



Par Pierre-Jean Arnoux, Directeur de recherche et Directeur adjoint du Laboratoire de Biomécanique Appliquée LBA - Département Transport, santé, sécurité TS2

## Sécurité des piétons

- a. Particularités du piéton accidenté
- b. Accidentologie des piétons
- c. Réaction des piétons
- d. Vulnérabilité du piéton enfant
- e. Compétences du piéton
- f. Détection du piéton par l'automobiliste
- g. Accessibilité des transports
- h. Piétons âgés

Alors que le nombre de victimes de la route a largement baissé ces dernières années, les piétons restent en proportion, des usagers particulièrement exposés<sup>1</sup> tant dans les pays développés que dans les pays émergents. L'amélioration de la sécurité de ceux que l'on appelle « usagers vulnérables » s'appuie à l'Ifsttar sur des nombreuses disciplines scientifiques en considérant différentes échelles d'analyse.

## Avant l'accident, l'analyse du comportement de l'utilisateur dans son environnement

Cet examen suggère des améliorations dans l'organisation des systèmes de transport, dans l'aménagement des voiries y compris du mobilier urbain. Les personnes âgées avec des facultés perceptives, cognitives et motrices parfois diminuées sont très largement étudiées.

L'utilisation de simulateurs permet d'analyser l'incidence de ces facultés diminuées et peut devenir un outil de réapprentissage. Cette approche concerne ainsi tant le piéton pour améliorer sa capacité à évoluer dans l'espace urbain (de ses évolutions) que le conducteur pour lequel la capacité attentionnelle à détecter le piéton à temps et à déclencher une manœuvre appropriée est essentielle.

## A l'échelle de l'accident, les enjeux sont multiples

L'analyse de son scénario est essentielle pour contribuer au développement de dispositifs actifs de sécurité susceptibles d'éviter l'accident ou d'alerter le conducteur tout en tenant compte des réactions du piéton.

L'étude de la vulnérabilité physique du piéton, par la compréhension des mécanismes à l'origine des blessures, est aussi traitée. Elle permet d'influer sur la conception des véhicules en proposant des standards d'évaluation. L'approche associant essais expérimentaux et simulations numériques offre des champs d'investigations élargis et réalistes en prenant en compte de nombreux paramètres inhérents au véhicule (forme, localisation du point d'impact, vitesse) et au piéton (taille, position, posture). L'intérêt de développer des contremesures en termes de sécurité active et passive sur les voitures est ainsi manifeste. Ainsi, la notion de solution intégrée qui combine sécurité active et passive ouvre de larges perspectives pour l'Ifsttar.

## L'analyse à posteriori de l'accident et la prise en charge clinique des victimes

Cette étape est essentielle pour alimenter les questions de recherche posées. L'analyse statistique des traumatismes (y compris le suivi des victimes et leur réinsertion) ou encore l'analyse détaillée des accidents fournissent des données précieuses pour identifier les facteurs de risque et les conditions de l'accident. Ainsi, on montre que l'exposition au risque est plus grande chez les hommes que chez les femmes<sup>1</sup>. Les plus jeunes tout comme les personnes âgées sont indéniablement des populations à risque important avec des typologies de blessures différentes.

L'ensemble des recherches conduites à l'Ifsttar, certaines dans des collaborations nationales et internationales, sont diverses pour comprendre la vulnérabilité des piétons et améliorer leur sécurité. Au total, l'Ifsttar est en capacité de déployer de manière très large son potentiel de recherche. L'établissement peut ainsi être force de proposition dans la prévention et l'éducation, dans l'aménagement des infrastructures et enfin dans la protection physique de ces usagers.

<sup>1</sup> Martin J.-L., Lardy A., Laumon B., Pedestrian Injury Patterns According to Car and Casualty Characteristics in France, Ann Adv Automot Med. 2011 October; 55: 137-146.

## ► Quels systèmes de sécurité pour protéger un piéton ?

Écoutez Thierry Serre, Chargé de Recherche et adjoint à la direction du LMA - Département TS2 sur l'espace web science et société <http://www.ifsttar.fr/ressources-en-ligne/espace-science-et-societe/mobilites/multimedias/quels-systemes-de-securite-pour-protoger-un-pieton/>



## a. Déterminer les particularités du piéton accidenté

Par Jean-Louis Martin, Chercheur, épidémiologiste - Département TS2, UMRESTTE<sup>1</sup>

Au cours des années 2000-2010 environ 27 % des tués dans les accidents de la circulation routière, au sein de l'Union Européenne, étaient des piétons<sup>2</sup>.

En France, 489 piétons ont été mortellement touchés en 2012<sup>3</sup>, soit 13,4% des tués. En se basant sur une description lésionnelle précise et un système de codification de la gravité, validé internationalement, le nombre de piétons blessés cette même année a été estimé à 25 000, dont 4 000 sévèrement atteints.

Les piétons constituent donc la quatrième catégorie d'usagers accidentés après les automobilistes, les utilisateurs de deux-roues motorisés et les cyclistes. Le nombre de piétons accidentés a tendance à diminuer depuis une dizaine d'années<sup>4</sup>.

Cette information peut être mise en relation avec une légère hausse du nombre d'usagers de deux-roues motorisés et une diminution spectaculaire d'accidentés dans la catégorie des automobilistes.



Sources Ifsttar

### Portait du piéton accidenté

Comme pour les autres catégories d'usagers, le piéton accidenté est majoritairement jeune. Ainsi les 10-19 ans sont les plus représentés parmi les victimes piétons pour les filles comme pour les garçons. Relativement aux nombres d'accidentés ou aux nombres d'habitants dans chaque classe d'âge, les plus de 70 ans sont cependant fortement représentés. Pour cette population, plus de 50 % des accidentés ont dépassé 85 ans.

Comme pour toutes les catégories d'usagers, la gravité des lésions des piétons augmente avec l'âge, et particulièrement au-delà de 64 ans aussi bien en termes de létalité que de sévérité des atteintes lésionnelles.

