



Dossier thématique n° 7

Comprendre  
les **comportements**  
des **usagers de**  
**la route** en simulant  
le monde réel ?



# Mobilités

- 1 Introduction
- 2 Développement de simulateurs
- 3 Validité des simulateurs de déplacement
- 4 Situations à risque
- 5 Évaluation de l'aménagement
- 6 L'éco-conduite
- 6 Simulateur vélo



# COMPRENDRE LES COMPORTEMENTS DES USAGERS DE LA ROUTE EN SIMULANT LE MONDE RÉEL ?

Par **Fabrice Vienne**,  
Ingénieur de recherche  
Département COSYS<sup>1</sup>, Laboratoire LEPSIS<sup>2</sup>

**Simuler la réalité, pouvoir se déplacer dans un monde virtuel et interagir avec des entités virtuelles n'est plus un rêve digne de romans de science-fiction. Cela fait plus de 50 ans<sup>3</sup> que des dispositifs existent afin de rendre réel le virtuel.**

**Les simulateurs de conduite sont des dispositifs de réalité virtuelle qui permettent notamment de réaliser des tâches complexes à coût réduit ou trop dangereuses pour le conducteur en situation réelle.**

Il existe plusieurs familles de simulateurs de déplacement qui se distinguent par l'usage qui en est fait :

➤ Les plus imposants, développés par des constructeurs automobiles, sont utilisés pour l'étude de la dynamique des véhicules et la validation de leurs composants.

➤ À l'opposé, les organismes de formation à la conduite et de sensibilisation au risque routier disposent de simulateurs bas coût. Ils permettent principalement de confronter les conducteurs à différents *scenarii* susceptibles d'être rencontrés en situation réelle, dont les *scenarii* d'accident.

➤ Enfin, les universités et les instituts, tels que l'Ifsttar, mènent des travaux de recherche visant à améliorer ces dispositifs de réalité virtuelle et les utilisent pour étudier le comportement des conducteurs et des usagers de la route en général.

## L'utilisation variée des simulateurs

À travers l'étude du comportement des usagers, il est possible d'aborder des questions aussi diverses que l'influence de la prise de médicaments, la conception et l'évaluation de nouvelles aides à la conduite, l'impact de nouvelles réglementations ou encore l'évaluation de différentes solutions d'aménagements routiers. Les simulateurs sont également utilisés comme outils de formation et de sensibilisation pour différentes catégories d'usagers. Enfin, ces équipements peuvent aider à anticiper les évolutions de la société, devenue plus écoresponsable et où le paysage routier est amené à évoluer, avec l'automatisation progressive des véhicules et le retour vers les modes actifs (marche et vélo).

## Les avantages et les contraintes de ces équipements

Les avantages de ces outils sont nombreux. Il est ainsi possible de modifier facilement l'environnement de conduite et de placer les participants dans des situations accidentogènes, sans risque pour eux. Les simulateurs permettent également de contrôler les conditions expérimentales et de les reproduire autant que nécessaire pour l'ensemble des participants.

Il existe cependant des contraintes à prendre en compte. En effet, comme pour toute expérimentation, celles conduites sur simulateur se font dans un contexte de laboratoire. Pour que les résultats puissent être transférés aux situations réelles et généralisés, les chercheurs doivent sélectionner judicieusement les conditions expérimentales. Ils s'appuient pour cela sur leur expérience de chercheur et sur les connaissances déjà acquises par la communauté scientifique. La question de la validité des simulateurs reste cependant d'actualité et mérite d'être approfondie. En complément, lire l'article « Mettre au point des simulateurs de déplacement pour l'étude du comportement ».

## La simulation de conduite et de déplacement à l'Ifsttar

Au sein de l'institut de recherche, la simulation de conduite est largement présente depuis plus de 20 ans et prend progressivement de l'essor. Les travaux de recherche de plusieurs laboratoires de l'Ifsttar, dans ce domaine, ont donné naissance à deux logiciels complémentaires : « Archisim/Sim<sup>2</sup> » pour la simulation de déplacement et « pro-SiVIC Recherche » pour la simulation de capteurs. Une dizaine de simulateurs de différentes catégories est également présente sur quatre sites de l'institut<sup>4</sup>.

