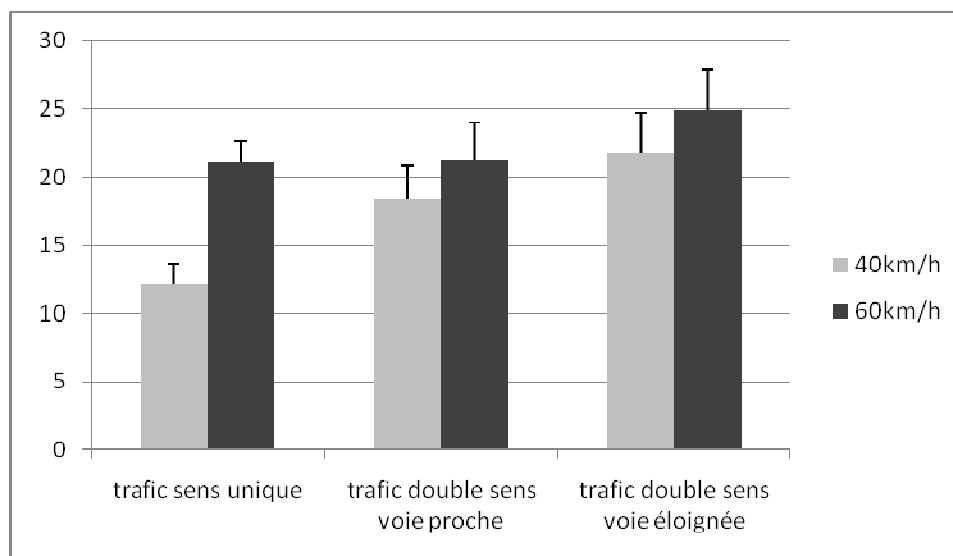


Figure 4 : Moyenne et écart-type du risque de collisions en fonction de la complexité du trafic et de la vitesse d'approche des véhicules.

Les résultats montrent une interaction significative entre les facteurs vitesse et complexité du trafic [$F(2,112)=4.75$, $p<.05$; $\eta^2 = 0.08$; cf. Figure 4]. L'analyse post-hoc révèle qu'en condition de trafic à sens unique, les collisions augmentent significativement lorsque la vitesse des véhicules augmente ($p<.001$), alors que dans les deux conditions de trafic à double sens, l'effet de la vitesse sur les collisions n'est que tendanciel (respectivement, $p=.06$ et $p=.09$).

L'interaction entre l'âge et la vitesse est également significative [$F(2,56)=5.17$, $p<.01$; $\eta^2 = 0.16$, cf. Figure 5]. L'analyse post-hoc indique que les participants très âgés ont significativement plus de collisions lorsque les véhicules circulent à vitesse élevée ($M=40.25\%$) plutôt que lente ($M=30.67\%$). Au contraire, le pourcentage de collisions ne varie pas significativement en fonction de la vitesse d'approche des véhicules chez les participants jeunes ($M=6.84\%$ à 40km/h et $M= 8.57\%$ à 60 km/h) ($p>.05$). Un effet tendanciel de la vitesse est observé chez participants âgés ($M=14.85\%$ à 40km/h et $M= 18.39\%$ à 60 km/h) ($p=.05$).

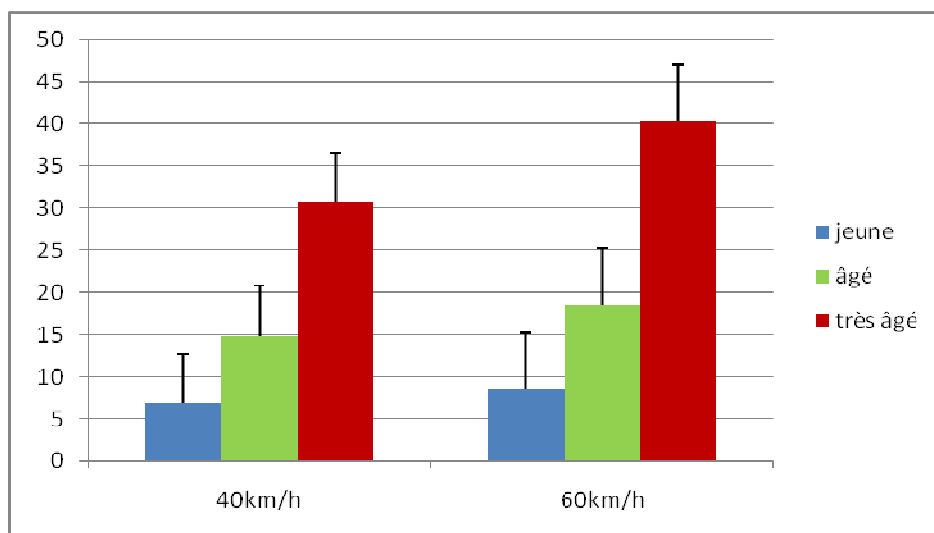


Figure 5 : Moyenne et écart-type du risque de collision en fonction de l'âge et la vitesse d'approche des véhicules.

Les résultats montrent également une interaction significative entre l'âge et la complexité du trafic [$F(4,112)=7.26$, $p<.0001$; $\eta^2 = 0.21$; cf. Figure 6]. L'analyse post-hoc indique que les groupes de participants âgés et très âgés ont significativement plus de collisions lorsque le trafic est à double sens comparé au trafic à sens unique ($p<.05$). De plus, les participants très âgés ont plus de collisions lorsque le trafic à double sens parvient à la hauteur du piéton dans la voie éloignée d'abord plutôt que dans la voie proche ($p<.05$). A l'inverse, les pourcentages de collisions relevés dans le groupe des participants jeunes ne varient pas significativement en fonction des conditions de trafic ($p>.05$).

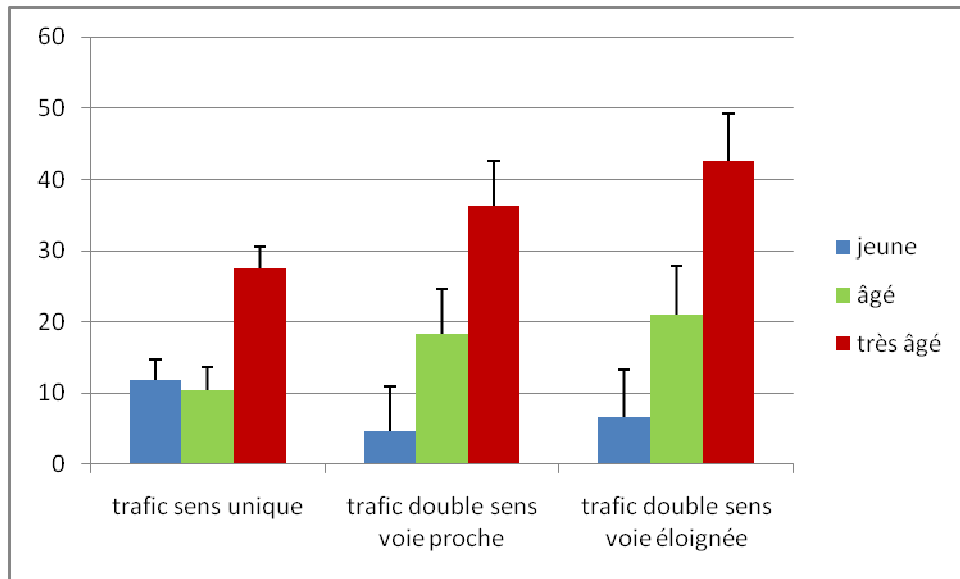


Figure 6 : Moyenne et écart-type du risque de collisions en fonction de l'âge et de la complexité du trafic

Les résultats indiquent enfin une triple interaction significative entre l'âge, la vitesse et la complexité du trafic [$F(4,112)=3.33$, $p<.05$; $\eta^2 = 0.11$; cf. Figure 7]. L'analyse post-hoc indique que les jeunes et âgés ne se distinguent pas pour la condition de trafic à sens unique, mais seulement en condition de trafic à double sens, où les âgés ont plus de collisions que les jeunes. D'autre part, en condition de trafic simple, les participants très âgés commettent significativement plus de collisions lorsque la vitesse augmente ($p<.01$), alors qu'aucune différence significative n'est observée pour les deux autres groupes jeunes et âgés. Par ailleurs, les participants très âgés ont des taux de collisions significativement plus élevés que les autres groupes dans toutes les conditions, exceptées lorsque le trafic est à sens unique et à faible vitesse.