### Des blessures localisées selon les profils

73% des victimes piétons, souffrant d'au moins une lésion autre que mineure, ont une fracture. Les régions corporelles les plus touchées sont, dans l'ordre, les membres inférieurs, la zone tête / face / cou et les membres supérieurs. Plus spécifiquement, les jambes et les genoux sont les zones des membres inférieurs les plus souvent atteintes car directement impactées par le véhicule heurtant. Les hommes sont en moyenne plus sévèrement touchés. Ils souffrent un peu moins fréquemment de fractures mais significativement plus souvent d'atteintes aux organes internes. Les zones de la tête, du thorax, et des jambes sont également les plus impactées.

Les femmes sont en revanche plus régulièrement atteintes aux membres supérieurs, aux genoux et surtout au bassin, avec un risque plus de deux fois supérieur à celui des hommes.

Les blessures à la tête et au thorax constituent la majorité des lésions mortelles et une partie importante des blessures graves. Elles concernent tous les âges.



Sources Ifsttar

### Des contre-mesures adaptées?

Les essais consommateurs de type EuroNcap incitent les constructeurs de voitures à améliorer leurs véhicules afin de diminuer les conséquences corporelles en cas de heurt d'un piéton. Ces essais, actuellement focalisés sur les heurts de la tête, du membre inférieur et de la hanche, sont cohérents avec les études de l'Ifsttar. Ils pourraient être cependant améliorés avec un test spécifique aux atteintes du thorax qui constitue, après la tête, la deuxième zone des blessures les plus graves, voire mortelles.

<sup>1</sup> Unité Mixte de Recherche Épidémiologique et de Surveillance Transport Travail Environnement

<sup>2</sup> WHO. WHO Global Safety, Decade for Action: World health Organisation; 2013.

<sup>3</sup> ONISR. La sécurité routière en France, Bilan de l'année 2012: La documentation française; 2013.

<sup>4</sup> Martin JL, Lardy A, Laumon B. Pedestrian Injury Patterns According to Car and Casualty Characteristics in France. 55th Annals of Advances in Automotive Medicine (AAAM) Annual Conference; 2011 October 3-5, 2011; 2011.



## b. Comprendre les processus d'accident

Par Thierry Brenac, Chercheur - Département TS2, Laboratoire Mécanismes d'Accidents LMA

Pour l'élaboration de mesures de prévention des accidents, il est utile de comprendre les processus en jeu dans les enchaînements de faits et de situations qui engendrent les collisions.

Les processus qui conduisent aux accidents touchant des piétons sont d'une grande diversité<sup>1</sup>. Quelques problèmes récurrents, qui interviennent fréquemment dans le déroulement de ces accidents, peuvent cependant être soulignés.

### Les principaux dangers pour un usager piéton

Les obstacles à la visibilité, tout d'abord, ont une influence déterminante dans de nombreux accidents. Notamment, lorsqu'un piéton débouche entre des véhicules en stationnement ou à l'arrêt, le conducteur dispose de très peu de temps pour réagir, même s'il roule à une vitesse modérée.

Les traversées soudaines de chaussée par des piétons excessivement concentrés sur un objectif à atteindre (attraper son bus, rejoindre une connaissance de l'autre côté de la rue, etc.) constituent un autre trait fréquent des accidents de piéton, surtout chez les enfants et les adolescents<sup>2</sup>. Mais d'autres insuffisances en matière d'attention ou de recherche d'information sont également relevées. Par exemple, en intersection, les automobilistes interagissent avec d'autres véhicules auxquels ils doivent céder le passage, et cela peut mobiliser une grande partie de leur attention, au détriment des piétons, qui ne sont alors pas perçus. Plus rarement, des configurations inhabituelles (comme certaines voies à contresens) peuvent conduire des piétons à se tromper concernant les sens de circulation, et à regarder du mauvais côté lors de la traversée d'une voie.

D'autre part, la nuit détériore la perception des piétons par les automobilistes, même en présence d'éclairage public. Cet effet s'accroît lorsque la pluie s'ajoute à la nuit. Un piéton qui traverse peut alors ne pas être vu par un automobiliste et être renversé. En outre, l'alcoolisation des piétons ou des conducteurs impliqués est plus souvent observée la nuit. Hors agglomération, les rares piétons circulant de nuit le long de la chaussée courent de grands risques, car les conducteurs, s'ils sont gênés par les feux de croisement de véhicules en sens inverse, peuvent ne pas les percevoir et les percuter à vitesse élevée. Ces accidents sont particulièrement sévères. Une autre catégorie d'accident grave concerne des piétons s'affairant autour de véhicules en panne sur des infrastructures rapides (autoroutes, routes express, etc.), et qui sont trop tardivement perçus par un conducteur.

### Des difficultés spécifiques avec certaines catégories de véhicules

Véhicules utilitaires, bus et deux-roues motorisés jouent parfois un rôle particulier dans les accidents de piéton. Les véhicules utilitaires heurtent souvent des piétons lors de manœuvres de marche arrière. En effet, leurs chauffeurs ont généralement une visibilité limitée sur l'arrière. Du fait de leur encombrement, poids-lourds et bus risquent, davantage que les voitures, de renverser des piétons lors de manœuvres tournantes. En outre, du fait de leur taille, bus et camions jouent souvent un rôle d'obstacles à la visibilité lors des accidents de piétons<sup>3</sup>.

Par rapport aux voitures, les deux-roues motorisés sont davantage sujets aux chocs contre les piétons<sup>4</sup>. En particulier, lorsqu'ils circulent rapidement le long de files de véhicules arrêtés, le risque de heurt avec les piétons qui traversent est élevé, ces files de véhicules constituant des obstacles à la visibilité.

Dans l'ensemble, l'analyse approfondie des accidents de piétons suggère de nombreuses voies d'amélioration possible, notamment en matière d'aménagement des voiries, d'organisation des systèmes de transport, de conception des véhicules, d'éducation et de formation des usagers de la voirie.