“ **Les simulateurs de conduite sont des dispositifs de réalité virtuelle qui permettent notamment de réaliser des tâches complexes à coût réduit ou trop dangereuses pour le conducteur en situation réelle.** ”



Contenus textes  
réutilisables

Photo : Ifsttar

Lire l'ensemble du dossier thématique 2016 sur  
<http://www.ifsttar.fr/ressources-en-ligne/espace-science-et-societe/>

L'Ifsttar s'est par ailleurs orienté, depuis plusieurs années, vers la « simulation de déplacement » des usagers vulnérables. Il a été le premier institut à proposer un simulateur de traversée de rue pour les piétons<sup>5</sup>. Il est également l'un des rares instituts de recherche à s'être lancé dans le développement d'un simulateur moto<sup>6</sup> et d'un simulateur vélo<sup>7</sup>.

Au-delà de ces activités de conception, les simulateurs font l'objet de recherches dans

différentes disciplines telles que la réalité virtuelle, l'intelligence artificielle ou la psychologie. Ces travaux de recherche portent par exemple sur la validité des simulateurs, sur la restitution multi-sensorielle ou sur le peuplement de scènes virtuelles. Ils servent d'une part, à améliorer ces dispositifs et contribuent d'autre part, à apporter les connaissances de fonds nécessaires au bon usage des simulateurs.

1. COSYS : Département Composants et systèmes

2. LEPSIS : Laboratoire Exploitation, Perception, Simulateurs et Simulations

3. Le Sensorama, inventé par Morton L. Heilig en 1962, est souvent considéré comme le point de départ de la réalité virtuelle. Il s'agit d'un dispositif capable d'afficher des images en 3D, de produire du son stéréo, des mouvements du siège, et même... des odeurs !

4. <http://www.lepsis.ifsttar.fr/equipements/laboratoire-de-simulation/>

5. Une première version de ce simulateur est décrite dans : *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.*

La version actuelle, plus évoluée, est décrite dans : *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.*

6. En collaboration avec l'université d'Evry et l'université Paris-Sud.

7. Seuls quelques simulateurs vélo ont été développés pour la recherche. Nous pouvons par exemple citer ceux des universités de l'Iowa et de l'Oregon aux Etats-Unis, et le simulateur FIVIS en Allemagne qui sont destinés à l'étude du comportement des cyclistes. Le simulateur KAIST en Corée et celui de l'université de Nanyang à Singapour sont, quant à eux, utilisés pour des recherches en mécanique/automatique.



# 1 METTRE AU POINT DES SIMULATEURS DE DÉPLACEMENT POUR L'ÉTUDE DU COMPORTEMENT

Par **Stéphane Caro**,  
Ingénieur de recherche  
Département **COSYS**<sup>1</sup>, Laboratoire **LEPSIS**<sup>2</sup>

Contrairement à ce qu'indique leur nom, les simulateurs de conduite et plus largement les simulateurs de déplacement, ne servent pas à proprement parler à simuler la conduite. Ils servent, avant tout, à fournir un environnement virtuel dans lequel des participants peuvent conduire et se déplacer au moyen d'une interface. Le monde réel est ainsi remplacé par un environnement de synthèse qui est obtenu par simulation.

## Des éléments constituant les simulateurs ...

Il est nécessaire, pour la pertinence de l'outil, de simuler les différentes composantes du monde réel, dont voici quelques exemples :

- > Le fonctionnement du véhicule conduit par les participants incluant sa motorisation<sup>3</sup>, sa dynamique, ainsi que les dispositifs embarqués tels que les aides à la conduite et les capteurs<sup>4</sup> ;
- > Le comportement des autres acteurs de la scène tels que les véhicules constituant le trafic<sup>5</sup>, les piétons et les cyclistes dont la gestuelle doit également être simulée<sup>6</sup> ;
- > Les sources lumineuses et sonores ainsi que la propagation de la lumière<sup>7</sup> et du son<sup>8</sup>.