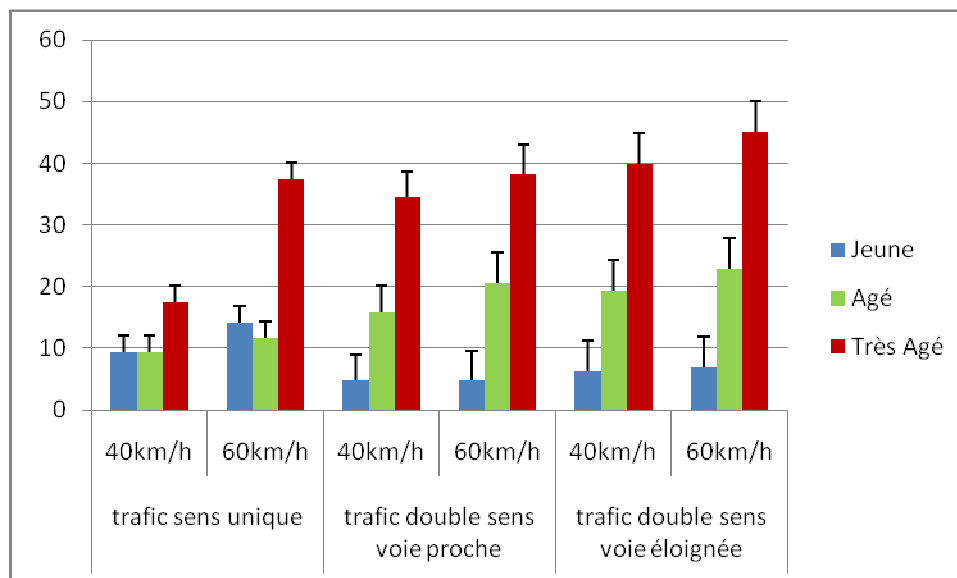


Figure 7 : Moyenne et écart-type du risque de collisions en fonction de l'âge, la complexité du trafic et de la vitesse d'approche des véhicules.

5. Discussion

Cette étude avait pour premier objectif d'examiner les effets respectifs et conjoints de l'âge, de la vitesse d'approche des véhicules et de la complexité du trafic sur les comportements et décisions de traversée de rue dans un environnement simulé et contrôlé.

Les résultats obtenus montrent tout d'abord que l'âge est un facteur de risque important. Les piétons très âgés de notre étude adoptent de très faibles marges de sécurité (seulement 0,3 secondes) comparativement aux deux autres groupes d'âge (environ 1, 5 secondes). Ces résultats sont similaires à ceux relevés dans les travaux antérieurs (Oxley et al., 2005) où les piétons seniors adoptaient des marges de sécuritaires très insuffisantes. Compte tenu de leur temps de réponse et de leur vitesse de marche (voir le chapitre suivant), leurs décisions se sont révélées particulièrement dangereuses. Ils choisissent des gaps trop courts pour avoir le temps de traverser la chaussée en sécurité, certaines de ces décisions dangereuses les amenant alors à entrer en collision avec les véhicules à l'approche. Les analyses révèlent ainsi que le pourcentage de collisions est trois fois plus élevé chez les participants âgés (de 60 à 67 ans) que chez les participants jeunes, mais est également cinq fois plus élevé chez les participants très âgés (de 68 à 84 ans) comparativement aux adultes jeunes. Ces effets de l'âge sont en accord avec les résultats des recherches antérieures. Les piétons âgés ont des comportements de traversée de rue plus risqués que les piétons jeunes, et cet effet est d'autant plus marqué dans le groupe d'âge très avancé (au-delà de 70 ans, cf. Oxley et al., 1997 ; 2004 ; 2005 ; Lobjois et Cavallo, 2007,2009).

Les résultats révèlent également la vitesse d'approche des véhicules comme un autre facteur de risque pour les piétons seniors. Alors que le pourcentage de collisions ne varie pas significativement en fonction de la vitesse chez les adultes jeunes, les piétons très âgés ont émis plus de décisions menant à des collisions à mesure que la vitesse d'approche des véhicules augmentait. Ce résultat confirme l'effet robuste de la vitesse que l'on retrouve dans les travaux antérieurs (Oxley et al., 2005 ; Lobjois et Cavallo, 2007, 2009). Les piétons âgés et très âgés tendent en effet à adopter des stratégies simplificatrices en fondant leurs décisions de traverser en fonction de la distance disponible uniquement, négligeant alors les informations relatives à la vitesse. En fait, pour un gap donné, la distance du véhicule à l'approche est nécessairement plus grande à vitesse élevée qu'à vitesse lente. Les grandes distances associées aux vitesses élevées mènent les piétons âgés à penser qu'ils ont le temps de traverser. Mais le temps d'arrivée du véhicule à leur hauteur est alors surestimé, et la décision de traverser la rue dangereuse.

La complexité du trafic se révèle être un facteur de risque important pour les piétons âgés. Remarquons d'abord que les âgés ne se distinguent pas des jeunes en termes de marges de sécurité et taux de collisions lorsque le trafic approche d'une seule direction. En revanche, des âges exhibent des comportements plus dangereux que les jeunes dès que les conditions de trafic deviennent plus complexes. Alors que le pourcentage de collisions ne variait pas significativement en fonction de la condition de trafic chez les adultes jeunes, les participants âgés et très âgés ont émis plus de décisions menant à des collisions lorsque le trafic venait de deux directions plutôt que d'une seule. Les difficultés des seniors à sélectionner des gaps suffisamment longs pour franchir le trafic dans les

conditions de trafic à double sens confirment les résultats de l'étude observationnelle réalisée par Oxley et collaborateurs en 1997. Ces difficultés peuvent s'expliquer par un déclin des capacités attentionnelles avec l'âge. Il devient en effet très difficile pour les âgés de prendre en compte plusieurs sources d'informations simultanément, et ils ne parviennent plus à extraire les informations pertinentes de celles non pertinentes pour décider s'ils peuvent traverser ou non en toute sécurité.

Les seniors montrent des difficultés particulièrement accrues à sélectionner un gap suffisamment long pour traverser la rue en toute sécurité dans la condition expérimentale la plus difficile, c'est-à-dire lorsque le trafic est à double sens de circulation et que la file de véhicules arrive à la hauteur du piéton dans la voie éloignée d'abord. Cette condition impose aux participants d'évaluer la disponibilité du gap de la voie éloignée avant de décider de traverser la voie proche. Un contrôle attentionnel supplémentaire et un effort d'anticipation sont donc nécessaires pour prendre la décision de traverser, accentuant dès lors la complexité de la tâche. Cette situation s'est avérée particulièrement difficile pour les âgés qui tendent spontanément à prendre leur décision de traverser en fonction de la voie proche d'abord et à ne pas anticiper la seconde moitié de la traversée au moment où ils décident de s'engager sur la chaussée (Oxley et al., 1997). L'ensemble de ces résultats confirment les conclusions de recherches accidentologiques montrant que les seniors ont des difficultés particulières à gérer des situations complexes (van Elslande, 2003).