Sources Ifsttar

<sup>1</sup> Scénarios types d'accidents impliquant des piétons et éléments pour leur prévention, par T. Brenac, C. Nachtergaële et H. Reigner. Les Collections de l'INRETS. Arcueil : INRETS (2003). [Téléchargez gratuitement sur la Librairie de l'Ifsttar](#)

<sup>2</sup> « Insécurité routière des jeunes piétons : processus d'accidents et stratégies de prévention », par T. Brenac. Territoire en mouvement, t. 2008, no 1, p. 14-24 (2010). [Disponible sur Territoire en mouvement](#)

<sup>3</sup> « The indirect involvement of buses in traffic accident processes », par T. Brenac et N. Clabaux. Safety science, vol. 43, no 10, p. 835-843 (2005). [Accessible via ScienceDirect](#)

<sup>4</sup> « Powered two-wheeler drivers' risk of hitting a pedestrian in towns », par N. Clabaux, J.-Y. Fournier et J.-E. Michel. Journal of Safety Research, vol. 51, p. 1-5 (2014). [Accessible via ScienceDirect](#)



## c. Observer les réactions des piétons face à un risque d'impact imminent

Les piétons représentent environ un quart des personnes tuées dans des accidents de la circulation (données ONISR). Dans la plupart des cas, la cause est une collision avec un véhicule. Afin de réduire ce phénomène, les véhicules sont désormais conçus de manière à limiter les conséquences d'un impact pour le piéton. On assiste au développement de dispositifs permettant au véhicule de détecter et d'essayer d'éviter les piétons (freinage automatique et apparition de système de braquage automatique).

Cependant, à l'heure actuelle, l'ensemble de ces mesures sont testées et évaluées par rapport à des situations extrêmement simplifiées, qui négligent largement la réaction des piétons face à l'accident et la variété de situations qui peuvent en découler. Or, dans la plupart des cas, les piétons ont le temps de percevoir le véhicule, qui menace de les impacter, et de réagir face à ce risque imminent. Ces réactions sont cependant encore relativement peu documentées.

L'Ifsttar se questionne donc sur la réaction d'un piéton, jeune ou âgé, lorsqu'au court d'une traversée de rue surgit un véhicule à grande vitesse menaçant de l'impacter. Plus précisément, sur les effets de cette réaction au niveau du risque d'impact et sur ses possibles conséquences.

### Une expérience pour observer la réaction des piétons

Pour répondre à ces questions, l'Ifsttar a mis au point une expérimentation dont le but est de simuler une situation d'accident entre des sujets, jeunes et âgés, et un véhicule virtuel.

Les sujets évoluent, à tour de rôle, dans un environnement virtuel qui simule une rue dans laquelle circule un flot de véhicules. Les sujets sont naïfs, par rapport à l'objet de l'étude, et n'ont pour seule consigne le fait de traverser la rue en évitant les véhicules. Au cours de l'une de ces traversées, le simulateur fait apparaître un véhicule circulant à vive allure, accompagné d'un bruit d'accident. Différents capteurs permettent de mesurer la réaction des personnes. En particulier un dispositif d'analyse du mouvement<sup>1</sup>, similaire à ceux utilisés dans l'industrie des jeux vidéo ou du cinéma d'animation, permet de quantifier le mouvement des sujets et plus particulièrement la tentative d'évitement du véhicule ainsi que la posture du sujet au moment de l'impact virtuel.



Sources LBMC

### Des stratégies d'évitement à prendre en compte

Cette expérimentation a permis de mettre en évidence l'importance et la fréquence des réactions des piétons face à un risque d'impact imminent. Ces réactions se répartissent en trois grandes stratégies par rapport à l'évitement du véhicule :

- Tentative d'évitement du véhicule en accélérant ;
- Tentative d'évitement du véhicule en reculant ;
- Aucune tentative particulière pour éviter le véhicule mais des réflexes de protection (protéger sa tête avec ses bras par exemple).

Ces réactions influencent largement la trajectoire du piéton entre l'instant de déclenchement du scénario, ou l'instant de détection du piéton par un dispositif d'évitement de piéton automatique, et l'instant d'impact virtuel. Il apparaît donc difficile d'estimer les risques d'impact entre le véhicule et le piéton, et donc de décider quelles sont les mesures à mettre en place pour éviter le piéton, sans prendre en compte ses réactions. Ces résultats devront être généralisés afin d'être intégrés dans la conception des dispositifs d'évitement de piéton automatiques.

### Influence de la réaction sur le risque de blessure

Une grande variété de postures au moment de l'impact virtuel, ainsi que des stratégies d'évitement du véhicule significatives, sont observées dans cette étude. Les chercheurs de l'Ifsttar ont donc cherché à savoir si ces conditions d'impact avaient une influence sur le risque de blessure pour le piéton. Les véhicules ne sont actuellement évalués, en termes de risque de lésion pour un piéton et suite à un impact avec le véhicule, que pour une position standardisée du piéton. Il paraît donc nécessaire de vérifier que ces conditions de test standard soient adaptées.

A l'aide d'un outil numérique, les conséquences lésionnelles, associées à un impact piéton-véhicule, ont été évaluées pour les différentes postures et vitesses d'impact virtuel observées expérimentalement ainsi que pour les conditions de test standard. Il en ressort que le risque de lésion dépend grandement des conditions d'impact. En revanche, ce risque estimé, dans les conditions standards, est supérieur à celui estimé pour 95 % des situations expérimentales. Les conditions de test standard actuelles semblent donc, en première approche, appropriées.

**Contacts :** Ces travaux ont été effectués par A. Soni, T. Robert, P. Beillas et F. Rongieras du Département [TS2](#), Laboratoire [LBMC](#), avec la participation de D. Ndiaye et F. Vienne d Département [COSYS](#), Laboratoire [LEPSIS](#). Les travaux d'Anurag Soni ont été financés par la commission européenne dans le cadre de l'action Marie Curie « Pedestrian pre-crash reactions and their effects on crash outcomes ». Détail du projet européen sur le site Cordis

<sup>1</sup> Le logiciel utilisé, pour cet environnement virtuel, a été développé par le Laboratoire [LEPSIS](#) du Département [COSYS](#). Cette expérimentation a été menée dans le cadre de la loi relative à la protection des personnes dans la recherche biomédicale, et donc approuvée en amont par le comité d'éthique de l'institut, le comité consultatif de protection des personnes dans la recherche biomédicale et l'agence nationale de sécurité des médicaments et des produits de santé.