Pour remplacer le monde réel et donner l'impression aux participants qu'ils se déplacent, il est nécessaire de donner forme aux résultats des simulations. Pour cela, la partie matérielle des simulateurs se compose d'une interface dotée de capteurs ainsi que de dispositifs de restitution sensorielle. De nombreux travaux de recherche passés et actuels portent sur le rendu sensoriel et sur les caractéristiques immersives des simulateurs.

## ... vers une démarche de mise au point

La démarche naturelle pour mettre au point un simulateur consiste à reproduire, aussi fidèlement que possible, les stimulations sensorielles du monde réel. C'est par exemple ce qui a été fait sur le simulateur vélo, en reproduisant la dynamique de la roue arrière d'un vrai vélo<sup>9</sup>. Dans ce cas précis, l'effort demandé aux participants lorsqu'ils pédalent et l'inertie du vélo (c'est-à-dire, la difficulté à démarrer et à s'arrêter) sont les mêmes qu'en situation réelle.

Cependant, reproduire fidèlement les caractéristiques du monde réel est souvent impossible pour des raisons techniques et physiques. Il faudrait, pour exemple, être en mesure d'afficher sur écran, les luminances d'un jour ensoleillé<sup>10</sup> et de reproduire les accélérations d'un freinage d'urgence. Pour contourner ces difficultés, les chercheurs ont imaginé des techniques permettant de faire « illusion » auprès des participants, en ne reproduisant que les stimulations pertinentes<sup>11,12</sup>. La mise au point de ces techniques s'appuie sur la connaissance des mécanismes perceptifs ainsi que sur des tests menés avec des participants.

Malgré l'utilisation de ces algorithmes, le manque ou la distorsion inévitable de certaines informations sensorielles peut fausser la perception et le contrôle du déplacement dans le monde virtuel. Dans certains cas, il est préférable de mettre au point des modèles qui ne représentent plus la réalité physique mais qui se fondent sur les attentes des participants en termes de fonctionnement et de retours sensoriels. C'est par exemple ce qui a été fait pour le contrôle de l'équilibre sur le simulateur moto<sup>13</sup> ou pour le retour d'effort volant, dans une configuration actuellement utilisée sur plusieurs simulateurs de l'Ifsttar.

## Et vers le choix d'une configuration adaptée

Pour choisir les modèles et les techniques de restitution les plus adaptés, il est nécessaire de connaître leurs avantages et inconvénients et bien sûr, de tenir compte de l'usage qui sera fait des simulateurs.



Contenus textes  
réutilisables

Illustration : Ifsttar

Lire l'ensemble du dossier thématique 2016 sur  
<http://www.ifsttar.fr/ressources-en-ligne/espace-science-et-societe/>

“ Le monde réel est  
ainsi remplacé par un  
environnement de synthèse  
qui est obtenu par simulation ”