En ce qui concerne la condition de trafic à sens unique, nous remarquons un taux particulièrement élevé de collisions dans la condition de trafic à sens unique (16,71%) par rapport aux résultats des travaux antérieurs (taux proche de 0 dans l'étude de Lobjois et Cavallo, 2009). Cette différence peut s'expliquer par des considérations méthodologiques. Dans cette présente étude, les participants étaient soumis à toutes les conditions expérimentales (trafic à double sens et trafic à sens unique), et l'ordre des essais et des conditions était rendu aléatoire. Ainsi, les participants ne pouvaient pas savoir à l'avance si l'essai proposé présentait un trafic à double sens ou un trafic à sens unique. Ils devaient donc adopter la même stratégie quelle que soit la condition de trafic, et vérifier l'arrivée du trafic dans les deux directions. Ceci rendait la tâche plus difficile que les conditions expérimentales des travaux antérieurs où le trafic provenait toujours et dans tous les essais de la même direction (à savoir de la gauche vers la droite en référence à la position du piéton en attente de traverser). De plus, la tâche peut être rendue plus difficile de part le temps disponible pour l'analyse de la scène visuelle. Dans notre étude, pour la situation de trafic à sens unique où le trafic approchait dans la voie proche seulement, trois secondes étaient allouées au piéton avant qu'un gap disponible ne se présente à lui (ce qui était identique aux études antérieures afin de pouvoir établir des comparaisons avec cette présente étude). Par contre, pour les conditions de trafic à double sens de circulation, lorsque les véhicules approchaient dans les deux voies, six secondes étaient disponibles pour le piéton afin qu'il décide de traverser la chaussée. Les six secondes laissaient alors le temps au participant d'explorer la scène visuelle et les deux voies de circulation. La proportion relativement élevée de collisions pour un trafic à sens unique laisse supposer que les trois secondes allouées dans la condition trafic à sens unique n'étaient sans doute pas suffisantes pour permettre au piéton d'observer le trafic et vérifier que des véhicules n'approchaient pas également dans la voie éloignée.

En conséquence, le piéton prend la décision de traverser sans avoir eu le temps d'explorer totalement les éléments de la scène, provoquant ainsi plus de décisions dangereuses. Cette contrainte de temps plus forte rend la tâche plus difficile pour les participants jeunes comme plus âgés.

Les résultats obtenus dans la présente étude sont fondés sur une tâche d'estimation de traversée et n'ont pas été relevés dans le cadre d'une traversée réelle et active. Ils nécessitent d'être confirmés par une tâche de traversée de rue réelle intégrant des situations similaires de trafic à double sens et à sens unique. Néanmoins, les travaux antérieurs de notre équipe (Lobjois et Cavallo, 2009) ont montré que les effets de l'âge observés lors d'une tâche de traversée réelle en situation de trafic à sens unique étaient largement retrouvés dans une tâche d'estimation. Les résultats obtenus dans notre étude seront vérifiés par une tâche de traversée réelle lors de la prochaine expérimentation.

La présente expérimentation suggère que la vitesse ainsi que la complexité du trafic représentent d'importants facteurs de risque de collisions avec l'avancée en âge.. Au vu de ces résultats, des recommandations concernant la limitation de la vitesse ainsi que des techniques de limitation du trafic, telles que le rétrécissement de la chaussée, des ralentisseurs, etc. dans les zones où le passage des piétons est fréquent devraient être considérées.

III. Résultats aux tests fonctionnels : performances cognitives, perceptives et physiques

1. Analyses des données

Le second objectif de cette présente étude est de déterminer les relations existant entre le risque de collisions chez les piétons et le déclin des performances cognitives, perceptives et physiques au cours du vieillissement.

Nous présentons ici les différentes mesures que nous avons retenues ou calculées pour chaque épreuve fonctionnelle, en se référant aux recommandations de la littérature ou aux normes existantes afin de sélectionner les mesures les plus pertinentes pour chaque épreuve. Une description détaillée de chaque épreuve est présentée dans le Livrable 1 de SEPIA.

Pour les épreuves cognitives :

- La flexibilité cognitive a été évaluée par le Trail Making Test parties A et B, et par le test de flexibilité de la batterie TAP. Le score de flexibilité au Trail Making Test correspond à la différence de temps mis pour réaliser la partie B et la partie A, et le score au test de flexibilité de la TAP correspond au nombre d'erreurs commises.
- L'inhibition a été évaluée par le test Go/noGo et le Stroop visuo-spatial de la batterie TAP. Le score au Go/noGo et au Stroop correspond au nombre d'erreurs commises.
- La mise à jour des informations en mémoire a été évaluée par le test de la batterie TAP. Le score correspond au nombre d'erreurs commises.

- La vitesse de traitement a été évaluée à l'aide du CODE (tests de codage et de copie), de la partie A du Trail Making Test (TMT A) et de la partie 1 de l'UFOV. Le score au CODE-Codage et au CODE-Copie correspond au nombre de cases correctement remplies ; le score au TMT A correspond au temps (en secondes) pour réaliser le test, et le score à l'UFOV1 correspond à un seuil, c'est-à-dire au temps minimal (en millisecondes) nécessaire au sujet pour répondre correctement à 75% des essais de la tâche.
- Le balayage visuel a été évalué par le test de la TAP, et le score correspond au nombre d'omissions.
- L'attention divisée a été évaluée par le test d'attention divisée de la TAP et la partie 2 de l'UFOV. Le score au test d'attention divisée de la TAP correspond au nombre d'omissions et le score à l'UFOV correspond à un seuil, c'est-à-dire au temps minimal (en millisecondes) nécessaire au sujet pour répondre correctement à 75% des essais de la tâche.
- L'attention sélective a été évaluée par la partie 3 de l'UFOV et le score correspond à seuil, c'est-à-dire au temps minimal (en millisecondes) nécessaire au sujet pour répondre correctement à 75% des essais de la tâche.

Pour les épreuves perceptives :

- L'acuité visuelle a été mesurée à l'aide de l'Ergovision. Un score d'acuité binoculaire pour la vision de près et de loin a été obtenu.
- La perception du mouvement a également été mesurée à l'aide d'une tâche expérimentale. Le score obtenu correspond au seuil de discrimination du mouvement (en millisecondes). Il est calculé à partir du pourcentage de réponses correctes obtenu par le participant pour différencier les mouvements lent et rapide d'un stimulus selon le temps de présentation alloué à la tâche (de 200 à 1200 ms). Grâce à l'ajustement d'une fonction logistique sur ces données, un seuil de discrimination est calculé. Il correspond au temps minimal de présentation du stimulus à partir duquel le sujet perçoit correctement son mouvement angulaire dans 75% des cas.
- La perception de la vitesse d'approche d'un véhicule a été mesurée à l'aide d'une tâche expérimentale que nous avons créée pour l'occasion. Le score obtenu correspond au nombre moyen d'identifications correctes des vitesses présentées (30 ou 70 km/h).
- L'estimation du temps d'arrivée a également été mesurée à l'aide d'une tâche expérimentale créée pour l'occasion. Le score obtenu est exprimé en pourcentage et correspond à la différence entre le temps d'arrivée estimé par le participant pour que la voiture arrive à sa hauteur et le temps exact mis par le véhicule pour parvenir à son niveau (correspondant à 100%). Si la différence obtenue est inférieure à 100%, cela signifie que le sujet a sous-estimé le temps d'arrivée du véhicule à sa hauteur (i.e. il a estimé que la voiture arrivait plus tôt qu'en réalité); et si le score obtenu est supérieur à 100%, le participant a surestimé le temps d'arrivée (il a estimé que le véhicule parvenait à sa hauteur plus tard qu'en réalité).

Pour les épreuves physiques :

- La vitesse de marche a été mesurée à l'aide d'une tâche expérimentale. La vitesse de marche moyenne (en mètre/seconde) a été calculée pour chaque participant qui effectuait des essais de marche à allure normale et rapide.
- L'estimation du temps de traversée a été mesurée à l'aide d'une tâche expérimentale. La moyenne du temps de marche estimée pour traverser (en mètre/seconde) a été calculée en imaginant marcher à allure normale, et le plus rapidement possible sans courir.
- L'estimation du temps de traversée sur le simulateur, De la même façon, la moyenne de la vitesse de marche (en mètre/seconde) a été calculée en imaginant marcher à allure normale, et le plus rapidement possible sans courir.
- L'équilibre a été également évalué par le test de Tinetti (1994). Le score obtenu correspond au nombre d'actions correctement effectuées.