## d. Comprendre la vulnérabilité du piéton et améliorer les protections offertes : L'exemple du piéton enfant

Par Damien MONTOYA, Doctorant - Département TS2, Laboratoire de Biomécanique Appliquée LBA

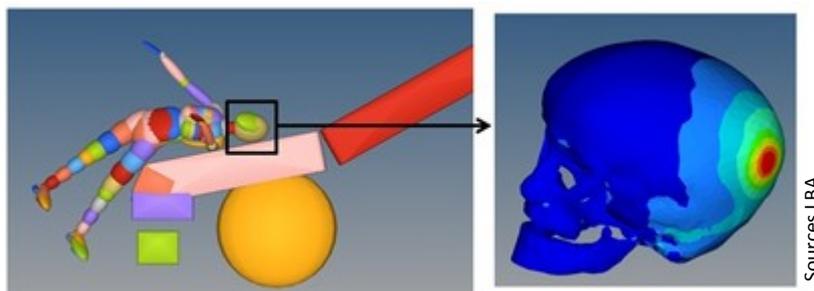
Selon l'International Road Traffic and Accident Database (IRTAD), 115 enfants de moins de 14 ans dont 36 piétons ont été tués sur les routes françaises en 2012. La protection des enfants reste un enjeu majeur et il est pertinent de se demander si les solutions de protection, développées pour l'adulte, sont adaptées à la morphologie particulière de l'enfant. En s'appuyant sur des modèles virtuels spécifiques, il est possible de prédire le bilan lésionnel d'un enfant piéton, victime d'un accident, en fonction de la forme du véhicule.

### Étude accidentologique et épidémiologique

En France, le piéton est le deuxième usager de la route enfant le plus touché derrière le passager de véhicule (IRTAD). Cet enfant piéton est accidenté majoritairement à l'âge de 6 ans lorsqu'il traverse la route en courant, hors du passage clouté ou lorsqu'il émerge entre deux véhicules stationnés<sup>2</sup>. Le plus souvent, il est heurté par un véhicule léger roulant à la vitesse moyenne de 26,2 km/h<sup>3</sup>. Il est principalement touché à la tête (contusion cérébrale, hématome sous-dural), à l'abdomen (lésions spléniques, hémopneumo-thorax) et aux membres inférieurs (fractures)<sup>4,5</sup>.

### Reconstruction numérique d'accidents

Dans un premier temps, l'influence de la géométrie de l'avant du véhicule léger, sur les blessures types d'un enfant piéton accidenté, est étudiée. Pour cela, une étude numérique est mise en œuvre afin de reconstruire un grand nombre d'accidents. Grâce à cette étude numérique, les paramètres géométriques classiques de l'avant d'un véhicule léger (hauteur du pare-chocs par rapport au sol, écart entre la base du capot et le pare-chocs, hauteur de la base du capot, angle du capot) peuvent être modifiés.



Simulation globale de l'accident (gauche) et simulation locale de l'impact tête / capot (droite).

Pour étudier l'influence de la géométrie du véhicule sur l'enfant, des modèles de véhicules différents sont générés de façon automatique. L'accident est ensuite simulé entre ce véhicule et un modèle d'enfant piéton à deux échelles. Premièrement, à l'échelle globale par une simulation complète de l'accident. Le modèle utilisé est représentatif d'un enfant de 6 ans. Il permet d'obtenir la cinématique de l'accident et de l'ensemble des critères de blessures.

Deuxièmement à l'échelle locale, par exemple le contact tête / capot. Dans ce cas, un modèle biofidèle représentatif (FEMOCS6) d'un enfant de 6 ans<sup>6</sup> est utilisé pour obtenir des informations sur les mécanismes lésionnels<sup>7</sup>. Les contacts sélectionnés sont les contacts impliquant les segments anatomiques les plus sévèrement touchés dans la réalité (tête / capot, abdomen / capot et membre inférieurs / pare-chocs).

Cet outil permet de prédire le bilan lésionnel avec des résultats particulièrement pertinents et pourrait aider, dans un futur proche, l'industrie automobile à concevoir des véhicules protégeant mieux les enfants piétons.

<sup>1</sup> H. Fontaine, Y. Gourlet, and A. Ziani, "Les accidents de piétons : Analyse typologique" Rapp. INRETS, no. 201, May 1995.

<sup>2</sup> DiMaggio C, Durkin M. Child Pedestrian Injury in an Urban Setting Descriptive Epidemiology. Acad. Emerg. Med. 2002.

<sup>3</sup> Le modèle FEMOCS6 est développé au Laboratoire de Biomécanique Appliqué de Marseille, UMRT24 Ifsttar/Aix-Marseille Université.

B. Y. Henary, J. Crandall, K. Bhalla, C. N. Mock, and B. S. Roudsari, "Child and adult pedestrian impact: the influence of vehicle type on injury severity," Annu. Proc. Assoc. Adv. Automot. Med. Assoc. Adv. Automot. Med., vol. 47, pp. 105–126, 2003.

<sup>4</sup> Demetriades D, Murray J, Martin M, Velmahos G, Salim A, Alo K, Rhee P. Pedestrians injured by automobiles: Relationship of age to injury type and severity. J. Am. Coll. Surg. 2004.

<sup>5</sup> R. Y. Peng and F. S. Bongard, "Pedestrian versus motor vehicle accidents: an analysis of 5,000 patients," J. Am. Coll. Surg., vol. 189, no. 4, pp. 343–348, Oct. 1999.

<sup>6</sup> F. Coulangeat, T. Serre, A. Navarro, M. Behr, and L. Thollon, "Development of a finite element whole-body model of a 6-year-old child for safety," J. Biomech. Eng. 2012.

<sup>7</sup> Coulangeat F. Modélisation numérique de l'enfant: application en accidentologie routière, Thèse de Doctorat, Aix-Marseille Université ; En téléchargement sur [theses.fr](http://theses.fr)



## e. Traverser la rue : quelles compétences en jeu ?

Par Marie-Axelle GRANIE, Directrice de recherche - Département TS2, Laboratoire LMA

*Se déplacer à pied et traverser une rue sont des actions bien plus complexes qu'il n'y paraît de prime abord. Si la traversée de rue est analysée comme une situation de résolution de problème, plusieurs fonctions et capacités cognitives entrent en jeu pour accomplir cette tâche en toute sécurité.*

### Une stratégie de recherche visuelle



Source Ifsttar

Premièrement, le piéton analyse la situation et observe le trafic, il développe une stratégie de recherche visuelle. Cela suppose d'avoir une certaine compréhension du fonctionnement de l'espace routier et savoir où regarder afin que la recherche visuelle ne soit pas pauvre et inefficace.