Vidéo

1. COSYS : Département Composants et systèmes
2. LEPSIS : Laboratoire Exploitation, Perception, Simulateurs et Simulations
3. Voir l'article de ce dossier thématique portant sur l'éco-conduite ainsi que la Recherche Incitative Ifsttar MODYVES (Modèles dynamiques et énergétiques de véhicules conventionnels électriques et hybrides pour simulateur de conduite) (B. Jeanneret & D. Ndiaye). « Concevoir et évaluer des systèmes d'aide à l'éco-conduite sur simulateur »
4. Le simulateur « pro-SiVIC Recherche » vise, entre autres, à simuler de manière physico-réaliste les capteurs embarqués, les moyens de communication et les mobiles pour le prototypage, le test et l'évaluation des ADAS (Dominique Gruyer).
5. Espié, S. & Auberlet, J.M. (2007). ARCHISIM: *A behavioral multi-actors traffic simulation model for the study of a traffic system including ITS aspects*. International Journal of ITS Research, 5, 7-16.
6. Travaux en cours pour une animation réaliste des piétons et des cyclistes (Isabelle Aillerie).
7. Voir par exemple, les travaux visant à simuler les effets du brouillard. Dumont, E. (2002). *Caractérisation, modélisation et simulation des effets visuels du brouillard pour l'usager de la route*. Thèse de doctorat de l'université René Descartes, Paris.  
Dumont, E., & Cavallo, V. (2004). *Extended photometric model of fog effects on road vision*. Transportation Research Record, 1862, 77-81.
8. Travaux en cours sur la synthèse sonore et la propagation du son, en collaboration avec Genesis dans le cadre du projet FUI Yellow (Fabrice Vienne). Plus d'informations sur le site web du pôle de compétitivité Movéo.
9. Présentation du projet de simulateur vélo lors des journées 2013 du Réseau Scientifique et Technique du MEDDE. Accès à la présentation de l'atelier.
10. L'utilisation de nouvelles technologies peut aider à se rapprocher de l'échelle 1. Voir la Recherche Incitative Ifsttar 2014-2015 portant sur les écrans à haute dynamique de luminance (Céline Villa & Maud Ranchet).
11. Les algorithmes de reproduction de tons permettent de représenter de larges gammes de luminances sur des écrans à capacités limitées. Voir par exemple :  
Petit, J. (2010). *Génération, visualisation et évaluation d'images HDR. Application à la simulation de conduite nocturne*. Thèse de doctorat de l'université Claude Bernard, Lyon.  
Petit, J., Bremond, R., & Tom. A. (2013). *Evaluation of tone mapping operators in night-time virtual worlds*. Virtual Reality, 17, 253-262.
12. Les algorithmes de restitution de mouvement permettent de reproduire les caractéristiques pertinentes des accélérations sur des plateformes à capacités limitées. Voir par exemple :  
Mohellebi, H. (2005). *Conception et réalisation de systèmes de restitution de mouvement et de retour haptique pour un simulateur de conduite à faible coût dédié à l'étude comportementale du conducteur*. Thèse de doctorat de l'université d'Evry-val d'Essonne.
13. Brevet en attente n° FR 14 53836.  
Caro S., Espié S., Lobjois R., Benedetto S., & Vienne F. *Méthode de calcul des composantes latérales (roulis et lacet) et du retour d'effort guidon pour simulateur de conduite moto*.



Contenus textes  
réutilisables

Vidéo : Ifsttar

Lire l'ensemble du dossier thématique 2016 sur  
<http://www.ifsttar.fr/ressources-en-ligne/espace-science-et-societe/>



# 2 COMMENT RENDRE PERTINENTE UNE SITUATION DE RÉALITÉ VIRTUELLE ?

Par Régis Lobjois,  
Chargé de recherche  
Département COSYS<sup>1</sup>, Laboratoire LEPSIS<sup>2</sup>

Utiliser un simulateur, pour étudier les comportements des usagers de la route, implique de se poser la question de sa validité. Un simulateur est valide lorsqu'il permet à ses utilisateurs d'adopter un comportement naturel et sans acquis préalable<sup>3</sup>. L'idée sous-jacente majeure est que le simulateur ne doit pas induire de nouveaux comportements ou stratégies, qui ne révéleraient finalement pas l'activité réelle de l'utilisateur dans la situation étudiée.

Quatre dimensions-clés de la validité des dispositifs de réalité virtuelle sont généralement évoquées<sup>4</sup> :

- > La validité physique, qui renvoie aux propriétés et performances de l'architecture logicielle et matérielle du système, et donc à sa capacité à fournir des stimulations sensorielles objectivement proches de celles du monde réel ;
- > La validité subjective, qui renvoie au jugement de ressemblance et à la crédibilité accordée à la situation simulée ;
- > La validité éthologique, qui mesure l'analogie des comportements en situation simulée et en situation réelle ;
- > Et enfin, la validité psychologique, qui renvoie à la similitude des processus psychologiques sous-tendant l'activité, y compris la charge mentale induite par l'activité de conduite.

## Démarche d'évaluation des simulateurs

La démarche consiste à mettre à l'épreuve des utilisateurs les choix techniques et technologiques, et donc les caractéristiques par lesquelles ils interagissent et sont immergés dans l'environnement virtuel.

