

Référence Fondation MAIF : 2000/02/20

Rapport présenté à la MAIF dans le cadre du projet de recherche :

*Personnes âgées et conduite automobile:  
Détection et codage de la position des objets de  
l'environnement interne et externe du véhicule*

Volet: Perception de la position des pieds et contrôle de leurs déplacements en fonction des contraintes spatio-temporelles rencontrées en conduite automobile chez l'individu âgé et jeune



## RÉSUMÉ

Le présent rapport donne suite au projet de recherche sur la conduite automobile et les personnes âgées subventionné par la Mutuelle d'Assurance des Instituteurs Français (MAIF, Référence Fondation MAIF : 2000/02/20 ). Ce vaste projet était composé de trois volets se déroulant dans deux pays et impliquant trois groupes de recherche. Le document ci-joint donne suite au volet réalisé dans la ville de Québec par le Groupe de Recherche en Analyse du Mouvement et Ergonomie (GRAME) de l'Université Laval. Un deuxième volet du projet de Québec a été réalisée à Marseille à l'été 2001 avec le véhicule instrumenté de l'INRETS. Les conclusions relatives à ce projet ainsi que les conclusions générales englobant les trois volets seront présentées dans les rapports des autres groupes de recherche.

Additionné à la vision, le contrôle des pédales est un aspect important de la conduite automobile. L'objectif de cette étude était donc d'examiner les comportements podaux des conducteurs âgés à l'approche d'une intersection. L'expérimentation a été réalisée en simulateur de conduite. Vingt-cinq personnes âgées (moyenne = 65.4 ans, étendue = 60-74) et 15 jeunes adultes (moyenne = 23.5 ans, étendue = 21-42) ont été recrutés pour participer à cette étude.

Essentiellement, notre étude a permis d'observer de nombreux comportements compensatoires déjà rapportés dans la littérature. Par exemple, les personnes âgées ont pris plus de temps à compléter le parcours et sont arrivés aux intersections plus lentement que les jeunes adultes. Toutefois, les principaux résultats de nos travaux concernent les comportements podaux. Les personnes âgées ont produit des mouvements du pied droit caractérisés par une plus grande amplitude et une plus grande variabilité spatiale que les jeunes adultes. De plus, les personnes âgées ont effectué plus de sous-mouvements. L'augmentation du seuil de détection du mouvement est un effet connu du vieillissement. Les mouvements de plus grandes amplitudes et certains comportements plus rapides observés chez les personnes âgées pourraient permettre d'atteindre le seuil d'activation des capteurs de mouvements aux articulations et des mécano-récepteurs plantaires (capteurs de pression). Par contre, l'augmentation du nombre de sous-mouvements et la variabilité de ces mouvements pourraient augmenter la prévalence des erreurs sérieuses d'activation des pédales. Ces résultats seraient en accord avec ce qu'a proposé Schmidt (1989) à propos des accélérations involontaires. De plus, ces erreurs d'activation des pédales pourraient être exacerbés lors de situations où la charge cognitive serait importante. D'autres études sont toutefois nécessaires pour

quantifier le risque associé aux comportements podaux des personnes âgées sur la quantité et la gravité des erreurs d'activation des pédales produites.

---

Normand Teasdale Ph.D.

Directeur du Groupe de Recherche en Analyse  
du Mouvement et Ergonomie

## TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	i
TABLE DES MATIÈRES .....	iii
INTRODUCTION.....	1
OBJECTIFS .....	3
BRÈVE REVUE DE LITTÉRATURE.....	4
Revue des études sur le déplacement des pieds et l’activation des pédales en conduite automobile	4
Passage d’une intersection .....	7
MÉTHODOLOGIE.....	9
Participants .....	9
Évaluation clinique.....	9
Simulateur de conduite.....	10
Scénarios de conduite.....	10
Procédures .....	11
Analyse de la performance à la conduite et variables dépendantes .....	12
RÉSULTATS .....	13
DISCUSSION .....	16
CONCLUSION .....	18
RÉFÉRENCES.....	19
ANNEXES .....	22
ANNEXE 1 : Formulaire de consentement déontologique.....	23
ANNEXE 2 : Sommaire des observations cliniques pour l’ensemble des sujets.....	26
ANNEXE 3 : Questionnaire utilisé pour l’entrevue et copie traduite du Test Mini Mental.....	31
ANNEXE 4 : Présentation par affiche de résultats préliminaires. ....	38
ANNEXE 5 : Présentation par affiche de résultats préliminaires. ....	40
ANNEXE 6 : Copie d’un article soumis pour publication à une revue arbitrée .....	42

## INTRODUCTION

L'implication des personnes âgées dans les accidents de la route a été abondamment étudiée. Il semble qu'avec l'âge, le risque d'être impliqué dans un accident augmente grandement (Cerrelli, 1992). D'ailleurs, lorsqu'on ajuste l'incidence en fonction du kilométrage parcouru, le risque est plus élevé pour les personnes âgées que pour le reste de la population, exception faite des adolescents. Une étude de Cerrelli (1992) a même démontré que le risque pouvait être de 6 à 7 fois plus élevé pour les femmes de 85 ans et plus que pour les personnes de 35 à 65 ans. Les personnes âgées de plus de 85 ans ont 10 fois plus de chances que les conducteurs âgés entre 35 et 65 ans de décéder suite à un accident de la route.

Trois problèmes fondamentaux associés au vieillissement normal peuvent surgir et affecter la performance de conduite. En effet, le vieillissement est associé à: (a) un ralentissement général de la vitesse de traitement de l'information (e.g., Cerella et al., 1985; Salthouse, 2000), (b) une diminution des capacités attentionnelles et/ou de la capacité à distribuer les ressources attentionnelles disponibles entre différentes tâches (e.g., McDowd et Craik, 1988; Parasuraman et Nestor, 1993), (c) un ralentissement des réponses motrices (Spiriduso, 1975; Stelmach et al., 1988). Ces trois phénomènes font même dire à certaines personnes qu'avec le vieillissement, des tâches autrefois réalisées de manière relativement automatique, exigent de plus en plus de ressources cognitives (e.g. Teasdale et Simoneau, 2001). La diminution des capacités sensitives et motrices associée au vieillissement permet donc de croire que les personnes âgées présentent un risque important pour la sécurité routière. L'identification des mécanismes exacts des processus sensoriels, moteurs et cognitifs prend ici toute son importance et permettra, dans le futur, une meilleure identification des individus à risque.

Chez le conducteur âgé, une représentation précise de la relation véhicule-environnement extérieur ne pourrait assurer à elle seule une sécurité maximale sans une représentation tout aussi précise de la relation corps-éléments du véhicule, notamment entre les membres inférieurs et les pédales d'embrayage/débrayage, de freinage et d'accélération. Alors que la perception de la position et de la vitesse du véhicule dans l'environnement se construit essentiellement à partir d'indices visuels, la représentation de la position des jambes par rapport aux pédales a comme particularité de se former et d'être mise à jour en absence d'informations visuelles puisque la vision des pieds et des pédales est occultée par le volant et le tableau de bord. C'est donc à partir d'informations

proprioceptives issues des muscles des membres inférieurs que le conducteur doit non seulement déterminer la position de ses pieds par rapport aux pédales mais également contrôler leurs déplacements afin de freiner ou d'accélérer le véhicule.

Cette caractéristique du contrôle de la vitesse du véhicule est susceptible de mettre le conducteur âgé dans une situation délicate puisque le vieillissement s'accompagne d'une diminution progressive des capacités de détection et de traitement des entrées sensorielles issues des membres inférieurs. Cette diminution est la manifestation la plus commune du vieillissement et la première observée (Calne, 1985). Ce déficit sensoriel est la cause de la diminution du sens de la position chez les personnes âgées (Skinner et al., 1984). La difficulté rencontrée par les conducteurs âgés pour estimer correctement la position et les déplacements de leurs pieds pourrait par exemple se traduire par une augmentation de leur temps de réaction déjà élevé chez les âgés (Salthouse, 1993) pour agir sur les pédales et par l'adoption d'une stratégie dite « conservatrice » qui consisterait à élever le pied largement au-dessus de la pédale. Une augmentation conséquente du déplacement du pied augmenterait le temps nécessaire pour accélérer/décélérer le véhicule, augmentant le risque d'erreur des touches du pied puisque l'imprécision du mouvement augmente avec son amplitude (Loi de Fitts, 1954). Aux problèmes associés au contrôle proprioceptif des mouvements des pieds s'associe celui de la perte de calibrage du sens de la position consécutive à une période prolongée en l'absence d'informations visuelles concernant les segments corporels. En effet, la détérioration de la perception de la position des segments et du contrôle de leurs déplacements est fonction de la période d'absence d'information (Bard et al., 1995 ; Paillard et Brouchon, 1974; Wann et Ibrahim, 1992).

## **OBJECTIFS**

L'objectif principal des études réalisées au GRAME dans le cadre du projet MAIF était d'évaluer la nature des mouvements du pied droit lors de situations simulées de conduite automobile. Plus particulièrement, nous nous intéressions aux déplacements du pied droit en relation avec les pédales d'accélération et de freinage et à l'analyse des stratégies adoptées lors de l'arrêt à une intersection.

## **BRÈVE REVUE DE LITTÉRATURE**

À l'approche d'une intersection, pour agir de façon sécuritaire, le conducteur doit obligatoirement percevoir les stimuli (arrêt, lumières, voitures, piétons etc.), planifier une réponse motrice (si nécessaire) et exécuter cette réponse (si nécessaire). Une erreur réalisée à l'une ou l'autre de ces trois étapes peut entraîner un accident. Le vieillissement dégrade chacun de ces processus perceptivo-moteurs ce qui rend les personnes âgées théoriquement plus à risque. La littérature abonde d'articles prétendant que la conduite sollicite à 90% la vision contre seulement 10% pour les autres systèmes sensitifs. Comme le fait remarquer Sivak (1996) et bien que nous ne puissions nier l'extrême importance de la vision en conduite, aucune étude ne permet à l'heure actuelle de confirmer une telle affirmation. De plus, il ne faudrait surtout pas minimiser l'importance de la proprioception qui nous permet de connaître la position de nos segments dans l'espace et par le fait même de changer les vitesses, d'accélérer et de freiner sans que nous n'ayons à regarder nos mains ou nos pieds. La section qui suit présente une recension des écrits sur les implications des processus perceptivo-moteurs en conduite automobile et les effets du vieillissement sur chacun de ceux-ci.

### **Revue des études sur le déplacement des pieds et l'activation des pédales en conduite automobile**

Le temps total de freinage (TTF) d'un véhicule est certainement l'une des variables qui a le plus souvent été étudiée en conduite automobile. Tout l'intérêt qu'on lui porte est certainement mérité puisqu'une diminution minimale de ce laps de temps pourrait permettre d'éviter plusieurs accidents. Le TTF est formé de deux composantes. La première est le temps de perception/réaction du sujet, c'est-à-dire, le temps nécessaire au conducteur pour percevoir, interpréter, décider et initier une réponse suite à un stimulus. La deuxième composante est le temps de mouvement qui est le temps pris pour relâcher l'accélérateur et appuyer sur le frein (Liebermann et al., 1995). En général, la distribution du TTF est utile au calcul de deux paramètres en sécurité routière : L'intervalle minimum de suivi entre deux véhicules et la distance de visibilité d'arrêt (Sohn et al., 1998). L'intervalle minimum de suivi correspond à l'intervalle de temps minimum et sécuritaire qu'on devrait retrouver entre deux véhicules. Pour le déterminer, il faut tenir compte du type de véhicule et de la charge transportée. De plus, il doit s'agir d'un bon compromis entre une faible probabilité

d'accident et une bonne fluidité de la circulation. Cet intervalle de temps doit aussi être accepté publiquement et légalement (Liebermann et al., 1995). La distance de visibilité d'arrêt est la somme de la distance de freinage et de la distance parcourue pendant le temps de réaction du conducteur à un stimulus. En d'autres termes, il s'agit de la distance qui doit se trouver devant le conducteur pour qu'il soit en mesure d'immobiliser son véhicule si un obstacle se présente sur son chemin.