La stratégie implique également l'attention, c'est-à-dire la capacité à se focaliser sur les informations importantes, même si d'autres informations moins importantes sont plus attractives. En parallèle, les sites de traversée, qui pourraient entraîner des

problèmes de visibilité, doivent être détectés.

Cela implique d'analyser les dangers posés par la topographie de l'espace routier. Les masques à la visibilité, créés par le stationnement, doivent être identifiés et la scène routière doit également être appréhendée depuis la position des autres usagers dans l'espace.

### Dans un environnement en mouvement

Le piéton doit évidemment prendre en compte les éléments dynamiques de l'environnement routier, notamment les véhicules actuellement ou potentiellement en mouvement.

Déterminer le mouvement et la direction d'un véhicule sollicite la capacité de localisation des sons et de coordination des informations, données par l'audition et la vision. Si le véhicule approche, il faut déterminer le temps au contact, c'est-à-dire le temps que le véhicule va mettre pour arriver au point où le piéton se trouvera à ce moment-là. Ceci suppose de mettre en relation le temps disponible pour la traversée avec le temps nécessaire pour l'effectuer.

Cette dernière action dépend de la largeur de la route, estimée grâce aux informations visuelles, et de ses propres caractéristiques individuelles. Le piéton doit avoir une bonne connaissance de sa vitesse de déplacement habituelle (qui varie en fonction de l'âge) et de ce qui peut la modifier (paquets lourds et encombrants, poussettes, enfants en bas âge, etc.).



Sources Ifsttar

### Nécessitant des prises de décisions complexes et rapides

De plus, l'usager piéton doit prévoir ce que les véhicules vont faire, c'est-à-dire anticiper les comportements du conducteur (va-t-il ralentir, continuer tout droit, tourner ?). Cela suppose de prendre en compte tous les éléments signalant ou permettant de comprendre les intentions des autres usagers (clignotants, position sur la voie, aménagement, état du trafic, comportements habituels des conducteurs, etc.). Ces éléments l'informent sur l'évolution future de la situation et lui permettent d'orienter son propre comportement.

Le plus souvent, le piéton doit faire face à un trafic provenant de plusieurs directions, au moins deux. Les informations prélevées et les jugements / anticipations, qui en découlent, doivent donc être effectuées pour chacune de ces directions. Cet effort implique la mémoire à court terme et la capacité à diviser son attention. Ensuite, les informations doivent être rapidement, et en temps réel, coordonnées pour faire face à l'évolution de la situation routière.

Il est indispensable de noter que l'ensemble de ces compétences varie en fonction de l'âge et de l'expérience du piéton. Elles ne sont pas toutes mobilisées, de la même façon, dans toutes les situations : traverser une rue avec un feu de circulation pour piétons est moins complexe que de traverser une rue sans feu, sauf si le piéton décide de ne pas attendre le feu vert. Mais ceci est une autre histoire ...



## f. Améliorer la détection des usagers vulnérables par les automobilistes

Par Joceline ROGÉ, Chargée de recherche, psychologie cognitive - Département TS2, Laboratoire Ergonomie et Sciences Cognitives pour les Transports LESCOT

Au niveau mondial, la moitié des morts sur la route sont des usagers vulnérables avec 23 % de motards, 22 % de piétons et 5 % de cyclistes (World Health Organization, 2013). En France, le nombre de décès pour chaque catégorie d'usagers vulnérables est comparable avec 24 % de 2 ou 3 roues motorisés, 12 % de piétons et 4% de cyclistes (données de 2010). Aussi, ces usagers constituent en enjeu majeur en termes de sécurité routière. Des études réalisées dans plusieurs pays permettent de conclure que les conducteurs seniors sont plus impliqués dans des collisions avec les usagers vulnérables.

### Des capacités visuo-attentionnelles mises en cause

Le fait qu'un usager vulnérable soit détecté tardivement par les automobilistes seniors pourrait s'expliquer par un dysfonctionnement dans la séquence de traitement de l'information. Cet usager apparaît d'abord dans leur champ visuel périphérique et une saccade oculaire est nécessaire pour l'identifier. Il est donc possible que la capacité à détecter un usager vulnérable dépende, en partie au moins, de la capacité attentionnelle des automobilistes quand ils doivent percevoir des informations dans leur champ visuel périphérique. Une façon d'estimer celle-ci consiste à évaluer la taille de leur champ visuel utile au cours de la conduite. Il s'agit de la surface autour du point de fixation dans laquelle une personne peut traiter de l'information alors qu'elle effectue une double tâche impliquant à la fois les parties centrale et périphérique de son champ de vision. Pendant la conduite automobile simulée, ce champ peut être mesuré. L'évaluation de ce champ a permis de conclure que sa taille n'est pas constante. Elle peut varier en fonction des caractéristiques de la tâche de conduite et entre les individus. Par exemple, le champ visuel utile se dégrade sous la forme d'une vision en tunnel avec le vieillissement en conduite (Rogé, 2009).



Sources Ifsttar

### Une technique d'amélioration des capacités visuo-attentionnelles sur simulateur de conduite

Une méthode d'entraînement qui permettrait d'améliorer ce champ pourrait, en retour, avoir un effet bénéfique sur la détection des usagers vulnérables dans l'environnement routier.

Un entraînement spécifique effectué sur un simulateur de conduite automobile a permis d'améliorer de façon conséquente ce champ chez des automobilistes âgés (de 70 ans en moyenne). Avant et après cet entraînement, la capacité des seniors à détecter des usagers vulnérables (piétons et deux-roues motorisés) a été mesurée au cours d'une tâche de conduite simulée (illustration de gauche). L'entraînement proposé a été bénéfique puisqu'il leur a permis de détecter plus facilement les piétons dans l'environnement routier (illustration de droite). En effet, la distance de visibilité des piétons (des enfants, des adultes et des personnes âgées immobiles ou qui marchaient) s'est nettement améliorée après l'entraînement.