Une analyse de variance avec le facteur Age (jeunes, âgés et très âgés) a été réalisée sur les performances obtenues à chaque épreuve cognitive, perceptive et physique. Les trois sections suivantes présentent les effets obtenus à chaque épreuve.

2. Performances cognitives

L'analyse de variance avec le facteur Age (jeunes, âgés et très âgés) réalisée sur les performances obtenues à chaque épreuve cognitive révèle un effet significatif de l'âge pour toutes les épreuves ($p < .05$). De façon générale, les performances des participants jeunes sont meilleures que celles des participants âgés et/ou des très âgés. Pour certaines épreuves, les performances des âgés sont meilleures que celles des très âgés (cf. Tableau 5a).

	Epreuves cognitives	Significativité	Sens des effets
Flexibilité cognitive	TMT (B-A) score flexibilité	p<.05	Les jeunes sont plus flexibles que les très âgés. Les âgés ne diffèrent pas des jeunes et des très âgés.
	Flexibilité TAP	p<.05	Les jeunes commettent moins d'erreurs de flexibilité que les très âgés. Les âgés ne diffèrent pas des jeunes et des très âgés.
Inhibition	Go/Nogo TAP	p<.01	Les jeunes commettent moins d'erreurs que les très âgés. Les âgés commettent moins d'erreurs que les très âgés.
	Incompatibilité TAP	p<.001	Les jeunes sont moins sensibles aux interférences que les âgés et que les très âgés.
Mise à jour des informations	Update TAP	p<.001	Les jeunes commettent moins d'erreurs de mise à jour des informations en mémoire de travail que les très âgés. Les âgés ne diffèrent pas des jeunes et des très âgés.
Vitesse de traitement	TMT A	p < .000001	Les jeunes sont plus rapides que très âgés. Les âgés sont plus rapides que très âgés.
	UFOV 1	p=.057	Les jeunes sont plus rapides que les très âgés. Les âgés ne diffèrent pas des jeunes et des très âgés.
	CODE	p<.001	Les jeunes sont plus rapides que les très âgés. Les âgés ne diffèrent pas des jeunes et des très âgés.
	COPIE	p<.000001	Les jeunes sont plus rapides que les très âgés. Les âgés sont plus rapides que très âgés.
Balayage visuel	Balayage Visuel TAP	p<.001	Les jeunes ont de meilleurs scores de balayage visuel que les très âgés Les âgés ne diffèrent pas des jeunes et des très âgés.
Attention divisée	Attention Divisée TAP	p<.00001	Les jeunes font moins d'omissions que les âgés, qui eux-mêmes en font moins que les très âgés.
	UFOV 2	p<.00001	Les jeunes ont de meilleures performances attentionnelles que les très âgés. Les âgés ont un seuil attentionnel plus efficace que les très âgés.
Attention sélective	UFOV 3	p<.00001	Les jeunes ont un de meilleures performances attentionnelles que les âgés, eux-mêmes ayant de meilleures performances attentionnelles que les très âgés.

Tableau 5a : récapitulatif des effets significatifs obtenus par l'analyse de variance en fonction de l'âge pour chaque épreuve évaluant les capacités cognitives.

3. Performances perceptives

L'analyse de variance avec le facteur Age (jeunes, âgés et très âgés) réalisée sur les performances obtenues à chaque épreuve perceptive révèle un effet significatif de l'âge pour toutes les épreuves (p<.05). De façon générale, les performances des participants jeunes sont meilleures que celles des participants âgés et/ou des très âgés. Pour certaines épreuves, les performances des âgés sont meilleures que celles des très âgés. (cf. Tableau 5b)

	EPREUVES PERCEPTIVES	Significativité	Sens des effets
Perception de la vitesse	Perception de la vitesse Lente	p<.05	Les jeunes identifient mieux la vitesse d'approche que les très âgés. Les âgés ne diffèrent pas des jeunes et des très âgés.
	Perception de la vitesse Rapide	p<.05	Les jeunes identifient mieux la vitesse d'approche que les très âgés
	Perception du mouvement	p<.01	les jeunes ont un seuil de détection du mouvement plus petit que les âgés et les très âgés
	% estimation du temps d'arrivée	p<.00001	Les très âgés surestiment le temps d'arrivée par rapport aux jeunes et aux âgés.
Acuité visuelle	Acuité Visuelle de Loin	p<.01	Les jeunes ont une meilleure acuité que les âgés et très âgés
	Acuité visuelle de Près	p<.05	Les jeunes ont une meilleure acuité que les très âgés

Tableau 5b : récapitulatif des effets significatifs obtenus par l'analyse de variance en fonction de l'âge pour chaque épreuve évaluant les capacités perceptives.

4. Performances motrices

L'analyse de variance avec le facteur Age (jeunes, âgés et très âgés) réalisée sur les performances obtenues à chaque épreuve physique révèle un effet significatif de l'âge pour toutes les épreuves (p<.05). Les performances des participants jeunes sont meilleures que celles des participants âgés et/ou des très âgés. Pour certaines performances les âgés sont meilleurs que les très âgés. (cf. Tableau 5c).

EPREUVES PHYSIQUES	Significativité	Sens des effets
Vitesse de marche réelle	p<.0001	Les jeunes marchent plus vite que les deux groupes d'âgés
Estimation du temps de traversée	p<.00001	Les jeunes estiment marcher plus vite comparé aux âgés, qui eux même estiment marcher plus vite que les très âgés
Estimation du temps de traversée sur simulateur	p<.00001	Les jeunes estiment marcher plus vite comparé aux âgés, qui eux même estiment marcher plus vite que les très âgés
Equilibre	p<.001	Les âgés ont un meilleur équilibre que les très âgés

Tableau 3 c : récapitulatif des effets significatifs obtenus par l'analyse de variance en fonction de l'âge pour chaque épreuve évaluant les capacités physiques.

5. Discussion

Les résultats obtenus montrent un déclin fonctionnel généralisé avec l'âge. Il apparaît en effet que l'âge est associé à un ralentissement dans la réalisation des activités, à un déclin des fonctions attentionnelles et exécutives, ainsi qu'à une réduction des capacités de perception visuelle et des capacités physiques, notamment au niveau de la marche et de l'équilibre. Ce déclin généralisé lié à l'avancée en âge est en accord avec les résultats classiquement observés dans les recherches sur le vieillissement et pourrait ainsi avoir des répercussions sur le comportement des piétons lors de la traversée de rue. Comme nous l'avons montré précédemment, le risque de collisions est

particulièrement accru chez les seniors et par ailleurs, la marche est une activité complexe qui sollicite à la fois des compétences cognitives, perceptives et physiques.

Ainsi, afin de mieux connaître les causes de cette augmentation des décisions dangereuses avec l'âge, nous nous sommes intéressés à évaluer l'impact du déclin cognitif, perceptif et physique associé au vieillissement normal sur la propension des seniors à entrer en collision avec le véhicule à l'approche lorsqu'ils traversent la rue.

IV. Facteurs prédictifs des décisions de traversée de rue

1. Analyses statistiques

Dans cette dernière partie, nous examinons si les variables fonctionnelles déclinant avec l'âge permettent d'expliquer les comportements de traversée de rue les plus dangereux, à savoir les collisions avec les véhicules approchants. Pour cela, nous avons réalisé une série d'analyses de corrélation et de régression afin d'examiner si une ou plusieurs des diverses performances fonctionnelles (cognitives, perceptives et physiques) permettent de prédire significativement le pourcentage de collisions observé dans la tâche de traversée de rue pour l'ensemble des situations de trafic et de vitesse.