Dès 1969, le temps de mouvement entre l'accélérateur et le frein a été étudié. Les chercheurs de l'époque (Davies et Watts, 1969) avaient bien évidemment compris qu'une diminution du temps de mouvement entraînerait une diminution de la distance de freinage. L'une des plus importantes études réalisées sur le temps total de freinage est la meta-analyse de Sohn et al. (1998). Cette étude fait la revue de 26 études, publiées entre 1981 et 1995, traitant du TTF. Les résultats et les conditions (vitesse, genre, type de véhicules etc.) dans lesquelles les expérimentations ont été réalisées ont été pris en compte. De cette façon, le modèle résultant permet d'estimer l'intervalle temporel minimum de suivi entre deux véhicules et la distance de visibilité d'arrêt dans différentes situations. Cette étude a conclu en suggérant un ajustement du TTF pour les deux paramètres (intervalle minimum de suivi entre deux véhicules et distance d'arrêt) aux États-Unis.

Certaines études ont aussi analysé les effets de différentes variables sur le TTF et ses composantes. Schweitzer et al. (1995) ont évalué les effets du degré de conscience du conducteur vis-à-vis d'un éventuel arrêt d'urgence. Sans surprise, ils ont montré que plus le conducteur avait d'informations anticipatoires, plus il répondait rapidement en situation d'urgence. Dans cette étude, le TTF moyen était de 678 ms et le 99<sup>ème</sup> percentile à une vitesse de 80 km/h correspondait à 1460 ms. Suite à cette étude, le Ministère des transports israélien a modifié sa réglementation pour augmenter l'intervalle minimum de suivi à 1 seconde. Dernièrement, Warshawsky et Shinar (2002) ont évalué les effets de l'incertitude du freinage (situation d'urgence), du type de transmission, de l'âge et du sexe des conducteurs sur le temps de réaction et le temps de mouvement en simulateur de conduite automobile. Le type de transmission s'est avéré n'avoir aucun effet alors que le niveau d'incertitude et l'âge affectaient positivement le temps de réaction mais non le temps de mouvement. Le sexe affectait, quant à lui, le temps de mouvement mais non le temps de réaction.

Le positionnement et le type de pédales ont été maintes fois étudiés que ce soit par les administrations de gestion de la sécurité routière (NHTSA, INRETS etc.), par les manufacturiers automobiles ou même par les compagnies se spécialisant en expertise légale (ex: Exponent Inc.). L'objectif premier étant de positionner les pédales de façon à ce que leur utilisation soit la plus

naturelle possible. De plus, le temps de déplacement du pied d'une pédale à l'autre doit être le plus court possible tout en minimisant le risque d'erreurs. Morrison et al. (1986) ont évalué le temps de mouvement entre l'accélérateur et le frein selon différentes configurations de pédales. Selon eux, l'une des caractéristiques significatives dont il faut impérativement tenir compte lors du positionnement des pédales est qu'il devrait être impossible de les actionner au même moment d'un seul pied. Leur étude montre que la différence de temps de mouvement n'est pas significative si les deux pédales ont un espacement se situant entre 5.08 cm et 13.34 cm. Comme le 99<sup>ème</sup> percentile de la largeur des souliers d'un homme est de 12.98 cm, la contrainte de design peut facilement être atteinte. Ces résultats font dire aux auteurs que l'industrie automobile devrait revoir la séparation latérale des pédales de 5.08 cm généralement utilisée. Dernièrement, un système combiné du frein et de l'accélérateur a été proposé par Nilsson (2002). Les études préliminaires ont montré que les conducteurs apprenaient rapidement et sans trop d'effort à utiliser ce nouveau combiné frein-accélérateur. De plus, les conducteurs ont déclaré qu'ils préféreraient le combiné frein-accélérateur au système traditionnel et que celui-ci était plus confortable et naturel à opérer. D'autres recherches seront toutefois nécessaires sur ce nouveau système ou tout autre du genre pour s'assurer qu'ils permettent effectivement de diminuer les erreurs. Un argument fréquemment évoqué, suite à un accident de la route, est que le moteur se serait soudainement emballé. Plusieurs analyses ont été réalisées et plusieurs défaillances mécaniques ont été avancées. Dans pratiquement tous les cas, l'erreur humaine a finalement été retenue comme cause des accidents.

Rogers et Wierwille (1988) ont fait une recension des erreurs d'activation des pédales. Ils ont noté que des erreurs sérieuses comme celles d'activer les deux pédales au même instant ou même de se tromper complètement de pédale survenaient très rarement. Par contre, cet article met en évidence le fait que même si elles sont relativement peu fréquentes, des erreurs sérieuses et moins sérieuses peuvent survenir lors des déplacements du pied du conducteur de l'accélérateur au frein. Vernoy (1989) a proposé qu'une perception erronée de l'axe central du véhicule pourrait être à l'origine de certaines erreurs évoquées dans l'étude de Rogers et Wierwille (1988). Toutefois, les résultats de son étude n'ont pas permis d'établir de relations significatives. Son étude s'est toutefois avérée une deuxième preuve de l'existence d'erreurs dans l'activation des pédales.

## **Passage d'une intersection**

Un travail de synthèse portant sur les caractéristiques des accidents des conducteurs âgés a été effectué par Hakamies-Blomqvist (1996). D'après cette auteure, les accidents surviendraient, le plus souvent, de jour et succèderaient à une violation du code de la route. De ce fait, les personnes âgées sont souvent responsables des accidents et impliquent ainsi d'autres conducteurs qui ne se trouvaient qu'au mauvais endroit au mauvais moment. Il s'avère que certaines situations routières sont particulièrement à risque. Hakamies-Blomqvist (1993) a constaté une sur-représentation des personnes âgées dans les accidents survenant aux intersections et dans des situations complexes de conduite (exemple: virage à gauche).

Il n'est pas surprenant que le passage d'une intersection représente l'une des situations de conduite les plus difficiles pour les personnes âgées. La quantité d'informations présente et le nombre élevé de réponses à fournir y est certainement pour quelque chose. Dans une étude descriptive sur l'implication des conducteurs dans des accidents, Cooper (1990) a utilisé une banque de données de 1986 pour répertorier la fréquence d'implication dans des accidents de policiers de différents groupes d'âge. La banque de données comprenait 2962 conducteurs dans le groupe d'âge 55-64 ans, 2018 dans le groupe des 65-74 ans, 873 dans le groupe des plus de 75 ans et 8210 dans le groupe contrôle comprenant des conducteurs de 36 à 50 ans. Il est intéressant de noter que 66.5% des accidents du groupe de 36-50 ans sont survenus aux intersections comparativement à 69.2%, 70.7%, et 76.0% pour les groupes de conducteurs âgés de 55-64, 65-74, et 75 et + respectivement. Un questionnaire post-expérimentation administré à un échantillon de conducteurs pour chacun des groupes a permis de constater que le passage d'une intersection était mentionné comme la deuxième plus difficile situation de conduite immédiatement après le changement de voie. Dans le même ordre d'idée, Hauer (1988) a étudié la fréquence des mortalités et des blessures. Il a rapporté que 37% des mortalités et 60% des blessures, survenant lors d'un accident de la route chez les personnes âgées de 64 ans ou plus, se produisaient aux intersections. Pour les conducteurs de plus de 80 ans, c'est plus de 50% des mortalités de la route qui surviennent aux intersections, ce qui représente le double du groupe 45-64 ans. Les résultats d'une étude de Owsley et al. (1998) impliquant près de 300 conducteurs âgés suivis sur une période de trois ans sont similaires. Soixante-dix pour cent des accidents et trente-sept pour cent des décès sont survenus aux intersections. Tous ces résultats renforcent la croyance qui veut que les intersections soient problématiques pour tous les groupes d'âge et tout particulièrement pour les personnes âgées (Waller et al., 1977). C'est principalement

pour cette raison que nous avons analysé le comportement podal dans des situations de freinage aux intersections.

## MÉTHODOLOGIE

### Participants

25 sujets âgés (âge moyen = 66, étendue = 61-79, 18 hommes et 7 femmes) et 15 jeunes adultes (âge moyen = 23.5, étendue = 21-42, 11 hommes, 4 femmes) ont participé à l'étude. Tous les sujets étaient des conducteurs actifs (au minimum 150 km/semaine) et détenaient un permis de conduire depuis au moins 3 ans. Les personnes âgées étaient autonomes et ont été recrutées dans différents clubs de retraités de la région ou par la parution d'une annonce dans un journal local. Un dépistage téléphonique a d'abord été réalisé. Il permettait d'exclure les sujets atteints d'une maladie neurodégénérative, d'une atteinte cognitive importante ou d'une incapacité physique et/ou sensorielle ayant un impact fonctionnel. Tous les sujets ont fourni un consentement éclairé pour participer à l'étude selon le protocole établi par l'Université. Une copie de ce consentement est fournie à l'annexe 1.

### Évaluation clinique

Lors de leur visite au laboratoire les participants étaient soumis à une batterie de tests permettant l'évaluation de l'état cognitif (Mini-Mental test), de l'acuité visuelle (planche oculaire de Snellen), du champ visuel, de la sensibilité aux vibrations et de l'état sensori-moteur des membres inférieurs (tests sensori-moteurs au niveau de la malléole interne, du 1<sup>er</sup> métatarse, de la voûte plantaire et du talon du pied droit). Pour être admis, les participants devaient détenir un permis de conduire valide et obtenir un score de 20/30 au test d'acuité visuelle de Snellen pour au moins un des deux yeux. Il n'y a eu aucune différence significative entre les sujets que ce soit pour l'œil droit (20/29.8 pour les âgés vs 20/25.1 pour les jeunes  $p=.3610$ ) ou l'œil gauche (20/27.2 pour les âgés vs 20/35.1 pour les jeunes  $p=.4177$ ). Le Mini Mental Test a été utilisé pour évaluer l'état cognitif des sujets. Une performance minimale de 24 était nécessaire pour être admis dans l'étude. Une différence significative a été observée entre les deux groupes. Les personnes âgées et les jeunes adultes ont obtenu un résultat moyen de 27.0 et 28.4 ( $p<.001$ ) respectivement. Un tableau sommaire des observations cliniques pour chacun des sujets est fourni à l'annexe 2. Le questionnaire utilisé pour l'entrevue et une copie traduite du Test Mini Mental sont disponibles à l'annexe 3.

## **Simulateur de conduite**

Le simulateur de conduite du Groupe de Recherche en Analyse du Mouvement et Ergonomie incorpore des innovations technologiques en ce qui concerne la réalité virtuelle, l'interaction des contrôles du véhicule et la génération d'images en temps réel. Le simulateur a été conçu à partir de la carcasse d'une voiture intermédiaire de type Nissan Multi. Tous les contrôles du véhicule sont instrumentés et parfaitement fonctionnels (volant, frein, accélérateur etc.). Les rotations du volant ainsi que l'activation de l'accélérateur et du frein sont relayés à l'ordinateur de contrôle. Celui-ci ajuste la scène visuelle de façon à ce que l'interaction entre le conducteur et l'environnement virtuel soit parfaite. Il est à noter que le simulateur est doté d'une transmission automatique.