Sources LESCOT LEPSIS

Simulateur de conduite du LEPSIS (à gauche) et exemple de piéton à détecter au cours de la conduite (à droite).

### Des perspectives pour poursuivre les recherches sur cette technique d'entraînement

D'autres expériences restent à mener pour améliorer nos connaissances sur les effets de l'entraînement des capacités visuo-attentionnelles des automobilistes. Il reste à déterminer la durée optimale de l'entraînement pour obtenir un effet maximal en termes d'amélioration de la visibilité des usagers vulnérables. Il serait intéressant d'étudier aussi la persistance de l'amélioration du champ visuel utile après la fin de l'entraînement. Enfin, il est nécessaire de tester si l'amélioration de la distance de visibilité des piétons grâce à cet entraînement est aussi observée dans un environnement naturel.



## g. Identifier les barrières à l'accessibilité des transports pour les piétons à mobilité réduite

Par Claude Marin-Lamellet, Chercheur en psycho-ergonomie - Département TS2, Laboratoire Ergonomie et Sciences Cognitives pour les Transports LESCOT

La marche à pied est un mode de déplacement indispensable pour utiliser un réseau de transport collectif. Ce déplacement piétonnier peut être une source de situations de handicap et de risque d'accident pour certains usagers « vulnérables » tels que les seniors ou les personnes présentant des limitations fonctionnelles.

Par ailleurs, les évolutions urbaines font apparaître de nouvelles situations à risque :

- Les espaces avec trafic mixte (véhicules lourds et transports en commun) ;
- Les espaces mixtes piétons-cyclistes-rollers sans séparation physique ;
- Les zones de rencontre ;
- Les véhicules à faible niveau de bruit (hybride et électrique).

### Des déplacements fragilisés selon le profil de l'individu

L'évolution des capacités perceptivo-cognitives, liée à l'âge, contribue à augmenter le risque de choc avec des véhicules ou celui de chute. La capacité à détecter les véhicules, lors des traversées, peut également être altérée par une baisse des capacités auditives. Par ailleurs, les seniors rencontrent des difficultés pour traverser les grandes artères, en raison d'une durée du feu piéton trop courte. En effet, celles-ci n'intègrent pas la réduction des capacités motrices, liée au vieillissement, qui ralentit la vitesse de marche (0,9 m/sec au lieu de 1,2 m/s). Dans ce cas précis et pour limiter sa fatigue, l'usager peut être amené à traverser avant le passage piéton.

De même, les personnes aveugles ou mal voyantes ont des difficultés dans leurs déplacements piétonniers du fait de la surabondance d'obstacles sur les trottoirs (notamment les deux roues) et la complexification de certaines infrastructures (multiples circulations à double sens). Enfin, soulignons que les enfants porteurs de limitations fonctionnelles, touchant la vision, l'audition ou la cognition, ont plus de risques d'être blessés que des enfants d'âge équivalent sans limitation.

L'état de la voirie est un élément important pour limiter les risques de chute, notamment chez les piétons seniors. L'attention des aménageurs doit donc être portée sur les ruptures de revêtement, qui sont à proscrire, la glissance des matériaux et la distinction du mobilier urbain.



Sources Pix5

### Des conditions de transport mieux adaptées

Dans le cas du transport collectif, la manœuvre d'entrée-sortie est particulièrement à risque pour les personnes à mobilité réduite. Les bus à planchers bas réduisent le problème mais seulement si l'accostage est correct, ce qui n'est pas toujours le cas. Les tramways présentent un contexte plus favorable en raison de la proximité du quai et du seuil. Le voyageur à mobilité réduite est également vulnérable dans les phases de transition assis / debout. Des questions se posent sur le meilleur moyen d'assurer sa sécurité en cas de freinage brusque car la plupart des blessures ne sont pas liées à des collisions mais à des décélérations inattendues. Le mécanisme principal de blessure est la chute. Enfin, le sentiment d'insécurité, qui est subjectif et fortement lié à la société, est très présent chez les seniors.



## h. Appréhender et améliorer les décisions de traversée de rue des piétons âgés

Par Aurélie DOMMES, Chargée de recherche - Département Composants et Systèmes COSYS, Laboratoire Exploitation, Perception, Simulateurs et Simulations LEPSIS

La population des personnes âgées est particulièrement surreprésentée dans les accidents piétons, dans beaucoup de pays européens. En France, en 2012, les personnes âgées de plus de 75 ans représentaient 41.1 % des piétons tués, alors qu'ils ne composent qu'environ 9 % de la population française (ONISR, 2012). Cette classe d'âge représentait par ailleurs plus de 20% des blessés hospitalisés, soit 805 personnes en France en 2012. Si les conséquences d'un accident sont souvent fatales à l'individu âgé, elles peuvent également entraîner des conséquences graves, jusqu'à la perte complète d'autonomie.

En dépit de l'importance des enjeux de sécurité routière, l'étude spécifique des décisions et comportements des piétons âgés fait encore l'objet de peu de travaux dans la littérature. On note un progrès des connaissances acquises dans le domaine depuis seulement une vingtaine d'année.

### Quelles difficultés pour traverser la rue ?

Pour comprendre pourquoi les personnes âgées sont plus souvent impliquées dans les accidents piétons, des travaux ont été menés dans des situations où aucune aide n'est fournie aux piétons (ex. absence de feu piéton) et où ces derniers peuvent prendre seuls la décision de traverser la rue. Plus spécifiquement, les études montrent que les personnes âgées de plus de 75 ans sélectionnent d'elles-mêmes des créneaux de temps bien souvent trop courts, compte-tenu de leur vitesse de marche ralentie. Ce constat s'est révélé autant sur simulateur (Dommes & Cavallo, 2011 ; Lobjois & Cavallo, 2007, 2009; Oxley et al., 2005) qu'en utilisant des vidéos de trafic naturel (Holland & Hill, 2010), ou encore dans le cadre d'observations en milieu réel (Oxley et al., 1997).