1.1 Analyse de corrélation

Avant d'effectuer les analyses statistiques, les scores obtenus à chaque épreuve ont été transformés en z-scores afin de pouvoir comparer les performances obtenues à chaque test qui n'étaient pas sur la même échelle (pourcentage, nombre, temps, etc.). Un z-score permet d'homogénéiser des variables ayant des échelles de mesures différentes, afin de les rendre comparables entre elles. Un z-score se calcule par la formule suivante : $Z = (\text{moyenne du sujet} - \text{moyenne totale}) / \text{écart-type total}$.

Un z-score moyen a également été calculé, lorsque plusieurs tests ont servi à évaluer une même fonction. Par exemple, un z-score moyen d'inhibition a été calculé à partir des z-scores de chacun des tests évaluant l'inhibition. Une variable composite pour les capacités d'inhibition a ainsi été constituée. Nous avons défini au total 6 variables relatives aux fonctions cognitives: l'inhibition, la flexibilité, l'attention divisée, l'attention sélective, la vitesse de traitement, et la mise à jour des informations (qui n'est pas une variable composite car un seul test a été utilisé). Pour les capacités perceptives, quatre variables ont été définies : l'acuité visuelle binoculaire, perception du temps d'arrivée d'un véhicule à l'approche, la vitesse d'approche d'un véhicule, et le seuil de perception du mouvement. Enfin, nous avons défini deux variables relatives aux capacités physiques : la vitesse de marche et l'équilibre.

Nous avons dans un premier temps réalisé une analyse de corrélation entre le pourcentage de collisions relevé dans la tâche de traversée de rue, et les facteurs âge et variables fonctionnelles. Les analyses de corrélations permettent de mettre en évidence s'il y a une relation entre deux ou plusieurs variables et de quantifier la force de cette relation. Elles ne permettent pas cependant d'identifier des relations inférentielles entre les variables. Elles permettent de déterminer par exemple, si la variable

Age évolue de façon conjointe avec la Flexibilité etc. Le coefficient de corrélation r , est positif si deux variables évoluent dans le même sens, et sera négatif si l'une des deux variables augmente lorsque la seconde diminue. La matrice de corrélation obtenue dans la présente étude est présentée ci-après (cf. Tableau 6).

	Age	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Habiletés perceptives														
1 Acuité visuelle	-.37	-												
2 Perception de la vitesse	-.03	.19	-											
3 Estimation du temps d'arrivée	.53	-.10	-.12	-										
4 Perception du mouvement	.29	-.16	-.12	.28	-									
Habiletés cognitives														
5 Inhibition	.77	-.38	-.38	.33	.17	-								
6 Flexibilité	.42	-.26	-.14	.43	.24	.40	-							
7 Attention divisée	.75	-.37	-.34	.38	.29	.62	.50	-						
8 Attention sélective	.57	-.31	-.36	.21	.26	.55	.79	.79	-					
9 Mise à jour	.47	-.24	-.11	.33	.23	.39	.44	.44	.35	-				
10 Vitesse de traitement	-.35	.15	.26	-.09	-.36	-.34	-.36	-.36	-.33	-.35	-			
Habiletés physiques														
11 Vitesse de marche	-.53	.17	.23	-.21	-.25	-.40	-.53	-.54	-.44	-.27	.12	-		
12 Equilibre	-.48	.34	.26	-.19	-.26	-.38	-.48	-.48	-.45	-.28	.41	.48	-	
Comportement de traversée														
13 Collisions	.59	-.36	-.26	.26	.31	.39	.36	.55	.51	.42	-.27	-.83	-.55	-

Tableau 6: Matrice des corrélations entre le pourcentage de collisions relevé dans la tâche de traversée de rue, l'âge et les performances cognitives, perceptives et physiques Les valeurs en gras indiquent que la corrélation entre les variables est significative ($p < .05$).

L'analyse de corrélation révèle que le pourcentage de collisions observé dans la tâche de traversée de rue est significativement corrélé avec l'âge, et chacune des variables fonctionnelles.

En ce qui concerne les collisions, les résultats indiquent que plus les personnes vieillissent plus ils ont de collisions ($r = .59$; $p < .05$). D'autre part, les participants commettent plus de collisions, plus leur acuité visuelle diminue ($r = -.36$; $p < .05$), plus ils surestiment le temps d'arrivée d'un véhicule ($r = .53$; $p < .05$), moins ils perçoivent correctement la vitesse d'approche ($r = -.26$; $p < .05$), et plus leur temps de détection des mouvements augmente ($r = .31$; $p < .05$). De plus, le risque de collisions augmente également, moins ils marchent vite ($r = -.83$; $p < .05$), et plus ils ont des difficultés d'équilibre ($r = -.55$; $p < .05$). Enfin, les risques de collisions augmentent plus les personnes sont lentes à traiter les informations ($r = -.35$; $p < .05$), plus elles éprouvent des difficultés d'inhibition ($r = .77$; $p < .05$), de

flexibilité ($r = .42 ; p < .05$), de mise à jour des informations en mémoire ($r = .47 ; p < .05$), d'attention sélective ($r = .57 ; p < .05$) et d'attention divisée ($r = .75 ; p < .05$).

En ce qui concerne les effets avec l'âge, plus les participants vieillissent plus leur acuité visuelle est diminuée ($r = -.37 ; p < .05$), plus leur seuil de détection des mouvements est élevé ($r = .29 ; p < .05$), plus ils surestiment le temps d'arrivée d'un véhicule ($r = .53 ; p < .05$) et moins bonne est leur perception de la vitesse ($r = -.03 ; p < .05$).

De plus, plus les participants vieillissent, plus ils commettent des erreurs d'inhibition ($r = .77 ; p < .05$) de flexibilité ($r = .42 ; p < .05$), d'attention divisée ($r = .75 ; p < .05$) et sélective ($r = .57 ; p < .05$); enfin en vieillissant, leur vitesse pour traiter les informations diminue ($r = -.35 ; p < .05$).

Nous remarquons également que plus les participants vieillissent, plus leur habiletés physiques sont réduites (pour la marche, $r = -.53 ; p < .05$, et pour l'équilibre $r = -.48 ; p < .05$).

1.2 Analyse de régression

A partir de ces résultats, des analyses de régression pas à pas ascendantes ont été réalisées afin de préciser, parmi les variables fonctionnelles, celle(s) qui explique(nt) le mieux les différences observées avec l'âge dans le pourcentage de collisions relevé dans la tâche de traversée de rue.

Le principe de la régression pas à pas ascendante est d'inclure les variables explicatives une à une, étape par étape dans le modèle, en commençant avec la variable la plus corrélée avec la variable dépendante (ici les collisions). Après la première étape, le processus est réitéré. Parmi les variables indépendantes restantes, celle qui est la plus corrélée avec la variable dépendante est incluse à son tour dans le modèle afin d'avoir les variables qui contribuent le plus à expliquer la variance totale de la variable dépendante.

Le modèle de régression pas à pas ascendante retenu est présenté ci-après (cf. Tableau 7).

Etapas		R² ajusté	F	p	beta
1	Vitesse de marche	.70	133.004	<.0001	-.77
	Inhibition				
	Flexibilité				
	Attention divisée				
	Attention sélective				
	Mise à jour				
	Vitesse de traitement				
	Acuité visuelle				
	Estimation de la vitesse				
	Temps d'arrivée				
	Seuil de détection				
	Equilibre				
	Age				
2	Vitesse de marche	.75	145.06	<.00001	-.77
	Flexibilité		13.22	<.001	.20
	Inhibition				
	Attention divisée				
	Attention sélective				
	Mise à jour				
	Vitesse de traitement				
	Acuité visuelle				
	Estimation de la vitesse				
	Temps d'arrivée				
	Seuil de détection				
	Equilibre				
	Age				
3	Vitesse de marche	.77	147.57	<.00001	-.77
	Flexibilité		9.33	<.01	.20
	Acuité visuelle		6.81	<.05	-.17
	inhibition				
	Attention divisée				
	Attention sélective				
	Mise à jour				
	Vitesse de traitement				
	Estimation de la vitesse				
	Temps d'arrivée				
	Seuil de détection				
	Equilibre				
	Age				

Tableau 7: Synthèse de l'analyse de régression pas à pas ascendante visant à prédire le pourcentage de collisions observées dans la tâche de traversée de rue à partir des facteurs âge et performances fonctionnelles. En gras, les variables significativement prédictives de la variance totale du risque de collisions.