L'environnement simulé comprend des rétroactions sonores réalistes comme le bruit du moteur et les crissements de pneus lors d'arrêt trop brusque ou de virage négocié à trop grande vitesse etc. Les informations visuelles sont présentées via un écran cathodique de 19 pouces situé 50 cm à l'avant du volant. Cette configuration procure un champ visuel de 40 degrés à l'avant du véhicule. La hauteur de l'écran est ajustée de façon à ce que la ligne d'horizon du scénario se situe à la hauteur des yeux du sujet. Un carton noir formant un tunnel et cachant toutes les informations visuelles externes autres que l'écran et les contrôles du véhicule étaient présents. Le logiciel de simulation utilisé (Stisim Inc.) est programmable et permet de présenter différents amalgames d'environnement routier (routes, panneaux de circulation, piétons, conditions météorologiques etc.). Le comportement des voitures présentes sur la route est variable et adapté au comportement du conducteur. L'expérimentateur est positionné à proximité du simulateur et peut fournir des informations vocales au conducteur à tout moment. Les paramètres dynamiques (vitesse, déplacement etc.) du véhicule sont disponibles, en temps réel, sur l'écran de l'expérimentateur ce qui permet une surveillance active des activités du conducteur.

## **Scénarios de conduite**

Chacun des sujets devait initialement conduire le simulateur sur un circuit routier (ville et banlieue) de 8 kilomètres. Ce parcours permettait aux sujets de se familiariser avec les contrôles du véhicule, notamment le frein et l'accélérateur. Il comprenait notamment plusieurs intersections où le sujet devait ralentir et immobiliser le véhicule complètement. Plusieurs autres situations demandant une utilisation adéquate des contrôles du véhicule comme des changements de voix et des

dépassements étaient présentes dans le scénario de pratique. Toutes ces situations ont permis aux conducteurs une familiarisation rapide avec le véhicule et l'environnement virtuel. Les sujets avaient pour consignes de respecter le code de la route tout en conduisant aussi normalement que possible.

Un deuxième parcours de 16 kilomètres suivait la familiarisation. Il était composé de routes urbaines et rurales et incluait 27 arrêts et feux de circulation. La conduite de ville était caractérisée par une vitesse limite de 50 km/h et par une importante densité de circulation. La quantité d'informations visuelles étaient ainsi beaucoup plus abondantes que pour les routes de banlieue qui elles étaient limitées à 90 km/h. Les routes étaient de 2 ou 4 voies et rencontraient à tout moment. Les sujets avaient, encore une fois, pour consignes de respecter le code de la circulation routière tout en conduisant aussi normalement que possible. Aucune situation délibérée nécessitant un freinage d'urgence n'était présentée. Toutefois, les sujets pouvaient eux-mêmes provoqués ce type de situation s'ils commettaient une fausse manœuvre ou une infraction au code de la route.



Exemple : conduite rurale



Exemple : conduite urbaine

## Procédures

Dès leur arrivée, les sujets devaient lire et signer la formule de consentement. Par la suite, ils devaient remplir un questionnaire sur leurs habitudes de vie et de conduite. L'évaluation clinique présentée précédemment suivait. Finalement, les sujets étaient invités à s'installer confortablement au volant du simulateur et à ajuster le siège à leur convenance. À tout moment les sujets pouvaient se retirer de l'étude. Une fois bien en place dans le simulateur, le scénario de familiarisation était lancée, les sujets pouvait interagir et poser des questions à l'expérimentateur à tout instant. Une fois la familiarisation terminée, le sujet bénéficiait de quelques minutes de repos. Les marqueurs

réfléchissant servant à l'analyse cinématique étaient installés à ce moment. Au total, 5 marqueurs étaient positionnés sur la jambe droite du sujet soit un au niveau du condyle latéral du genou, un sur la malléole externe, un sur le 5<sup>ème</sup> métatarse, un sur le 1<sup>er</sup> métatarse et un sur la partie postérieure du calcaneum.

### **Analyse de la performance à la conduite et variables dépendantes**

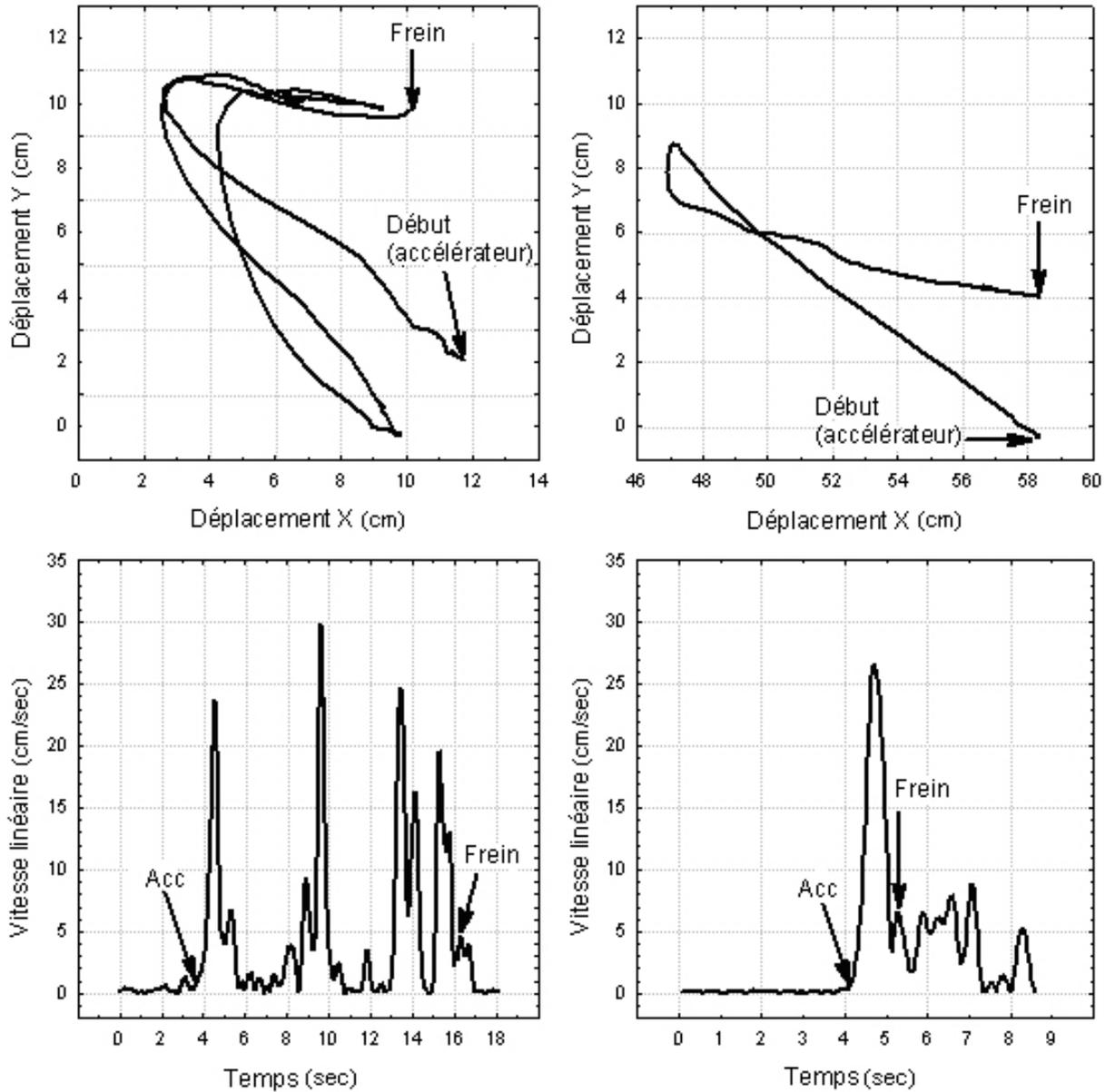
Les paramètres dynamiques du véhicule enregistrés incluant les déplacements latéraux et longitudinaux, la vitesse, l'accélération, les déplacements des pédales et les rotations du volant de 27 événements ont été enregistrés à une fréquence d'échantillonnage de 30 Hz par l'ordinateur de contrôle. Ces 27 événements correspondaient aux 27 intersections du scénario. Au total 250 mètres ont été conservés pour chacune des intersections dont 200 mètres avant et 50 après. L'ordinateur de contrôle enregistrait aussi les accidents et le temps des collisions pour tout le scénario. Deux caméras digitales de type JVC-9500U ont enregistré les mouvements des pieds des sujets à une fréquence de 30 images/seconde. Ces images ont servi à une reconstruction cinématiques des déplacements du pied droit à l'approche des intersections. Les images vidéo ont été synchronisées avec les paramètres du véhicule à l'aide de diodes s'allumant au début de chacun des 27 événements du scénario. L'agencement des différentes diodes allumées (8 bits) reflétaient le numéro de l'événement en cours. Pour chacune des variables dépendantes analysées, une analyse de variance à un facteur (Groupe) fût utilisée. Le seuil de signification a été fixé à 0.05.

## RÉSULTATS

Les personnes âgées ont pris plus de temps à compléter le parcours que les jeunes. (26.1 minutes vs 21.4 minutes respectivement;  $p < .01$ ). La vitesse d'approche aux intersections des personnes âgées était aussi significativement inférieure que celle des jeunes adultes (38 km/h pour les âgés vs 47 km/h pour les jeunes, 60 mètres avant l'intersection;  $p < .0001$ ). Seulement 2 accidents sont survenus lors du scénario expérimental. Les deux étant réalisés par des personnes âgées.

Lors du relâchement de l'accélérateur, les personnes âgées ont produit un déplacement linéaire du pied droit plus grand que les jeunes adultes. (10.6 cm pour les âgés vs 9.2 cm pour les jeunes;  $p < .005$ ). De plus, les personnes âgées ont été plus variables dans la réalisation de cette tâche au travers des 27 intersections (3.0 vs. 2.2 cm;  $p < .05$ ). Finalement, nous avons noté que le mouvement initial du pied droit des personnes âgées (relâchement de l'accélérateur) était plus rapide que celui des jeunes adultes. Toutefois cette différence n'était pas significative (10.7 vs 9.7 cm/s, respectivement;  $p = .14$ ). La variabilité intra-sujet de cette variable était néanmoins significative (4.5 vs 3.5 cm/s, respectivement;  $p < .05$ ).

Ce mouvement initial était souvent suivi par des mouvements de va-et-vient avant l'activation final du frein menant à l'arrêt du véhicule. La figure 1, représentant une vue latérale du déplacement de la malléole externe, illustre un essai représentatif d'un jeune adulte et d'une personne âgée. Pour le jeune adulte, aucun sous-mouvement n'est présent, il relâche l'accélérateur et déplace son pied en direction du frein sans aucune hésitation. La courbe de vitesse en forme de cloche présentée sur la figure 2 illustre très bien ce comportement. D'un autre côté, les mouvements de pied des personnes âgées sont caractérisés par des mouvements additionnels. La courbe de vitesse linéaire correspondante montre trois mouvements additionnels précédant l'activation final du frein. En moyenne, les personnes âgées ont produit 1.4 mouvements supplémentaires contre seulement 0.5 pour les jeunes adultes ( $p < .001$ ). La variabilité intra-sujet associée à ce comportement était aussi significativement plus importante pour les personnes âgées que pour les jeunes adultes (1.3 vs. 0.9 sous-mouvements, respectivement;  $p < .01$ ).