On retient de ces travaux une prise de décision et une initiation du premier pas plus lentes, un ralentissement de la vitesse de marche, des capacités d'accélération réduites, et surtout, des difficultés à percevoir la vitesse d'approche des véhicules ou encore à coordonner les informations provenant de deux voies de circulation (Dommes et al., 2014). L'augmentation des traversées dangereuses chez les piétons âgés est globalement interprétée par le déclin de certaines capacités avec le vieillissement normal (Dommes et al., 2013 ; Holland & Hill, 2010 ; Lobjois & Cavallo, 2007, 2009 ; Oxley et al., 1997, 2005), telles que les capacités visuelles (acuité), perceptives (champ visuel utile), cognitives (capacités attentionnelles) et motrices (vitesse de marche), plutôt que l'âge du piéton en tant que tel.

### Comment améliorer la prise de décision ?

Une voie d'amélioration de la sécurité consiste à adapter l'utilisateur à l'infrastructure et à la tâche, par l'apprentissage ou le réapprentissage de comportements sécuritaires. Dans cette optique, la mise au point de programmes d'entraînement, spécifiquement destinés aux piétons âgés, serait un moyen efficace pour améliorer la sécurité de ces usagers vulnérables. Les études menées à l'Ifsttar (Dommes et al., 2012 ; Dommes & Cavallo, 2012) sont, à notre connaissance, les premières à avoir abordé cette question. Les résultats de plusieurs programmes d'entraînement testés sur simulateur sont très prometteurs. Ils témoignent de la possibilité d'améliorer sensiblement la sécurité des décisions et comportements des piétons âgés, en combinant des interventions comportementales et éducatives, individualisées. Ces programmes proposent divers exercices à niveau de difficulté croissante, en donnant du feedback sur les erreurs, et en permettant ainsi à l'individu d'être motivé et impliqué pendant toute la durée de l'intervention.

### La réalité virtuelle, un outil efficace pour étudier et améliorer les comportements

Les difficultés méthodologiques liées à l'étude des traversées de rue en situation réelle ont rendu l'analyse des facteurs de risque et de l'origine des accidents limitée. Des analyses d'accidents sont menées (Fontaine & Goulet, 1997), des scénarios typiques identifiés (Brenac et al., 2003), mais des questions restent ouvertes. Et ce sont notamment les progrès de la simulation qui ont permis et permettent encore aujourd'hui l'avancée de ces connaissances et de leurs applications. Aujourd'hui, l'Ifsttar (LEPSIS) est le seul institut au monde à disposer d'un simulateur de traversée de rue dans lequel le piéton se déplace réellement sur une distance de plus de 7 mètres. Le participant est équipé de capteurs de mouvement permettant de repérer sa position dans l'espace virtuel et d'adapter les scènes visuelles, projetées sur 10 écrans géants, à son déplacement et point de vue qui se modifient en cours de marche.



Sources LEPSIS

Simulateur de traversée de rue développé par l'Ifsttar



## Des références scientifiques supplémentaires pour approfondir le sujet :

- Brenac, T., Nachtergaële, C., & Reigner, H., 2003. Scénarios types d'accidents impliquant des piétons et éléments pour leur prévention. Rapport n°256. Arcueil: Les collections de l'INRETS.
- Cavallo, V., Lobjois, R.7 and Vienne, F., 2006. The interest of an interactive road crossing simulation for the study of adaptive road crossing behaviour. Proc. 1st Driving Simulation Conference Asia-Pacific. Tsukuba, Japan.
- Coulougeat F. Modélisation numérique de l'enfant: application en accidentologie routière, Thèse de Doctorat, Aix-Marseille Université ; Thèse en téléchargement sur <http://www.theses.fr/2012AIXM4000>
- Coulougeat F., Serre T., Navarro A., Behr M., and Thollon L., 2012. "Development of a finite element whole-body model of a 6-year-old child for safety," J. Biomech. Eng.
- Demetriades D, Murray J, Martin M, Velmahos G, Salim A, Alo K, Rhee P., 2004. Pedestrians injured by automobiles: Relationship of age to injury type and severity. J. Am. Coll. Surg.
- DiMaggio C, Durkin M., 2002. Child Pedestrian Injury in an Urban Setting Descriptive Epidemiology. Acad. Emerg. Med.
- Dommes, A., & Cavallo, V., 2011. The role of perceptual, cognitive, and motor abilities in street-crossing decisions of young and older pedestrians. Ophthalmic and Physiological Optics, 31, 292-301.
- Dommes, A., & Cavallo, V., 2012. Can simulator-based training improve street-crossing safety for older pedestrians? Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 15, 206-218.
- Dommes, A., Cavallo, V., & Oxley, J.A., 2013. Functional declines as predictors of risky street-crossing decisions in older pedestrians. Accident Analysis and Prevention, 59, 135-143.
- Dommes, A., Cavallo, V., Vienne, F., & Aillerie, I., 2012. Age-related differences in street-crossing safety before and after training of older pedestrians. Accident Analysis and Prevention, 44, 42-47.
- Dommes, A., Cavallo, V., Dubuisson, J.B., Tournier, I., & Vienne, F., 2014. Crossing a two-way street: comparison of young and old pedestrians. Journal of Safety Research, 50, 27-34.
- Fontaine, H., & Gourlet, Y., 1997. Fatal pedestrian accident in France: a typological analysis. Accident Analysis and Prevention, 29, 303-312.
- H. Fontaine, Y. Gourlet, and A. Ziani, " Les accidents de piétons : Analyse typologique" Rapp. INRETS, no. 201, May 1995.
- Grange-Faivre, C. & Marin-Lamellet, C., 2010. Accessibilité des personnes à mobilité réduite et transports guidés urbains/régionaux. In : Innovations dans les transports urbains guidés et régionaux, Claude Soulas et Martine Wahl Eds, Collection Traité IC2 Série Systèmes Automatisés, Hermès, pp280-290.
- Granié, M.-A. (2004). L'éducation routière chez l'enfant: évaluations d'actions éducatives. Apports de la recherche en psychologie du développement à la compréhension de l'enfant en sécurité routière. Rapport INRETS n°254. Arcueil: Les collections de l'INRETS. Téléchargez gratuitement sur la Librairie de l'Ifsttar.
- Granié, M.-A., 2010. Socialisation au risque et construction sociale des comportements de l'enfant piéton : éléments de réflexion pour l'éducation routière. Enfances, Familles, Générations, 12, 88-110. Disponible sur [erudit.org](http://erudit.org)
- Granié, M.-A., & Espiau, G., 2010. Etude qualitative du comportement piéton de collégiens par la méthode de l'autoconfrontation. Territoires en Mouvement. Revue de Géographie et d'Aménagement, 2008(1), 39-57. Disponible sur Territoire en mouvement
- Granié, M.-A., Pannetier, M., & Guého, L., 2013. Developing a self-reporting method to measure pedestrian behaviors at all ages. Accident Analysis & Prevention, 50, 830-839. Accessible via ScienceDirect
- B. Y. Henary, J. Crandall, K. Bhalla, C. N. Mock, and B. S. Roudsari, 2003. "Child and adult pedestrian impact: the influence of vehicle type on injury severity," Annu. Proc. Assoc. Adv. Automot. Med. Assoc. Adv. Automot. Med., vol. 47, pp. 105-126.
- Heyrman, E. and Marin-Lamellet, C., 2009. Quelles politiques d'accessibilité au transport en Europe ? Les Cahiers de l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme Ile-de-France n°150, pp.112-113.
- Marin-Lamellet, C., 2005. Rendre les transports accessibles : Évolutions et problématiques actuelles. Actes des entretiens de la Fondation Garches, Handicap et Environnement : de l'adaptation du logement à l'accessibilité de la cité ; coordination J-F Ravaut et F. Lofaso, Edition Frison Roche, pp 95-105.
- Holland, C., & Hill, R., 2010. Gender differences in factors predicting unsafe crossing decisions in adult pedestrians across the lifespan: a simulation study. Accident Analysis & Prevention, 42, 1097-1106.
- 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.
- Marin-Lamellet, C. (2009). Mobilité pour tous : des aménagements adaptés aux personnes aveugles ou malvoyantes et aux séniors-Parole de chercheurs, Vol II. INRETS (Ed). Les collections de l'INRETS, pp.55-58.
- Martin J.-L., Lardy A., Laumon B., Pedestrian Injury Patterns According to Car and Casualty Characteristics in France, Ann Adv Automot Med. 2011 October; 55: 137-146.
- Mo FH, Masson C, Cesari D, Arnoux P.-J., Coupling Lateral Bending and Shearing Mechanisms to Define Knee Injury Criteria for Pedestrian Safety. Traffic Inj Prev. Mar 2013;14(4): 378-386.
- Mo F, Arnoux PJ, Zahidi O, Masson C., Injury thresholds of knee ligaments under lateral-medial shear loading: an experimental study. Traffic Inj Prev. 2013;14(6): 623-9.
- Mo F., Arnoux P.-J., Cesari D., Masson C., Investigation of the injury threshold of knee ligaments by the parametric study of car-pedestrian impact conditions. Safety Science. 62, 2014, 58-67.