Le modèle de régression (cf. Tableau 7) montre que trois principales variables contribuent significativement à expliquer 77% de la variance totale du nombre de collisions observées dans la tâche de traversée de rue. Précisément, 70% de la variance totale est expliquée par la vitesse de marche des participants. La flexibilité cognitive ajoute 5% supplémentaires à la variance expliquée par le modèle et l'acuité visuelle en ajoute 2%. Comme la variable Age n'est pas significative au vu de ces analyses, l'âge n'est donc pas explicatif du risque de collisions. Les différences de variance observées pour le risque de collisions peuvent donc être expliquées par les différences observées pour la vitesse de marche, les capacités de flexibilité cognitive et de l'acuité visuelle.

Cette analyse de régression montre donc que la propension des piétons à émettre des décisions de traversée de rue dangereuses menant à une collision avec le véhicule à l'approche n'est pas liée directement à leur âge, mais à leur vitesse de marche, et leurs capacités de flexibilité cognitive et de l'acuité visuelle. Par conséquent, c'est le ralentissement avec l'âge de la vitesse de marche, le déclin de la flexibilité cognitive et de l'acuité visuelle avec l'âge qui contribuent ainsi à expliquer le risque de collisions.

2. Discussion

Les résultats de notre étude révèlent que la majoration avec l'âge du nombre de collisions observée dans la tâche de traversée de rue serait le reflet d'un déclin physique, d'un déclin de la flexibilité et de la diminution de l'acuité visuelle associés au vieillissement normal.

La réduction des capacités physiques joue un rôle primordial dans l'augmentation du nombre de collisions observée avec l'âge : la vitesse de marche apparaît comme étant le premier facteur prédictif des collisions. Holland et Hill (2010) suggèrent à ce propos que les piétons âgés n'auraient pas une représentation correcte de leurs propres capacités, et particulièrement de leur vitesse de marche. Les seniors les plus âgés auraient tendance à surestimer leur vitesse de marche, et à sélectionner par conséquent des fenêtres temporelles beaucoup trop courtes entre les véhicules lorsqu'ils traversent la rue. Bien souvent, ce manque de conscience du ralentissement moteur avec l'âge conduit les personnes âgées à prendre des décisions risquées qu'elles ne sont plus aptes à corriger spontanément au cours de la traversée.

Le manque de flexibilité cognitive avec l'âge apparaît également comme facteur prédictif du nombre de collisions. La traversée de rue est une activité complexe qui nécessite que le piéton coordonne ses mouvements en fonction de l'environnement qu'il perçoit, et contrôle son comportement en permanence en fonction de l'endroit qu'il souhaite atteindre et des changements concernant le trafic. Des mécanismes exécutifs sont donc requis pour répondre à cette tâche. La flexibilité cognitive est considérée comme l'une des principales fonctions exécutives (Miyake et al., 2000). C'est une aptitude indispensable à la réalisation d'activités quotidiennes puisqu'elle intervient pour changer de stratégies, intégrer plusieurs sources d'informations, et ainsi ajuster un comportement en fonction des contraintes qui surviennent. La littérature sur le vieillissement cognitif fait clairement apparaître un manque de flexibilité mentale avec l'âge, aussi bien au niveau du changement de stratégies que dans la

recherche de nouvelles solutions à un problème (e.g., Epinger et al., 2007). L'augmentation du nombre de collisions chez les piétons seniors pourrait ainsi résulter d'une difficulté avec l'âge à prendre en compte plusieurs sources d'informations et à ajuster des critères de décision en fonction de la nature et de la disponibilité des informations dans la scène visuelle. Dans des situations complexes de trafic à double sens de circulation, les âgés seraient ainsi particulièrement en difficulté pour prendre en compte le trafic arrivant des deux directions, pour déplacer leur foyer attentionnel d'un côté à l'autre afin de sélectionner les informations les plus pertinentes pour traverser en sécurité, tout en tenant compte de la vitesse d'arrivée des véhicules. Par ailleurs, les capacités de flexibilité pourraient jouer un rôle pour tenir compte des conditions variables du trafic (tels que la vitesse d'approche des véhicules, le sens unique de circulation ou les conditions à double sens de circulation) et adapter leurs prises de décisions en fonction de ces changements. Or, le manque de flexibilité du piéton âgé rendrait la prise en compte de ces changements plus difficile, et les amènerait à prendre la décision de traverser sans intégrer tous les modifications de l'environnement d'une situation à l'autre. La mise en évidence de la contribution de la flexibilité cognitive dans la sécurité des comportements de traversée de rue rejoint les hypothèses explicatives avancées dans la littérature du piéton âgé (Holland et Hill, 2010 ; Oxley et al., 2005).

Enfin, l'augmentation des comportements dangereux avec l'avancée en âge résulterait de la baisse de l'acuité visuelle associée au déclin des capacités physiques et de flexibilité. La traversée de rue est une tâche hautement visuelle. Le piéton doit être en mesure de réaliser une exploration visuelle fine et efficace de l'environnement afin de prendre sa décision de traverser en fonction des éléments visuels qu'il perçoit. Or, au cours du vieillissement, il est observé une baisse de l'acuité visuelle et du champ visuel ainsi qu'une baisse de sensibilité aux contrastes (Scheiber et al., 1992 ; 1994). En conséquence, les âgés éprouvent des difficultés à analyser finement les contours des objets de l'environnement, à percevoir les dimensions spatiales à une certaine distance, ce qui peut contribuer à engendrer plus de décisions dangereuses avec l'âge, le traitement perceptif et cognitif des informations visuelles n'étant plus aussi performant et précis que pour les jeunes piétons. En accord avec l'interprétation avancée dans les travaux antérieurs (Oxley et al., 2005 ; Lobjois et Cavallo, 2007 ; 2009), les piétons âgés adopteraient des stratégies simplificatrices pour compenser leurs déficits perceptifs et cognitifs, en prenant leurs décisions de traverser la rue essentiellement en fonction de la distance du véhicule approchant. Au contraire des piétons jeunes, les seniors négligeraient les informations relatives à la vitesse d'approche des véhicules. De part la réduction de leur acuité visuelle associée à des capacités cognitives moindres, les âgés n'auraient plus la possibilité d'évaluer correctement et de prendre en compte la vitesse d'approche des véhicules dans leur décision de traverser. C'est pourquoi ils privilégieraient les informations relatives à la distance, informations plus rapidement accessibles dans la scène visuelle. Cependant, de telles stratégies se révèlent particulièrement dangereuses lorsque les véhicules arrivent à vitesse élevée. Dans cette situation où les véhicules arrivent de plus loin, le mouvement angulaire est faible et donc très difficile à percevoir par les âgés. En considérant alors que la distance disponible est plus importante qu'elle ne l'est en réalité, les âgés se mettent en danger en surestimant le temps disponible pour la traversée.