**Figure 1: Vue latérale du déplacement de la malléole externe du pied droit d'un jeune adulte (en haut à gauche) et d'une personne âgée (en haut à droite). Les figures du bas représentent les vitesses linéaires correspondantes. Le relâchement de l'accélérateur (Acc) et l'activation final du frein (Frein) sont indiqués par des flèches.**

Une fois le pied droit en contact avec la pédale de frein, la pression générée par les jeunes adultes et les personnes âgées a été de même amplitude (73 vs 68 unités arbitraire pour les personnes

âgées et les jeunes adultes respectivement,  $p = .24$ ). La durée de la phase de pression (début de l'activation du frein jusqu'à l'arrêt complet du véhicule) a été plus courte pour les personnes âgées que pour les jeunes adultes (606 vs 853 ms, respectivement;  $p < .001$ ).

Au premier contact du pied droit avec le frein, les personnes âgées étaient plus proche de l'intersection que les jeunes adultes (30.5 m vs. 36.2 m, respectivement;  $p < .05$ ). Leur vitesse d'approche était toutefois moins importante que celle observée pour les jeunes adultes (7.7 vs 11.0 m/s, respectivement;  $p < .001$ ). Ces comportements peuvent être considérés comme légèrement plus conservateur de la part des personnes âgées puisque le calcul du temps de l'intersection (time-to-intersection) à ce moment précis montre une valeur plus importante chez les personnes âgées que chez les jeunes adultes (4.0 s vs 3.6 s, respectivement). Le temps de l'intersection représente le temps théorique pris pour atteindre l'intersection à une vitesse précise à un moment donné (premier contact avec le frein). Le temps réel pris par les sujets pour complètement décélérer le véhicule a été de 5.2 sec. pour les personnes âgées contre 4.8 sec. pour les jeunes adultes. Cette différence est statistiquement significative ( $p < .001$ ).

## DISCUSSION

Au cours de cette expérimentation aucune des situations présentées aux conducteurs ne nécessitait de freinage d'urgence. Notre objectif n'était aucunement de déterminer le temps de réaction et le temps de mouvement des conducteurs puisque ces paramètres sont déjà très bien documentés dans la littérature sur les effets du vieillissement (Salthouse, 1985; Welford, 1988). Nous souhaitons plutôt examiner les comportements de conduite des personnes âgées dans des situations normales et communes de conduite. Plus particulièrement, nous avons ciblé les comportements du pied droit lors de la décélération du véhicule dans l'optique d'un arrêt à une intersection. En général, les personnes âgées ont démontrés des comportements de conduite plus conservateurs. En effet, ils ont conduit plus lentement et sont par le fait même arrivées aux intersections à une vitesse moins élevé (60 m de l'intersection). La durée de leur décélération a aussi été plus longue que celle des jeunes adultes. Des observations similaires, autant sur simulateur qu'en conduite réelle, ont déjà été rapportées dans la littérature ( Szlyk et al., 1985; Hakamies-Blomqvist et al., 1999; Planek et al., 1971). La basse vitesse adoptée par les personnes âgées est fréquemment perçue comme un comportement compensatoire et conservateur (Hakamies-Blomqvist, 1994). De plus, il a été rapporté que les personnes âgées était moins habiles à détecter qu'une collision allait survenir (Andersen et al., 2000; Schiff et al., 1992). Cette diminution des capacité de détection peuvent avoir amener l'augmentation de sous-mouvements du pied droit observée. La dégénération sensorielle des membres inférieurs est une des plus fréquentes manifestation du vieillissement (Calne, 1985; Skinner et al., 1984). Les mouvements de plus grande amplitude et l'enfoncement plus rapide du frein pourraient servir à stimuler les récepteurs sensitifs de façon à atteindre le seuil de détection du mouvement. Une absence totale de proprioception amène d'ailleurs des mouvements de plus grande amplitude (Billon et al. 1996). Dans notre expérimentation, la proprioception n'a pas été mesurée spécifiquement mais les sujets âgés ont démontré des signes de dégénérescence des sensations tactiles.

Les comportements du pied droit des personnes âgées sont caractérisés par une augmentation de la variabilité lorsqu'on les compare à ceux des jeunes adultes. Une augmentation de la variabilité du mouvement est souvent associé à une perte d'efficacité et de précision dans le mouvement (Schmidt et al., 1979; Darling et al., 1989). L'augmentation du nombre de sous-mouvements et de la variabilité des mouvements augmente probablement la fréquence des erreurs simples et sérieuses

d'activation des pédales. Par exemple, Rogers et Wierwille (1988) ont rapporté que des erreurs simple d'accrochage, et d'effleurement ainsi que des erreurs sérieuses comme l'activation de la mauvaise pédale se produisaient. Schmidt (1989) a suggéré que la variabilité et l'inconsistance de la génération de force musculaire étaient les sources primaires d'erreurs sérieuses d'activation des pédales. Cependant aucune donnée permettant de quantifier la fréquence de ce type d'erreurs n'est disponible. Dans notre étude, nous n'avons observé aucune erreur sérieuse et notre dispositif expérimental ne permettait pas de détecter les erreurs simples. Les conditions de conduite étaient idéales et les conducteurs n'ont pas éprouvé de fatigue ou d'inconforts. De plus, les conducteurs n'ont pas été distraits par des événements externes. Tout nos sujets étaient cognitivement sains. Des études futures pourraient montrer que les situations complexes de conduite augmentent la fréquence des erreurs sérieuses d'activation des pédales.

## CONCLUSION

L'objectif principal de ce travail consistait à examiner et à documenter comment le vieillissement normal affecte le contrôle des mouvements du pied droit dans une situation de conduite automobile simulée. Les résultats obtenus illustrent très clairement que des personnes âgées, dites normales, ont des comportements de conduite qui diffèrent de ceux observés pour des jeunes adultes. Plus particulièrement, nous avons observé que lors du relâchement de l'accélérateur, les personnes âgées ont produit un déplacement linéaire du pied droit plus grand que les jeunes adultes. De plus, les personnes âgées ont été plus variables dans la réalisation de cette tâche. Finalement, nous avons noté que le mouvement initial du pied droit des personnes âgées (relâchement de l'accélérateur) était plus rapide et plus variable que celui des jeunes adultes. Ce mouvement initial était souvent suivi par des mouvements de va-et-vient avant l'activation finale du frein menant à l'arrêt du véhicule. Il est fort possible que ces mouvements puissent mener à des erreurs d'activation des pédales. Le problème majeur associé à l'étude d'erreurs d'activation des pédales est leur fréquence très peu importante. Des travaux supplémentaires sont nécessaires pour tenter d'établir un lien entre le comportement podal des personnes âgées et les erreurs d'activation des pédales. Une meilleure compréhension de ce lien pourrait permettre d'expliquer une proportion des accidents impliquant des personnes âgées et de développer des outils diagnostiques permettant de détecter si elles sont à risque.

## RÉFÉRENCES

- Andersen GJ, Cisneros J, Saidpour A, Atchley P. Age-related differences in collision detection during deceleration. *Psychol Aging*. 2000;15:241-52.
- Bard C, Fleury M, Teasdale N, Paillard J, Nougier V. Contribution of proprioception for calibrating and updating the motor space. *Can J Physiol Pharmacol*. 1995; Feb;73(2):246-54.
- Calne DB. Normal aging and the nervous system. In: Andres R, Bierman L, Hazard WR, eds. *Principles of geriatric medicine*. New York: McGraw-Hill; 1985; 231-235.
- Cerella J. Age-related decline in extrafoveal letter perception. *J Gerontol*. 1985; Nov; 40(6):727-36.
- Cerrelli E. Crash Data and Rates for Age-sex Groups of Drivers, 1990. USDOT/NHTSA Research Note. National Center for Statistics and Analysis 1992 Washington, DC.
- Cooper P.J. Differences in Accident Characteristics among Elderly Drivers and Between Elderly and Middle-aged Drivers. *Accid Anal Prev* 1990. vol. 22(5):499-508.
- Darling WG, Cooke JD, Brown SH. Control of simple arm movements in elderly humans. *Neurobiol Aging*. 1989; 10:149-157.
- Davies BT, Watts JM Jr. Preliminary investigation of movement time between brake and accelerator pedals in automobiles. *Hum Factors* 1969 Aug;11(4):407-9.
- Fitts PM. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *J Exp Psychol*. 1954; 47:381-391.
- Hakamies-Blomqvist L. Fatal accidents of older drivers. *Accid Anal Prev*. 1993; Feb;25(1):19-27.
- Hakamies-Blomqvist L. Research on older drivers: a review. 1996 :91-101.
- Hakamies-Blomqvist L. Compensation in older drivers as reflected in their fatal accidents. *Accid Anal Prev*. 1994; 26:107-12.
- Hakamies-Blomqvist L, Mynttinen S, Backman M, Mikkonen V. Age-related differences in driving: Are older drivers more serial? *Int J Behav Develop*. 1999; 23:575-589.
- Hauer E. The Safety of Older Persons at Intersections. Transportation in An Aging Society. Special Report 218, Volumes 1 and 2, Transportation Research Board. 1988 Washington, DC.
- Liebermann D.G, Ben-David G, Schweitzer N, Apter Y, Parush A. A field study on braking responses during driving. I. Triggering and modulation. *Ergonomics* 1995; 38(9):1894-1902.

- McDowd JM, Craik FI. Effects of aging and task difficulty on divided attention performance. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*. 1988 May;14(2):267-80.
- Morrison RW, Swope JG, Halcomb CG. Movement time and brake pedal placement. *Hum Factors* 1986 Apr;28(2):241-6.
- Nilsson R. Evaluation of a combined brake-accelerator pedal. *Accid Anal Prev*. 2002 Mar;34(2):175-83.
- Owsley C, Ball K, McGwin G Jr, Sloane ME, Roenker DL, White MF, Overley ET. Visual processing impairment and risk of motor vehicle crash among older adults. *JAMA* 1998 Apr 8;279(14):1083-8.
- Paillard J, Brouchon M. A proprioceptive contribution to the spatial encoding of position cues for ballistic movements. *Brain Res*. 1974 May 17;71(2-3):273-84.
- Parasuraman R, Nestor P. Attention and driving. Assessment in elderly individuals with dementia. *Clin Geriatr Med*. 1993 May;9(2):377-87.
- Planek TW, Fowler RC. Traffic accident problems and exposure characteristics of the aging driver. *J Gerontol*. 1971;26:224-30.
- Rogers SB, Wierwille WW. The occurrence of accelerator and brake pedal actuation errors during simulating driving. *Hum Factors* 1988;30:71-81.
- Salthouse TA. Attentional blocks are not responsible for age-related slowing. *J Gerontol*. 1993 Nov;48(6):P263-70.
- Salthouse TA. Aging and measures of processing speed. *Biol Psychol*. 2000 Oct;54(1-3):35-54.
- Salthouse TA. Speed of behavior and its implication for cognition. In: Birren JE, Schaie KW, eds. *Handbook of the psychology of aging*. 2nd ed. New York: Van Nostrand Reinhold; 1985:400-426.
- Schiff W, Oldak R, Shah V. Aging persons' estimates of vehicular motion. *Psychol Aging*. 1992;7:518-525.
- Schmidt RA, Zelaznick HN, Hawkins B, Frank JS, Quinn JT. Motor-output variability: A theory for the accuracy of rapid motor acts. *Psychol Res*. 1979;86:415-451.
- Schmidt RA. Unintended acceleration: A review of human factors contributions. *Hum Factors* 1989;31:345-364.
- Schweitzer N, Apter Y, Ben-David G, Liebermann D.G, Parush A. Afield study on braking responses during driving. II. Minimum driver braking times. *Ergonomics* 1995 38(9). 1903-1910.
- Sivak M. The information that drivers use: is it indeed 90% visual? *Perception* 1996; 25(9):1081-9.

Skinner HB, Barrack RL, Cook SD. Age-related decline in proprioception. *Clin Orthop* 1984 Apr;(184):208-11.