- Mo F., Arnoux P.-J., Cesari D., Masson C., The failure modelling of knee ligaments in the finite element model. *Int. J. Crashworthiness*. 2012;17(6): 630-636.
- Mo F., Arnoux P.-J., Jure J.-J., Masson C., Injury tolerance of tibia for the car-pedestrian impact. *Accident Analysis & Prevention*. 2012;46(0): 18-25.
- Observatoire National Interministériel de Sécurité Routière (ONISR), 2012. La sécurité routière en France. Bilan de l'année 2012. La documentation Française, Paris.
- Oxley, J.A., Fildes, B.N., Ihssen, E., Charlton, J.L., & Day, R.H., 1997. Differences in traffic judgements between young and old adult pedestrians. *Accident Analysis & Prevention*, 29, 839-847.
- Oxley, J.A., Ihssen, E., Fildes, B.N., Charlton, J.L., & Day, R.H., 2005. Crossing roads safely: An experimental study of age differences in gap selection by pedestrians. *Accident Analysis & Prevention*, 37, 962-971.
- R. Y. Peng and F. S. Bongard, "Pedestrian versus motor vehicle accidents: an analysis of 5,000 patients," *J. Am. Coll. Surg.*, vol. 189, no. 4, pp. 343-348, Oct. 1999.
- Peng Y., Chen Y., Yang J., Otte D., Willinger R., 2012. A study of pedestrian and bicyclist exposure to head injury in passenger car collision based on accident data and simulation. *Safety Science* 50 (9): 1749-1759.
- Peng Y., Deck C., Yang J., Willinger R., Effects of pedestrian gait, vehicle-front geometry and impact velocity on kinematics of adult and child pedestrian head, *International Journal of Crashworthiness* 2012, 17(5), 553-561.
- Peng Y., Deck C., Yang J., Otte D., Willinger R., 2013. A study of adult pedestrian head impact conditions and injury risks in passenger car collisions based on real world accident data, *Traffic Injury Prevention*.
- Peng Y., Yang J., Deck C., Willinger R., 2013. Finite element modeling of crash test behavior for windscreen laminated glass, *International Journal of Impact Engineering* (57), 27-35.
- Rogé J., Ndiaye D. and Vienne F., 2014. Useful visual field training: a way to improve elderly car drivers' ability to detect vulnerable road users, *Transportation Research part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 26, 246-257. [Accessible via ScienceDirect](#)
- Rogé, J. Pébayle, T., 2009. Deterioration of the useful visual field with ageing during simulated driving in traffic and its possible consequences for road safety, *Safety Science*, 47, 1271-1276. [Accessible via ScienceDirect](#)
- World Health Organization, 2013. Global status report on road safety 2013, supporting a decade of action, WHO, Department of violence and injury prevention and disability, Geneva, Switzerland, p. 318.
- Simoes, A., Marin-Lamellet, C., 2002. Road users who are elderly: drivers and pedestrians; in *Human factors for the highway engineer*, Fuller.R. & Santos.J.A. eds, Elsevier Science Ltd, Oxford, UK, pp 255-275.
- Soni A., Robert T., and Beillas, P., 2013. Effects of pedestrian pre-crash reactions on crash outcomes during multi-body simulations, in *Proceedings of the 2013 International Research Council Of Biomechanics of Injury Conference*, 11-13 September 2013 – Gothenburg (Sweden), pp. 762-776.
- Soni A., Robert T., Rongieras F., and Beillas P., 2013. Observations on pedestrian pre-crash reactions during simulated accidents. *Stapp car crash journal*, vol. 57, pp. 157-183.