Les résultats de la présente étude viennent conforter et enrichir les premiers travaux de l'équipe australienne (Oxley et al., 2001) qui étaient les seuls jusqu'ici à avoir établi une relation directe entre les capacités physiques, perceptives et cognitives de piétons jeunes et âgés et leurs décisions de traversée de rue. Toutefois, dans leur étude, ils utilisaient uniquement des scènes visuelles de trafic à sens unique alors qu'ils avaient montré auparavant (Oxley et al., 1997) que les piétons âgés éprouvent de grandes difficultés à gérer des situations complexes comme un trafic à double sens. D'autre part, leur démarche de quantification ou d'exploitation des données recueillies n'était pas optimale. En effet, l'équipe australienne a utilisé cinq tests différents mais ne les avaient pas tous soumis à une seule et même analyse de régression pour examiner quelle(s) aptitude(s) prédisai(en)t le mieux les décisions de traversée de rue sécuritaires. Le protocole expérimental que nous avons mis en place dans la présente étude a permis d'aller au-delà de ces limitations, d'une part en ajoutant des conditions de trafic à double sens de circulation, et d'autre part en composant une batterie de tests fonctionnels plus complète pour évaluer les capacités intervenant lors de la traversée de rue. Enfin les analyses statistiques que nous avons effectuées (corrélations et régression multiple) ont permis d'examiner le rôle respectif et conjoint de différentes compétences fonctionnelles du piéton dans sa propension à émettre une décision dangereuse de traversée de rue. Les résultats mettent ainsi en évidence l'origine multifactorielle de l'augmentation du nombre de collisions avec l'âge, qui impliquerait à la fois le ralentissement de la vitesse de marche, le déclin de la flexibilité cognitive et la diminution de l'acuité visuelle.

V. Conclusion générale

Le présent rapport clôt les travaux accomplis dans le cadre de la première étape du projet SEPIA. L'expérimentation que nous avons élaborée a été menée auprès de populations jeune, âgée et très âgée pour évaluer leurs comportements de traversée de rue, en fonction de la complexité du trafic et de la vitesse d'approche des véhicules, et pour mettre en exergue les variables fonctionnelles les plus prédictives des comportements à risque avec l'avancée en âge.

Cette première étude a permis de montrer que la complexité du trafic et la vitesse élevée des véhicules à l'approche représentent d'importants facteurs de risque de collisions avec l'avancée en âge. Cette majoration des comportements dangereux avec l'âge serait principalement expliquée par un ralentissement de la vitesse de marche, un déficit des capacités de flexibilité cognitive et une diminution de l'acuité visuelle.

Ces résultats nous amènent à proposer plusieurs recommandations dans le but d'améliorer la sécurité des piétons seniors. Par exemple, des îlots centraux pour séparer la chaussée pourrait aider les personnes âgées à traverser en deux étapes. Ceci non seulement permettrait de réduire leurs risques d'accidents en limitant le temps passé sur la chaussée, mais également réduirait leur charge cognitive. De plus, des mesures concernant la limitation de la vitesse ainsi que des mesures contraignantes de réduction de la vitesse, telles que le rétrécissement de la chaussée, des

ralentisseurs, etc. dans les zones d'activité où le passage des piétons est fréquent devraient être considérées.

Les programmes de réentraînement cognitifs représentent une autre voie prometteuse pour contribuer à l'amélioration de la sécurité des piétons âgés en complément des mesures de sécurité et des dispositifs ergonomiques de l'environnement. Tel est alors le second objectif du projet SEPIA, les résultats de la première phase nous ayant permis de cibler les comportements et capacités à réhabiliter. L'entraînement est un moyen reconnu pour diminuer les effets du vieillissement. Il permet d'optimiser ou d'améliorer des performances en adéquation avec un contexte particulier. En s'inspirant des méthodes d'entraînement développées chez le piéton enfant, le conducteur âgé ou encore sur les méthodes de remédiation génériques adaptées à la personne âgée, nous proposons d'élaborer et d'évaluer l'efficacité respective de deux méthodes d'entraînement du piéton âgé à risque.

Dans la seconde phase du projet SEPIA, des participants âgés et très âgés prendront part à un programme d'entraînement à la traversée de rue. Deux principales méthodes seront évaluées : i) une méthode comportementale qui consistera à entraîner les piétons sur la tâche de traversée de rue via l'utilisation d'un simulateur immersif, et ii) une méthode d'entraînement cognitif qui consistera à exercer par une pratique répétée les capacités cognitives mises en évidence par cette présente étude et impliquée lors de la traversée de rue. La flexibilité cognitive sera donc une des principales cibles de ce programme.

Les bénéfices et limites d'une méthode d'entraînement comportemental sur simulateur de traversée de rue ont été mis en évidence dans une étude récente (Dommès, Cavallo, Vienne & Aillerie, sous presse). Le programme d'entraînement cognitif envisagé dans le cadre du projet SEPIA utilisera des PC et sera ainsi plus facile à mettre en application auprès de la population des seniors. Comparativement à l'entraînement comportemental, il s'agira de déterminer si un entraînement cognitif peut produire les mêmes bénéfices, ou peut-être même des gains de sécurité supérieurs, tout en présentant des avantages en termes de facilité d'application

VI. Références bibliographiques

- Anstey KJ, Wood J, Lord S & Walker JG. (2005). Cognitive, sensory and physical factor enabling driving safety in older adults. *Clinical Psychology Review*, 25,45-65.
- Ball K. & Owsley C. (1993) The useful field of view test: a new technique for evaluating age-related declines in visual functions. *Journal of the American Optometric Association*, 64, 74-79.
- Berg, K., Wood-Dauphinee, S., Williams, J.I., Gayton, D. (1989). Measuring balance in the elderly: preliminary development of an instrument. *Physiotherapy Canada*, 41 (6), 304-311
- Birren, J.E., Woods, A.M., Williams, M.V. (1980). 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).
- Broadbent D.E., Cooper P.F., Fitzgerald P, & Parkes K.R. (1982) The Cognitive Failure Questionnaire and its correlates. *British Journal of Clinical Psychology*, 21, 1-16.
- Cavallo, V., Lobjois, R., & Vienne, F. (2006). *The interest of an interactive road crossing simulation for the study of adaptive road crossing behavior*. In: Proceedings of the First Driving Simulation Conference Asia-Pacific, Tsukuba, Japan.
- Cavallo, V., Lobjois, R., Dommès, A., & Vienne, F. (2009). Elderly pedestrians' visual timing strategies in a simulated street-crossing situation. Proceeding of The 5th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, training, and Vehicle Design. Montana, p. 499-505.
- Commission of European Communities (CEC) (2000). Priorities in EU Road Safety: Progress report and Ranking of Actions. CEC, Brussels.
- Crawford JR., Bryan J, Luszcz M A, Obonsawin M & Stewart L (2000). The executive decline hypothesis of cognitive aging: Do executive deficits qualify as differential deficits and do they mediate age-related memory decline? *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 7, 9–31.
- DeLucia, P.R., Bleckley, M.K., Meyer, L.E., & Bush, J. M. (2003). Judgments about collision in younger and older drivers. *Transportation Research: Part F*, 6, 63-80.
- Dommès, A., Cavallo, V., Vienne, F. & Aillerie, I. (sous presse). Age-related differences in street-crossing safety before and after older pedestrians' training. *Accident Analysis and Prevention*.
- Elliott M.A., & Baughan C.J. (2004). Developing a self-report method for investigating adolescent road user behaviour. *Transportation Research: Part F*, 7, 373-393.
- Eppinger, B., Kray, J., Mecklinger, A., & John, O. (2007). Age differences in task switching and response monitoring: Evidence from ERPs. *Biological Psychology*, 75, 52-67.
- Eslinger, P. J., & Grattan, L. M. (1993). Frontal lobe and frontal-striatal substrates for different forms of human cognitive flexibility. *Neuropsychologia*, 31, 17-28.
- Espié, S. (1999). *Vehicle-driven simulator versus traffic-driven simulator: The INRETS approach*. In: 1st Driving Simulation Conference Europe. Paris, France, pp. 367-376.
- Folstein, M.F., Folstein, S.E. & McHugh, P.R. (1975). Mini-mental state: A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*, 12 (3), 189–98.
- Fontaine H & Gourlet Y (1997). Fatal pedestrians accident in France: a typological analysis. *Accident Analysis and Prevention*, 29, 303-312.
- Grayson GB (1980). The elderly pedestrians. In DJ Osborne and JA Levis (Eds.), *Human Factors in Transportation Research: vol 2 User factors* , 405-413.London: Academic Press.