Sohn SY, Stepleman R. Meta-analysis on total braking time. *Ergonomics* 1998 Aug;41(8):1129-40.

Spirduso WW. Reaction and movement time as a function of age and physical activity level. *J Gerontol.* 1975 Jul;30(4):435-40.

Stelmach GE, Amrhein PC, Goggin NL. Age differences in bimanual coordination. *J Gerontol.* 1988 Jan;43(1):P18-23.

Szlyk JP, Seiple W, Viana M. Relative effects of age and compromised vision on driving performance. *Hum Factors.* 1995;37:430-6.

Teasdale N, Simoneau M. Attentional demands for postural control: the effects of aging and sensory reintegration. *Gait Posture* 2001 Dec;14(3):203-10.

Vernoy MW, Tomerlin J. Pedal error and misperceived centerline in eight different automobiles. *Hum Factors* 1989 Aug;31(4):369-75.

Waller P.F., House E.G., and Stewart J.R. An Analysis of Accidents by Age. Paper presented at the 56th Annual Meeting of the Transportation Research Board, 1977 Washington, DC.

Wann JP, Ibrahim SF. Does limb proprioception drift? *Exp Brain Res* 1992; 91(1):162-6

Warshawsky-Livne L, Shinar D. Effects of uncertainty, transmission type, driver age and gender on brake reaction and movement time. *J Safety Res* 2002 Spring;33(1):117-28.

Welford AT. Reaction time, speed of performance, and age. In: Joseph JA, ed. *Central determinants of age-related declines in motor function*. New York: The New York Academy of Sciences; 1988:1-17.

**ANNEXES**

**ANNEXE 1 : Formulaire de consentement déontologique**



UNIVERSITÉ  
LAVAL

Faculté de médecine  
Département de médecine sociale et préventive  
Division de kinésiologie

## *Formulaire de consentement*

### **Projet de recherche en conduite automobile chez les personnes âgées**

Madame, Monsieur,

Le projet de recherche auquel nous vous proposons de participer a comme objectif d'évaluer si le contrôle de la position des pieds en conduite automobile est modifiée par un vieillissement *normal*.

Au cours de cette expérience, nous désirons évaluer l'amplitude, la vitesse et la précision des mouvements de vos pieds dans un contexte de simulation de conduite automobile.

- Dans un premier temps, un questionnaire simple de votre état de santé général de même qu'un examen clinique de votre système visuel vous seront administrés. Le questionnaire vise simplement à vérifier votre admissibilité à cette recherche.
- Par la suite, nous vous soumettrons à différentes situations de simulations de conduite automobile. Pour ce faire, vous serez confortablement assis devant un poste de simulation et des situations normales de conduite automobile vous seront présentées. Le poste de simulation est équipé d'un volant et de pédales de frein et d'accélérateur
- Au total, la séance durera environ 1 heure 30 minutes. Une période de repos est prévue et il nous est possible d'interrompre l'expérience en tout temps si vous le désirez.

Les résultats de cette expérience contribueront à améliorer nos connaissances sur les effets du vieillissement normal sur la précision et la rapidité des mouvements en situations de conduite automobile.

En ce qui concerne l'anonymat de votre participation et le caractère confidentiel des renseignements fournis, les mesures suivantes sont prévues :

- Les noms des participants (es) ne paraîtront sur aucun rapport;
- Les données acquises seront codées et ne seront présentées que sous forme globale;
- Seuls (es) les chercheurs (es) auront accès à la liste des noms et des codes;
- En aucun cas, les résultats individuels des participants (es) ne seront communiqués à qui que ce soit.

De plus, il vous est possible de vous retirer en tout temps de cette expérience et ce, sans risque de subir des préjudices.

**Critères d'admission :**

Être âgé de 60 ans et plus pour le groupe des personnes âgées  
Conduire régulièrement une voiture  
Le projet est sous le parrainage du **Dr Normand Teasdale.**

\_\_\_\_\_  
**Signature du (de la) participant(e)**

\_\_\_\_\_  
**Date**

\_\_\_\_\_  
**Signature du témoin**

**ANNEXE 2 : Sommaire des observations cliniques pour l'ensemble des sujets**

ID	Age	Sexe	Vivre_seul	Lieu	Fréquence a-p.	Troubles oculaires
as01	67	m	o	m	3 5	m-h
as02	68	m	n	m	5	p
as03	61	m	n	m	1 2	p
as04	66	f	n	c	3 5	n
as05	65	m	n	m	0	n
as06	62	m	n	m	5	m-p
as07	68	m	o	a	5	m-p
as08	61	m	n	m	5	p
as09	64	m	n	a	3 5	m-p
as10	60	m	o	m	1 2	p
as11	62	f	n	m	5	m-p
as12	70	f	o	m	5	m-p
as13	71	f	n	a	5	m
as14	61	f	n	m	1 2	n
as15	65	m	n	m	1 2	p
as16	69	m	n	m	0	p
as17	62	m	n	m	0	n
as18	63	m	o	m	5	m-p
as19	63	m	n	m	1 2	n
as20	67	m	o	a	3 5	n
as21	69	m	o	a	1 2	m-p
as22	65	m	n	m	3 5	n
as23	74	m	o	a	3 5	p
as24	65	f	n	m	5	n
as25	67	f	n	m	3 5	m
as26	67	f	n	a	5	m-p
as27	79	m	o	a	5	m-p
aj01	42	m	n	m	3 5	n
aj02	21	m	o	a	3 5	n
aj03	22	f	n	a	3 5	m
aj04	22	m	n	m	1 2	n
aj05	21	f	n	a	3 5	m
aj06	22	m	n	m	3 5	m
aj07	22	f	n	a	3 5	m
aj08	21	f	n	a	3 5	m a
aj09	26	m	n	a	3 5	m-a
aj10	25	m	n	m	1 2	m
aj11	21	m	n	m	n	m-a
aj12	22	m	n	a	1 2	m
aj13	21	m	n	a	3 5	m-a
aj14	21	m	n	m	3 5	m
aj15	24	m	n	a	1 2	a-h

ID = Identification du sujet

Vivre seul : o = oui, n= non

Lieu : m = maison, c= condominium, a= appartement

Fréquence a-p = Fréquence hebdomadaire d'activité physique

Troubles oculaires : m= myopie, h = hypermétropie, a= astigmatisme, n= non, p= presbytie

ID	Expérience	Nb d'accident	Fréquence util.	Distance parcourue	Pathologie
as01	50	n	20	200-300	n
as02	50	1	20	100-200	n
as03	43	n	15 20	100-200	n
as04	45	n	15 20	100-200	n
as05	43	1	20	300	o
as06	38	n	10 15	100-200	n
as07	50	n	15 20	100-200	n
as08	43	1	15 20	200-300	n
as09	45	n	5 10	100-200	n
as10	43	n	20	300	diabte
as11	40	1	20	km	hyperten
as12	43	1	15 20	300	hyperte1
as13	48	1	1 5	km	n
as14	40	n	15 20	100-200	n
as15	47	n	15 20	200-300	hyperten
as16	54	n	20	300	n
as17	40	n	15 20	200-300	diabte
as18	40	1	20	200-300	angine
as19	47	n	20	200-300	n
as20	45	n	15 20	300	n
as21	49	n	15 20	100-200	n
as22	44	n	15 20	200-300	n
as23	26	n	n	n	prventi
as24	49	n	1 5	100-200	n
as25	37	n	15 20	100-200	hyperten
as26	46	n	15 20	200-300	hyperten
as27	62	1	1 5	100-200	glaucome
aj01	20	n	15 20	100-200	n
aj02	5	2	5 10	100-200	n
aj03	6	n	20	200-300	n
aj04	5	n	10 15	300	n
aj05	5	n	1 5	km	n
aj06	4	n	20	200-300	n
aj07	6	n	15 20	100-200	dcollem
aj08	5	2	5 10	100-200	n
aj09	10	2	20	300	n
aj10	9	n	10 15	300	n
aj11	4	1	5 10	100-200	n
aj12	6	n	15 20	100-200	n
aj13	5	n	5 10	300	n
aj14	5	n	15 20	300	n
aj15	8	2	5 10	km	n

Expérience = Expérience de conduite en nombre d'années de détention d'un permis

Nb d'accident = Nombre d'accidents au cours des 3 dernières années

Fréquence util. = Fréquence hebdomadaire d'utilisation de la voiture

Distance parcourue = Distance hebdomadaire parcourue

ID	Médicament	Alcool/sem	MMT	Oeil droit	Oeil gauche	Champ droit
as01	ains	0	27	20/20	20/25	faible
as02	tnormin	2 3	29	20/20	20/20	ok
as03	n	1	28	20/40	20/30	ok
as04	coumadi1	7	24	20/50	20/30	ok
as05	norvasen	3 4	28	20/30	20/40	ok
as06	xnical	0	28	20/100	20/30	ok
as07	coumadin	21	28	20/25	20/20	ok
as08	o	0	27	20/20	20/25	faible
as09	lipidil	1	26	20/20	20/40	ok
as10	diabeta	0	26	20/25	20/20	ok
as11	o	3	26	20/25	20/25	ok
as12	o	1	29	20/25	20/25	ok
as13	synthro	2	28	20/40	20/40	ok
as14	n	2 3	28	20/30	20/30	ok
as15	o	2 3	27	20/25	20/30	ok
as16	n	1	26	20/20	20/25	ok
as17	diabeta	2 4	26	20/20	20/20	ok
as18	o	1	29	20/25	20/25	ok
as19	o	1/mois	25	20/30	20/40	ok
as20	lipitor	2 3	28	20/25	20/25	ok
as21	n	7	26	20/20	20/20	ok
as22	n	2 3	26	20/25	20/20	ok
as23	norvasc,	1/mois	28	20/30	20/30	faible
as24	n	0	28	20/30	20/25	ok
as25	tnormin	1/mois	25	20/25	20/20	ok
as26	tnormi1	1	26	20/30	20/25	ok
as27	synthro	2	26	20/25	20/100	ok
aj01	n	2 3	29	20/30	20/20	ok
aj02	n	7	28	20/15	20/20	ok
aj03	n	2 3	29	20/40	20/25	ok
aj04	n	5	28	20/13	20/13	ok
aj05	anovulan	1	29	20/20	20/20	ok
aj06	n	7	28	20/15	20/20	ok
aj07	n	1 2	28	20/25	20/200	ok
aj08	anovulan	1	29	20/25	20/20	ok
aj09	n	7	29	20/25	20/25	ok
aj10	n	1	29	20/70	20/70	ok
aj11	n	1	29	20/25	20/25	faible
aj12	n	7	29	20/25	20/25	ok
aj13	n	1	26	20/15	20/15	faible
aj14	n	10	29	20/13	20/13	ok
aj15	n	7	28	20/20	20/15	ok

Médicaments : a-i = anti-inflammatoires, n= non

Con. Alc.= Consommation hebdomadaire d'alcool

MMT = Résultats au Mini Mental Test

Œil droit = Résultats du test d'acuité visuel (Snellen) pour l'œil droit avec correction

Œil gauche = Résultats du test d'acuité visuel (Snellen) pour l'œil gauche avec correction

Champ droit = Résultats du test d'amplitude du champ visuel, côté droit

ID	champ gauche	vibration	sensori-mot
as01	faible	ok	4-3-3-6
as02	ok	ok	2-2-4-4
as03	ok	ok	3-3-2-4
as04	ok	ok	6-4-2-4
as05	ok	ok	5-2-3-6
as06	ok	ok	2-3-2-2
as07	ok	ok	8-4-4-7
as08	ok	ok	4-4-1-7
as09	ok	ok	3-2-4-5
as10	faible	ok	4-5-4-6
as11	ok	ok, non	4-6-4-6
as12	ok	ok	3-2-3-4
as13	ok	ok	3-3-1-2
as14	ok	ok	4-2-1-4
as15	ok	ok	4-3-2-4
as16	ok	ok	3-3-3-5
as17	ok	ok	5-3-1-4
as18	ok	ok	3-2-2-4
as19	ok	ok, non1	4-4-2-4
as20	ok	ok	3-1-1-3
as21	ok	ok	3-2-1-4
as22	ok	ok	2-1-1-4
as23	faible	faible	3-4-1-3
as24	ok	ok	n
as25	ok	faible	3-2-1-3
as26	ok	bon	3-3-2-4
as27	faible	ok	2-2-1-1
aj01	ok	ok	2-4-1-4
aj02	ok	ok	3-2-1-4
aj03	ok	ok	2-1-1-1
aj04	ok	ok	1-1-1-3
aj05	ok	ok	2-1-1-1
aj06	ok	ok	2-1-1-1
aj07	ok	ok	2-1-1-1
aj08	ok	ok	1-1-1-1
aj09	ok	ok	2-2-1-2
aj10	ok	ok	3-1-1-1
aj11	ok	ok	1-1-1-1
aj12	ok	ok	2-1-1-2
aj13	faible	ok	1-1-1-2
aj14	ok	ok	3-1-1-2
aj15	ok	ok	5-1-1-1

Champ gauche = Résultats du test d'amplitude du champ visuel, côté gauche

Vibration = Résultats du test de sensibilité aux vibrations

Sensoriel = Résultats du test sensori-moteur (premier chiffre = malléole externe, 2 = métatarse, 3 = voûte plantaire, 4 = talon, n = non-disponible)

**ANNEXE 3 : Questionnaire utilisé pour l'entrevue et copie traduite du Test Mini Mental**

## Questionnaire personnel

Nom: \_\_\_\_\_

Prénom: \_\_\_\_\_

Adresse: \_\_\_\_\_

# téléphone : \_\_\_\_\_

Poids : \_\_\_\_\_ Date de naissance : \_\_\_\_\_

Sexe : F M

1. Vivez-vous seul? Oui \_\_\_\_ Non \_\_\_\_

2. Où habitez-vous? Maison \_\_\_\_

Appartement \_\_\_\_

Résidence pour personnes âgées \_\_\_\_

3. Pratiquez-vous de l'activité physique? Oui \_\_\_\_ Non \_\_\_\_

Si oui, combien de fois par semaine? 1 à 2 fois \_\_\_\_

3 à 5 fois \_\_\_\_

5 et plus \_\_\_\_

4. Portez-vous des verres correctifs? Oui \_\_\_\_ Non \_\_\_\_

si oui, de quels types de verres s'agit-il? \_\_\_\_\_

5. Depuis combien de temps avez-vous votre permis de conduire? \_\_\_\_\_

6. Avez-vous eu un ou plusieurs accidents de voiture au cours des dernières années au moment où c'était vous

qui conduisiez? Oui \_\_\_\_ Non \_\_\_\_

Si oui, combien? \_\_\_\_\_

7. En moyenne, combien de fois par semaine utilisez-vous votre voiture?

1 à 5 fois/semaine \_\_\_\_

5 à 10 fois/semaine \_\_\_\_

10 à 15 fois/semaine \_\_\_\_

15 à 20 fois/semaine \_\_\_\_

plus de 20 fois/semaine \_\_\_\_

8. Combien de km parcourez-vous en moyenne par semaine?

Moins de 100 km par semaine \_\_\_\_

100 à 200 km par semaine \_\_\_\_

200 à 300 km par semaine \_\_\_\_

plus de 300 km par semaine \_\_\_\_

9. Êtes-vous présentement traité pour une pathologie quelconque? Oui \_\_\_\_ Non \_\_\_\_

Si oui, de quel type? \_\_\_\_\_

10. Prenez-vous des médicaments? Oui \_\_\_ Non \_\_\_

Si oui, de quel type? \_\_\_\_\_

11. À combien estimez-vous votre consommation d'alcool par semaine? \_\_\_\_\_

Commentaires : \_\_\_\_\_

### Mini-mental test

1. Quel jour de la semaine sommes-nous? 1 0 pt
2. Quelle est la date d'aujourd'hui? 1 0 pt
3. En quel mois sommes-nous? 1 0 pt
4. En quelle saison sommes-nous? 1 0 pt
5. En quelle année sommes-nous? 1 0 pt
6. Où sommes-nous ici? 1 0 pt
7. À quel étage sommes-nous? 1 0 pt
8. Dans quelle ville sommes-nous? 1 0 pt
9. Dans quelle province sommes-nous? 1 0 pt
10. Répétez les mots suivants : citron, clé, ballon. 3 2 1 0 pt
11. Soustraire 7 de 100 (93), 6 de 54 (48), 5 de 92 (87), 9 de 61 (52) et 3 de 32 (29). 5 4 3 2 1 0 pts
12. Répétez encore une fois les 3 mots que je vous ai nommés tout à l'heure. 3 2 1 0 pts
13. Qu'est-ce que cela? (montrez un crayon) 1 0 pt
14. Qu'est-ce que cela? (montrez une montre) 1 0 pt
15. Répétez : « pas de si ni de mais ». 1 0 pt
16. Prenez une feuille, pliez-la par le milieu et déposez-la sur la table. 3 2 1 0 pt
17. Exécuter la commande écrite sur cette feuille : fermez-vos yeux. 1 0 pt
18. Écrivez une phrase de votre choix sur cette feuille. 1 0 pt
19. Copiez ce dessin sur une feuille. 1 0 pt

Résultat : \_\_\_\_/29

## Résultats des différents tests effectués

### Projet de recherche en conduite automobile chez les personnes âgées

Sujet # \_\_\_\_\_

Date : \_\_\_\_\_

Nom : \_\_\_\_\_

Prénom : \_\_\_\_\_

Catégorie :    âgé                            jeune

### *1- Évaluation de l'état cognitif*

#### Mini-mental test

Question # 1 : *Quel jour de la semaine sommes-nous?*

Réponse :

Point :    1        0

Question # 2 : *Quelle est la date d'aujourd'hui?*

Réponse :

Point :    1        0

Question # 3 : *En quel mois sommes-nous?*

Réponse :

Point :    1        0

Question # 4 : *En quelle saison sommes-nous?*

Réponse :

Point :    1        0

Question # 5 : *En quelle année sommes-nous?*

Réponse :

Point :    1        0

Question # 6 : Où sommes-nous ici?

Réponse :

Point : 1 0

Question # 7 : À quel étage sommes-nous?

Réponse :

Point : 1 0

Question # 8 : Dans quelle ville sommes-nous?

Réponse :

Point : 1 0

Question # 9 : Dans quelle province sommes-nous?

Réponse :

Point : 1 0

Question # 10 : Répétez les mots suivants : citron, clé, ballon.

Réponse :

Point : 3 2 1 0

Question # 11 : Soustraire 7 de 100 (93), 6 de 54 (48), 5 de 92 (87), 9 de 61 (52) et 3 de 32 (29).

Réponse :

Point : 5 4 3 2 1 0

Question # 12 : Répétez encore une fois les 3 mots que je vous ai nommés tout à l'heure.

Réponse :

Point : 3 2 1 0

Question # 13 : Qu'est-ce que cela? (montrez un crayon)

Réponse :

Point : 1 0

Question # 14 : Qu'est-ce que cela? (montrez une montre)

Réponse :

Point : 1 0

Question # 15 : Répétez : « pas de si ni de mais ».

Réponse :

Point : 1 0

Question # 16 : Prenez une feuille, pliez-la par le milieu et déposez-la sur la table.

Réponse :

Point : 3 2 1 0

Question # 17 : Exécutez la commande écrite sur cette feuille : fermez-vos yeux.

Réponse :

Point : 1 0

Question # 18 : Écrivez une phrase de votre choix sur cette feuille. 1 0 pt

Réponse :

Point : 1 0

Question # 19 : Copiez ce dessin sur une feuille.

Réponse :

Point : 1 0

**Résultat** : \_\_\_\_\_ ( $\geq$  à 24)

## 2- Examen de la vision :

### Planche oculaire de Snellen :

Résultats : (exemple 20/30)

- Œil droit : \_\_\_\_\_
- Œil gauche : \_\_\_\_\_

### Champs visuels :

Résultats :

- Œil droit : + -
- Œil gauche : + -

## 3- Sensibilité aux vibrations :

Résultats :

<i>Talon :</i>	+++	++	+	0	-	--	---
<i>Métatarse :</i>	+++	++	+	0	-	--	---
<i>Malléole :</i>	+++	++	+	0	-	--	---
<i>Voûte plant. :</i>	+++	++	+	0	-	--	---

## 4- Test sensori-moteur :

Résultats (en débutant par 1):

	<u>Essai #1</u>	<u>Essai #2</u>	<u>Essai #3</u>
<i>Malléole :</i>	_____	_____	_____
<i>Métatarse :</i>	_____	_____	_____
<i>Voûte plantaire :</i>	_____	_____	_____
<i>Talon :</i>	_____	_____	_____

**ANNEXE 4 : Présentation par affiche de résultats préliminaires.**

## DRIVING BEHAVIOR OF ELDERLY PERSONS: KINEMATICS OF THE FOOT WHILE STOPPING AT AN INTERSECTION

Vincent Cantin<sup>1</sup>, Normand Teasdale<sup>1</sup>, France Sergerie<sup>1</sup> and Jean Blouin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>GRAME, Division de Kinésiologie, Faculté de Médecine, Université Laval, Canada

<sup>2</sup>CNRS and Université de la Méditerranée, Marseille, France

### INTRODUCTION

When driving, there is a need for a precise representation of the vehicle-environment relationship. This representation, however, is not only a function of the visual system but also relies on the right foot responses to visual stimuli. Indeed, pedal responses directly affect the speed of the vehicle. With aging, one of the most common deficit is a decreased lower limb sensory information. This decreased sensory information may yield less accurate and more variable responses. The aim of this experiment was to compare the driving behavior of elderly persons with that of young adults when arriving at a stop sign.

### METHODS

#### Subjects

- 15 young adults
- 25 elderly persons (mean age = 66, range of 61-79)

All elderly were active drivers (on average, 150 km/week with more than 35 years of driving experience). They all scored 25 or higher on the Mini Mental Test.

#### Task and Procedures

- Ss drove through a simulated neighborhood (STISIM Inc. instrumented with a mid-sized sedan with automatic transmission).
- Instructions were to drive as normally as possible and to avoid any accident. They were given:
- 8-km practice run
- 16-km experimental run with 27 events consisting of crossings with a stop sign or crossing lights.

#### Kinematics

Passive markers were fixed on the right lower limb and video records were taken at 60 Hz with two digital cameras. Driving and video data were synchronized.

### RESULTS

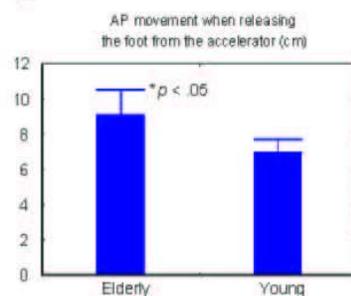
#### Driving Speed

- Elderly were slower than young adults to complete their experimental run (on average, 26 min vs 22 min;  $p < .01$ ).
- Elderly arrived at the intersections with a slower speed (38 vs. 47 km/h, 60 m from the intersection;  $p < .0001$ ).