- Haley S.M., Jette A.M., Coster W.J., Kooyoomjian J.T., Levenson S., Heeren T., & Ashba J. (2002) Late Life Function and Disability Instrument : II. Development and evaluation of the function component. *Journal of Gerontology: Medical Sciences* 57A, M217-M222.
- Harrell, W.A. (1991). Precautionary street crossing by elderly pedestrians. *International Journal of Aging and Human Development*, 32 (1), 65-80.
- Harruff, R.C., Avery, A., & Alter-Pandya, A.S. (1998). Analysis of circumstances and injuries in 217 pedestrian traffic fatalities. *Accident Analysis & Prevention*, 30 (1), 11-20.
- Hill, K, Bernhardt, J, McGann, A, Maltese, D and Berkovits, D (1996). A new test of dynamic standing balance for stroke patients: Reliability, validity, and comparison with healthy elderly. *Physiotherapy Canada*, 48, 257-62.
- Hills BL (1975). Some studies of Movement Perception, Age and Accidents (supplementary report 137UC). Crowthorne, Berkshire: Transport and Road Laboratory.
- Holland C, Hill R. (2010). Gender differences in factors predicting unsafe crossing decision in adult pedestrians across the lifespan: a simulation study. *Accident Analysis and Prevention*, 42:1097-1106.
- Hoyer, W.J., & Plude, D.J. (1980). 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.
- Jeete A.M, Hayley, S.M., Coster W.J., Kooyoomjian J.t., Levenson S., Heeren T., & Ashba J. (2002) Late Life Function and Disability Instrument : I. Development and evaluation of the function component. *Journal of Gerontology: Medical Sciences* 57A, M209-M216.
- Johnson CA and Keltner JL(1983). Incidence of visual field loss in 20000 eyes, and its relationship to driving performance. *Archives of Ophthalmology*, 101, 371-375.
- Ketchman CJ & Stelman GE (2001). Age-related decline in motor control. In JE Birren, KW Schaie (Eds.) *Handbook of the Psychology of Aging*, 313-348. London: Academic Press.
- Kosnik, W., Winslow, L., Kline, D., Rasinski, K., & Sekuler, R. (1988). Visual changes in daily life throughout adulthood. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 43 (3), 63-70.
- Lobjois R., & Cavallo, V. (2007). Age-related differences in street-crossing decisions: The effects of vehicle speed and time constraints on gap selection in an estimation task. *Accident Analysis & Prevention*, 39, 934-943.
- Lobjois, R., & Cavallo, V (2009). The effects of aging on street-crossing behavior: from estimation to actual crossing. *Accident Analysis & Prevention*, 41, 259-267.
- National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) (2001). *Traffic Safety Facts 2000: Pedestrians* (Report No DOT-HS-809311). US Department of Transport, Washington DC.
- Observatoire National Interministériel de Sécurité Routière (ONISR) (2006). *Grands thèmes de la sécurité routière en France : Piétons*. Paris : La Documentation Française.
- Oxley, J., Fildes, B., Ihsen, E., Charlton, J., & Day, R. (1997). Differences in traffic judgments between young and old adults pedestrians. *Accident Analysis & Prevention*, 29, 839-847.
- Oxley, J., Ihsen, E., Fildes, B., Charlton, J., (2001). 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.
- Oxley J, Corben B, Fildes B, O'Hare M & Rothengatter T. (2004). Older vulnerable road users – Measures to reduce crash and injury risk. Research report N 218. Monarch University Accident Research Centre.

- Oxley, J., Fildes, B., Ihssen, E., Charlton, J., & Day, R. (2005). Crossing roads safely: an experimental study of age differences in gap selection by pedestrians. *Accident Analysis & Prevention*, 37, 962-971.
- Podsiadlo, D., & Richardson, S. (1991). The timed "up & go": A test of basic functional Mobility for frail elderly persons. *Journal of the American Geriatrics Society*, 39(2), 142-148.
- Prull MW, Gabrieli JDE, & Brunge SA (2000). Memory and Aging: a cognitive neuroscience perspective. In FIM Craik and TA Salthouse (Eds.), *The Handbook of aging and cognition*; 1-90. Mahwah NJ: Erlbaum.
- Psychological Corporation (1999). *UFOV (Useful Field of View) manual*. San Antonio, TX: Harcourt Brace and Company.
- Reitan, R. M., & Wolfson, D. (1985). *The Halstead–Reitan Neuropsychological Test Battery: Therapy and clinical interpretation*. Tucson, AZ: Neuropsychological Press.
- Rubin GS, West SK, Munoz B, Bandeen-Roche K, Zeger S, Schein O, Fried LP, & the SEE Project team (1997). A comprehensive assessment of visual impairment in a population of older Americans. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 38, 557-568.
- Salthouse, T.A., Atkinson, T.M. & Berish, D.E. (2003). Executive functioning as a potential mediator of age-related cognitive decline in normal adults. *Journal of Experimental Psychology*, 4, 566-594.
- Salthouse, TA. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in recognition. *Psychological Review*, 103, 403-427.
- Schiff, W., Oldak, R., & Shah, V. (1992). Aging person's estimates of vehicular motion. *Psychology and Aging*, 7, 518-525.
- Schieber, F., Kline, D.W., Kline, T.J.B., & Fozard, J.L. (1992). *The Relationship Between Contrast Sensitivity and the Visual Problems of Older Drivers*. (SAE Technical Paper No. 920613). Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, Inc.
- Schieber, F. (1994a). *Recent Developments in Vision, Aging, and Driving: 1988-1994*. (Report No. UMTRI-94-26). Ann Arbor, MI: The University of Michigan Transportation Research Institute.
- Sekuler, R., Hutman, L.P., & Owsley, C.J. (1980). Human aging and spatial vision. *Science*, 209, 1255-1256.
- Sharp, J., & Sylvester, T. (1978). Effects of aging on horizontal smooth pursuit. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 17 (5), 465-467.
- Shinar D, & Scheiber F (1991). Visual requirements for safety and mobility of older drivers. *Human Factors*, 33(5), 507-519.
- Shumway-Cook, A, Brauer, S, and Woollacott, M (2000). Predicting the probability for falls in community dwelling older adults using the Timed Up & Go Test. *Physical Therapy*, 80(9), 896-903
- Snowden, R.J., & Kavanagh, E. (2006). Motion perception in the ageing visual system: Minimum motion, motion coherence, and speed discrimination thresholds. *Perception*, 35 (1), 9-24.
- Spielberger, C.D.(1983) Manual for the state trait anxiety inventory (form Y). Palo Alto, CA, UAS: Consulting Psychologists Press.
- Spreeen O, and Strauss E. (1991). A compendium of neuropsychological test: administration, norms and commentary. New York: Oxford University Press.
- Staplin, L., & Lyles, R. (1991). Age differences in motion perception and specific traffic manoeuvre problems. *Transportation Research Record*, 1325, 558-561.
- Staplin, L., Lococo, K.H., Stewart, J. & Decina, L.E. (1999). *Safe Mobility for Older People Notebook*. (Report No. DOT HS-808-853). Washington, DC: US Department of Transportation.

- Tinetti M.E., Baker, D.I., McAvay G., Claus E/B/, Garrett P., Gottschalk M., Koch M.L., Trainor K., & Horwitz R.I. (1994) A multifactorial intervention to reduce the risk of falling among elderly people living in the community. *The New England Journal of Medicine*, 331, 821-827.
- Van Elslande P. (2003), Les erreurs des conducteurs âgés. *Recherche Transport Sécurité*, n°81, pp. 190-202.
- Ward, N.S. (2006). Compensatory mechanisms in the aging motor system. *Ageing Research Reviews*, 5 (3) p. 239-254.
- Weschler, D. (2000) Manuel de l'échelle d'intelligence pour adultes – 3^{ème} édition, Paris : Editions du centre de psychologie appliqué.
- Zimmerman P. & Fimm, B. (2009) Tests d'évaluation de l'attention. Freiburg : Psytest.