#### Right foot kinematics

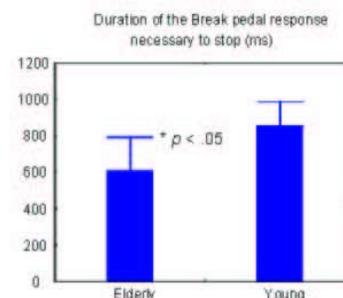
- When releasing their right foot from the accelerator pedal, the elderly produced a longer movement along the anteroposterior axis than that of the young adults (Fig 1;  $p < .05$ ).
- The height of the foot movement did not differ between both groups, but the elderly showed much larger within-subject variability than young adults (1.4 vs 0.7 cm,  $p < .001$ ).

Fig.1



- The duration of the inter-pedal movement (time from release of accelerator to contact with the breaking pedal) was not different across both groups (2.860 vs 2.720 s, for the elderly and young adults, respectively;  $p > .05$ ).
- Once the right foot was in contact with the break pedal, the elderly produced shorter duration responses (hence, faster pedal movements, Fig. 2).

Fig. 2



### DISCUSSION

In this experiment, none of the situations required emergency breaking responses. Generally, when decelerating for a stop sign, the elderly, compared to young adults, showed:

- longer movements,
- more variability,
- faster and shorter duration foot movement once the foot was in contact with the break pedal.

The faster movements observed for the elderly is a counter-intuitive result as slowness of movement is one of the most reported age-related finding (Spirduso, 1995). One hypothesis is that the longer AP foot movements and the faster break responses serve to stimulate the sensory receptors in order to reach thresholds for detecting movement.

Although elderly were driving at a slower speed than young adults, we cannot reject the possibility of a perceptual difference in the speed and or distances evaluation (Andersen et al. 2000).

### REFERENCES

- Spirduso WW (1995). Human Kinetics, Champaign.
- Andersen GJ et al. (2000). Psychol & Aging 15: 241-252

Supported by MAIF (France)

**ANNEXE 5 : Présentation par affiche de résultats préliminaires.**

# DRIVING BEHAVIOR OF ELDERLY PERSONS: KINEMATICS OF THE FOOT WHILE STOPPING AT AN INTERSECTION

Vincent Cantin<sup>1</sup>, Normand Teasdale<sup>1</sup>, France Sergerie<sup>1</sup> and Jean Blouin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Le GRAME, Division de Kinésiologie, Faculté de Médecine, Université Laval, Canada

<sup>2</sup>CRNS et Université de la Méditerranée, Marseille, France

## INTRODUCTION

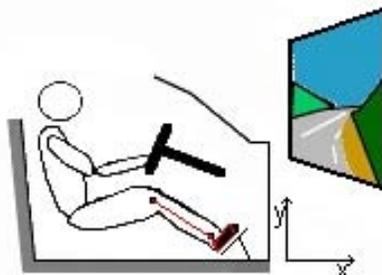
When driving, there is a need for a precise representation of the vehicle-environment relationship. This representation, however, is not only a function of the visual system but also relies on the right foot responses to visual stimuli. Indeed, podal responses directly affect the speed of the vehicle. With aging, one of the most common deficit is a decreased lower limb sensory information. This decreased sensory information may yield less accurate and more variable responses. The aim of this experiment was to compare the driving behavior of elderly persons with that of young adults when facing normal driving situations. In this paper, we specifically addressed the right foot movements when arriving at a stop sign.

## METHODS

Twenty-five elderly persons (mean age = 66, range of 61-79) and 15 young adults participated. All elderly were active drivers (on average, 150 km/week with more than 35 years of driving experience). They all scored 25 or higher on the Mini Mental Test. They drove an 8-km practice run to familiarize themselves with the simulator and a 16-km experimental run through a simulated neighbourhood (STISIM Inc. instrumented with a mid-sized sedan with automatic transmission). For the experimental run, 27 events consisting of crossings with a stop sign or crossing lights were presented. For this presentation, data for stop signs only are reported (18 events). All subjects were instructed to drive as normally as possible and to avoid any accident. The steering and pedals were instrumented and data were synchronized with the visual information presented. Passive markers were fixed on the right limb (figure 1) and video records of the foot movement were taken at 30 fps

(JVC-9500U digital camera) to allow kinematics analyses. All dependant variables were submitted to a one-way Analysis of Variance (Group factor).

Figure 1



## RESULTS

On average, the elderly were slower than young adults to complete their experimental run (on average, 26 min vs 22 min;  $p < .01$ ). Overall, the elderly arrived at the intersections with a slower speed (38 vs. 47 km/h, 60 m from the intersection;  $p < .0001$ ). When releasing their right foot from the accelerator pedal, the elderly produced a movement that was longer than that of the young adults (9.1 cm vs 7.0 cm, for the elderly and young adults, respectively;  $p < .05$ ). The vertical movement of the foot did not differ in amplitude between both groups, but the elderly showed much larger within-subject variability (1.4 vs 0.7 cm, for the elderly and young adults, respectively;  $p < .001$ ). Once the right foot was in contact with the break pedal, the elderly produced faster (149 vs 107 cm/s, for the elderly and young adults, respectively;  $p < .05$ ) and shorter duration responses (606 vs 853 ms, for the elderly and young adults, respectively;  $p < .001$ ). The duration of the inter-pedal movement (time from release of accelerator to contact with the breaking pedal) was not different across both groups (2.860 vs 2.720 ms, for the elderly and young adults, respectively;  $p > .05$ ).

## DISCUSSION

In this experiment, none of the situations presented to the subjects required emergency breaking responses. Our goal was not to determine the reaction time of elderly persons in such situations as this is one of the most documented and robust effect of aging (Salthouse, 2000; Welford, 1988). Rather, we wanted to examine the driving behavior of elderly persons within a daily common context. When decelerating for a stop sign, the elderly showed faster and shorter duration foot responses even though they drove slower than the young adults. This is a counter-intuitive result as age-related slowness is one of the most reported age-related finding (Spirduso, 1995). One hypothesis for the elderly persons behavior is that the longer horizontal foot displacement and faster movements serve to stimulate the sensory receptors in order to reach thresholds for detecting movement. Finally, although elderly were driving at a slower speed than young adults, we cannot reject the possibility of a perceptual difference in the speed and or distances evaluation.

## REFERENCES

- SALTHOUSE TA (2000). Aging and measures of processing speed. *Biological Psychology* 54 1-3
- SPIRDUSO WW (Ed.) (1995). *Physical dimensions of aging*. Human Kinetics, Champaign.
- WELFORD ,AT (1988). Reaction time, speed of performance, and age. In *Central determinants of age-related declines in motor function*. Vol. 515. (Ed: Joseph, JA) *The New York Academy of Sciences*, New York, 1

Project supported by MAIF (France)

**ANNEXE 6 : Copie d'un article soumis pour publication à une revue arbitrée**

Driving Behavior of Elderly Persons: Kinematics of the Foot while Stopping at an  
Intersection

Vincent Cantin M.Sc.<sup>1</sup>, Normand Teasdale Ph.D.<sup>1</sup>, France Sergerie B.Sc.<sup>1</sup>  
and Jean Blouin Ph.D.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Division de Kinésiologie, Faculté de Médecine, Université Laval, Canada

<sup>2</sup>CRNS and Université de la Méditerranée, Marseille, France

Running headline : Kinematics of the foot while driving

Keywords : driving, kinematics, variability, aging

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** In addition to vision, pedal controls is an important aspect of the driving performance. The decreased lower limb sensory information often observed with aging may yield less accurate and more variable left foot responses that could affect the driving performance. There are no data available to describe the right foot movements towards accelerator and brake pedals.

**METHODS:** Elderly (aged 61-79 years, n = 25) and young active drivers were recruited to participate in the experiment which consisted of driving in a fully interactive simulator. Sensory and cognitive functions were evaluated. Driving performance and right foot movements (kinematics analyses) were recorded and analyzed when they decelerated for stopping signs.

**RESULTS:** Overall, elderly individuals drove slower ( $p < .01$ ) and arrived at a slower speed ( $p < .0001$ ) at the intersections. They showed, however, more variable right foot movements that were characterized by the presence of several sub-movements ( $p < .001$ ).

**CONCLUSIONS:** The increased variability observed in foot movements could yield erroneous movements when driving in more attention demanding contexts.

## INTRODUCTION

Driving is important for older people as it is often associated with their autonomy. In fact, most occidental countries have reported important increase in the number of older drivers. Unfortunately, elderly drivers also are believed to represent a high risk to road safety, given their high crash rate per distance travelled (1, 2). Because driving is a highly visual task it is not a surprise that there is a substantial amount of information available concerning the effects of the aging visual system on the driving performance. When attempting to predict accident frequency, performance on various visual tests normally account for no more than 20% of the variance (3). This simply highlights the complex nature of the driving task. When driving, a precise representation of the vehicle-environment relationship is essential. This complex representation, however, is not only function of the visual system but also relies on the right foot responses to visual stimuli. Indeed, podal responses directly affect the speed (and trajectory) of the vehicle. Even though foot and pedal movements are one of the most important controls in vehicle, to our knowledge there are no report of this behavior for elderly persons and very few studies with young individuals (4-6). Much of this literature concerns human errors as a function of pedal placement and characteristics. With aging, one of the most common deficit is a decreased lower limb sensory information (7). Increased variability is also reported (8). This decreased sensory information may yield less accurate and more variable left foot responses that could affect the driving performance. The aim of this experiment was to compare the driving behavior of elderly persons with that of young adults when facing normal driving situations. Because it has been reported that accidents involving elderly occurred mainly at intersections (2, 9), a fully interactive driving simulator was used to specifically examine and describe the right foot movements when decelerating for a stop sign.

## METHODS

### *Subjects*

Twenty-five elderly persons (18 men / 7 women mean age = 65.4, range of 60-74) and 15 young adults ( 11 men / 4 women, mean age = 23.5, range of 21-42) participated. All subjects gave informed consent according to University protocols. The elderly were recruited through advertisements in local newspapers.

The selection procedure adopted is conservative and serves to minimize any age-related differences. A first screening for medical, orthopedic or neurological conditions that could affect normal driving performance was done by telephone. This only served to insure that all elderly subjects selected were independent and ambulatory community dwellers. Upon their first visit, a questionnaire regarding the driving habits was given : all elderly were active drivers (on average, 150 km/week with more than 35 years of driving experience). All elderly were evaluated on the Mini Mental Test; the lowest score was 25 (on average, 27.0 vs 28.4 for the young adults). Visual acuity was tested using the Snellen chart. Distance binocular vision was normal or corrected to normal for all subjects. Ocular movements and visual field status were tested using the confrontation method (10) and no particular deficits were noted for the selected subjects. Tactile sensitivity was assessed with a Von Frey Aesthesiometer. This instrument contains nylon filaments of equal length, but varying in diameter. The filaments were applied to the centre of the right big toe and lateral malleolus. Measurements are expressed in logarithms of milligrams pressure. On average, the score for the elderly was 3.2 (SD = 1.0) whereas it was 1.7 (0.8) for young adults. Finally, vibration threshold sensitivity was tested with a 100 Hz vibration fork applied on the right great toe and lateral malleolus (11). Mild loss of sensitivity was observed for four elderly individuals only.

### *Procedures*

A fully interactive driving simulator was used in this study. The simulator consists of a fully instrumented (brake and accelerator pedals, steering and all manual controls) mid-sized sedan with automatic transmission interfaced with a programmable software (STISIM Inc.) allowing to develop driving scenario and to record driver performance. The steering and pedals were instrumented and data acquisition was synchronized with the visual information presented.

The visual information was provided through a 19 in screen located 50 cm from the steering. The center of the screen was located at eye level through the midline of the subject. No external visual information was available as a tunnel made of black cardboard shielded all information but that coming from the screen. Before the experimental sessions, all subjects drove an 8-km practice run to familiarize themselves with the simulator and the general feel of the pedals and steering. All subjects were instructed to drive as normally as possible and to avoid any accident. All subjects reported being comfortable with the simulator after this run. For the experimental run, all participants drove through the same 16-km route of a simulated neighbourhood. They were given 27 events consisting of crossings with a stop sign or crossing lights. In this manuscript, data for stop signs only are reported (18 events).

### *Kinematics of the lower right limb.*

To allow kinematics analyses, video records of the right foot movements were taken at 30 frames/s with two digital cameras (JVC-9500U). The cameras were placed just above the floor level, 45 cm from the right foot. The environment was calibrated with a structure of known dimensions. Passive reflective markers were fixed on the toes, external malleolus and right tuberal of the knee. Video records were synchronized with the visual information presented by turning on a light emitting diode, not seen by the subjects, when the car they were driving was at 50 m from an event. All video records were captured digitally (Adobe Premiere). Position of the markers for each image of all

events were digitalized with software allowing to determine precisely the centroid position of all markers. Data were then transformed with a direct linear transformation approach and displacement and speed of the right limb were calculated for each event. Using Matlab (Mathworks, Natick, MA) we filtered displacement data (second-order low-pass Butterworth filter with a 7 Hz cutoff frequency and forward/backward passes to eliminate phase shift). Time derivative of the linear displacement was then computed with a finite difference technique.

### *Statistical Analysis*

Means and standard deviations were calculated for all variables. All dependant variables were submitted to a one-way Analysis of Variance (Group factor) using Statistica 6.0 (Statsoft Inc, Tulsa, OK). The critical value for statistical significance was assumed at an alpha level  $<.05$ .

## RESULTS

Overall, the time needed to complete the experimental run was longer for the elderly than for young adults (on average, 26.1 min vs 21.4 min;  $p < .01$ ). The elderly also arrived at the intersections with a slower speed; at 60 m from the intersection the speed for the elderly was 38 km/h whereas it was 47 km/h for the young adults ( $p < .0001$ ). Only two accidents were recorded for the experimental runs (both accidents were by elderly subjects).

When releasing their right foot from the accelerator pedal to initiate the deceleration of the vehicle, the elderly produced a movement that was longer in amplitude than that of the young adults. On average, the linear amplitude of the initial right foot movement was 10.6 cm for the elderly and 9.2 cm for the young adults ( $p < 0.005$ ). Across all intersections, the within-subject variability of the movement amplitude also was more important for the elderly than for the young adults (3.0 vs. 2.2 cm;  $p < .05$ ). Finally, the initial movement was faster for the elderly than for the young adults but this difference did not reach the significance level (10.7 vs 9.7 cm/s, respectively;  $p$

= 0.14). The within-subject variability of the speed, however, was more important for the elderly than for the young adults (4.5 vs 3.5 cm/s, respectively;  $p < 0.05$ ).

This first movement was often followed by a number of smaller submovements before the final activation of the brake leading to the stopping of the vehicle. Figure 1 illustrates representative trials for a young adult and an elderly subject. Lateral views of the right malleolus displacement are presented. For the young adult, no submovement is observed; the young adult released their foot from the accelerator pedal and moved toward the brake pedal without any hesitation. The corresponding linear speed of this movement, characterized by a bell-shape curve, is presented on the bottom panel. On the other hand, the foot movement of the elderly subject (right panel) is characterized by additional movements. The corresponding linear speed shows three additional movements before the final activation of the brake pedal. On average, elderly individuals produced 1.4 additional such submovements whereas young adults showed 0.5 submovements ( $p < 0.001$ ). The within-subject variability associated with this behavior was also more important for the elderly (1.3 vs. 0.9 submovements, respectively;  $p < .01$ ).

---

Insert figure 1 about here

---

Once the right foot was in contact with the break pedal, the pushing movement was of similar magnitude for both groups (73 vs 68 arbitrary units for the elderly and young adults, respectively;  $p = .24$ ). The duration of this pushing phase (onset of pedal contact to complete depression of the brake pedal) was much shorter for the elderly than for young adults (606 vs 853 ms, respectively;  $p < .001$ ).

When looking at the distance of the vehicle from the intersection at the first contact with the brake pedal, elderly were closer to the intersection than young adults (30.5 m vs. 36.2 m, respectively;  $p <$

.05). Their speed, however, was considerably slower than that observed for the young adults (7.7 vs 11.0 m/s, respectively;  $p < .001$ ). This behavior can be considered as more conservative since assuming subjects would progress toward the intersection with a constant speed (often called time-to-intersection) they would arrived at the intersection in 6.1 s vs 3.6 s for the elderly and young adults, respectively. The actual time taken to completely decelerate the vehicule was 5.2 s for the elderly vs. 4.8 s for the young adults. This difference was statistically significant ( $p < .001$ ).

## DISCUSSION

In this experiment, none of the situations presented to the subjects required emergency braking responses. Our goal was not to determine the reaction and movement time of elderly persons in such situations as the slower speed of processing and slower movements for the elderly is one of the most documented and robust effect of aging (12, 13). Rather, we wanted to examine the driving behavior of elderly persons within a daily common context. More particularly, we wanted to describe the right foot behavior when decelerating to a complete stop. Overall, it can be argued that the elderly adopted a more conservative driving behavior. Indeed, they drove slower than young adults and they arrived at intersections with a slower speed. The duration of the deceleration (60 m from the intersection) also was longer than that of young adults. Similar observations have been reported for normal as well as simulated driving (14-16). The slower speeds adopted by the older drivers is often considered as a compensatory and conservative behavior (17). Elderly may adopt this behavior because of visual impairments resulting in speed and or distances evaluation differences. Indeed, it has been reported that elderly have a decreased ability to detect that a collision is impending (18, 19). This decreased detection capability may have yielded the increased number of submovements we have observed.

Sensory degeneration of the lower limbs is one of the most common manifestation of aging (7, 20). The movements of greater amplitude and the faster brake responses could serve to stimulate sensory

receptors in order to reach higher thresholds for detecting movement. The absence of proprioception sometimes yields movement of increased amplitude (21). In our experiment, the sense of position was not measured but elderly subjects showed signs of decreased tactile sensitivity.

The right foot behavior of the elderly subjects, when compared to that of young adults, was characterized by an increased variability. Increased movement variability is often associated with less efficient and less accurate movements (22, 8). Increasing the number of submovements and the variability of these movements are likely to increase the likelihood of simple and more serious pedal actuation errors. For example, Rogers and Wierwille (5) reported that scuff, catch (the right foot catches the lower edge of the brake or accelerator pedal), and serious pedal actuation errors (mistakes accelerator for brake or vice versa) do occur. Also, Schmidt (6) suggested that the variable and inconsistent processes that generate muscle force are the primary source for serious pedal actuation errors. There are, however, no data on the rate of these errors for elderly individuals. In the present experiment, we did not observe serious errors and our experimental setup did not allowed the detection of scuff and catch errors. Driving conditions, however, were ideal as subject did not experienced any fatigue or discomfort (the driving performance lasted only about 25 minutes) and were not distracted by any external events. Also, all of our subjects were cognitively fit. Future studies may show that more complex driving situations affect the driving performance by increasing pedal actuations errors.

Word count: 2395 words

## REFERENCES

1. Ball K, Owsley C, Roenker D, Sloane M. Isolating risk factors for crash frequency among older drivers. In: Rogers WA, ed. *Designing for an aging population: Ten years of human factors/ergonomics research*. Santa Monica: Human Factors and Ergonomics Society; 1997:354-357.
2. Owsley C, Ball K, McGwin G, et al. Visual processing impairment and risk of motor vehicle crash among older adults. *JAMA*. 1998;279:1083-8.
3. Owsley C, Ball K, Sloane ME, Roenker DL, Bruni JR. Visual/cognitive correlates of vehicle accidents in older drivers. *Psychol Aging*. 1991;6:403-15.
4. Wang X, Verriest JP, Lebreton-Gadegbeku B, Tessier Y, Trasbot J. Experimental investigation and biomechanical analysis of lower limb movements for clutch pedal operation. *Ergonomics*. 2000;43:1405-29.
5. Rogers SB, Wierwille WW. The occurrence of accelerator and brake pedal actuation errors during simulating driving. *Hum Factors*. 1988;30:71-81.
6. Schmidt RA. Unintended acceleration: A review of human factors contributions. *Hum Factors*. 1989;31:345-364.
7. Calne DB. Normal aging and the nervous system. In: Andres R, Bierman L, Hazard WR, eds. *Principles of geriatric medicine*. New York: McGraw-Hill; 1985:231-235.
8. Darling WG, Cooke JD, Brown SH. Control of simple arm movements in elderly humans. *Neurobiol Aging*. 1989;10:149-157.
9. Hauer E. *The safety of older persons at intersections.: Transportation in an aging society-improving mobility and safety for older persons*. Transportation Research Board-National Research Council; 1988. Report No.: 218.

10. Glick TH. *Neurologic skills: Examination and diagnosis*. Boston: Blackwell Scientific Publications; 1993.
11. Kenshalo DR, Sr. Somesthetic sensitivity in young and elderly humans. *J Gerontol*. 1986;41:732-42.
12. Salthouse TA. Speed of behavior and its implication for cognition. In: Birren JE, Schaie KW, eds. *Handbook of the psychology of aging*. 2nd ed. New York: Van Nostrand Reinhold; 1985:400-426.
13. Welford AT. Reaction time, speed of performance, and age. In: Joseph JA, ed. *Central determinants of age-related declines in motor function*. New York: The New York Academy of Sciences; 1988:1-17.
14. Szlyk JP, Seiple W, Viana M. Relative effects of age and compromised vision on driving performance. *Hum Factors*. 1995;37:430-6.
15. Hakamies-Blomqvist L, Mynttinen S, Backman M, Mikkonen V. Age-related differences in driving: Are older drivers more serial? *Int J Behav Develop*. 1999;23:575-589.
16. Planek TW, Fowler RC. Traffic accident problems and exposure characteristics of the aging driver. *J Gerontol*. 1971;26:224-30.
17. Hakamies-Blomqvist L. Compensation in older drivers as reflected in their fatal accidents. *Accid Anal Prev*. 1994;26:107-12.
18. Andersen GJ, Cisneros J, Saidpour A, Atchley P. Age-related differences in collision detection during deceleration. *Psychol Aging*. 2000;15:241-52.
19. Schiff W, Oldak R, Shah V. Aging persons' estimates of vehicular motion. *Psychol Aging*. 1992;7:518-525.
20. Skinner HB, Barrack RL, Cook SD. Age-related decline in proprioception. *Clin Orthop*. 1984;184:208-11.

21. Billon M, Semjen A, Cole J, Gauthier G. The role of sensory information in the production of periodic finger-tapping sequences. *Exp Br Res*. 1996;110:117-30.
22. Schmidt RA, Zelaznick HN, Hawkins B, Frank JS, Quinn JT. Motor-output variability: A theory for the accuracy of rapid motor acts. *Psychol Res*. 1979;86:415-451.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This research was supported by grants from the MAIF and NSERC. Vincent Cantin was supported by FQNT-MTQ.

Address correspondence to Normand Teasdale, PhD, Département de médecine sociale et préventive, Division de kinésiologie, PEPS, Québec (Québec), Canada G1K 7P4. E-mail :

[Normand.Teasdale@kin.msp.ulaval.ca](mailto:Normand.Teasdale@kin.msp.ulaval.ca)

## FIGURE CAPTION

Figure 1. Lateral view of the right ankle displacement of a young subject (top right panel) and an elderly subject (top left panel). Lower panels present the corresponding linear velocity. The release of the accelerator (Acc) and the final activation of the brake pedal (Brake) are indicated with arrows.