Cette mise à l'épreuve s'appuie principalement sur des mesures subjectives (par questionnaire

ou entretien post-exposition) et des mesures comportementales (vitesse adoptée, louvoisement sur la chaussée, décision prise, etc.) pour qualifier/évaluer les dispositifs.

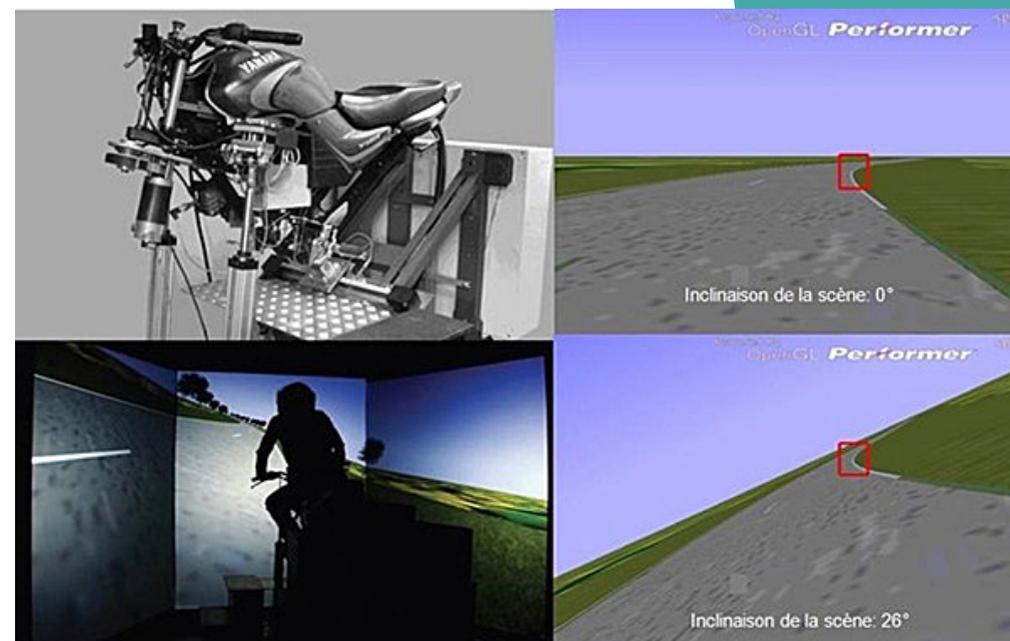
Néanmoins, ces deux familles de mesures font face à certaines limites. Les mesures subjectives témoignent d'une moindre sensibilité aux caractéristiques de l'environnement virtuel comparativement aux mesures dites objectives<sup>5</sup>. Les comportements adoptés sur simulateur peuvent, quant à eux, approcher ceux observés en situation réelle mais être assurés par des stratégies et processus sous-jacents différents. Notre démarche de conception et d'évaluation des simulateurs privilégie la dimension dite psychologique, au travers d'évaluation relative (comparaison de plusieurs dispositifs ayant des caractéristiques différentes) ou absolue (comparaison d'un dispositif à la situation réelle). En voici quelques illustrations :

### • En simulation de conduite moto

Comme il n'est pas possible, sur simulateur, de pencher la « moto » comme le ferait un motard sur la route (apparition de sensation de chute<sup>6</sup>), la scène visuelle est inclinée afin de compenser cette limite et d'assurer une illusion

d'inclinaison. En manipulant l'amplitude de l'inclinaison de la scène visuelle, les chercheurs ont montré que les utilisateurs ressentent de plus en plus de malaise à mesure que la scène visuelle est inclinée<sup>7</sup>. De plus, cette inclinaison entraîne une modification des stratégies visuelles expliquant une dégradation du contrôle de la trajectoire du véhicule en virage.

La validité psychologique de l'inclinaison est donc limitée puisqu'elle tend à modifier les processus visuels naturels qui sous-tendent les comportements en virage<sup>8</sup>.



▲ Simulateur moto à plateforme dynamique (en haut à gauche) placé devant 3 écrans de 2,8 m de haut et 1,8 m de large (en bas à gauche). Une rotation dans l'axe de roulis peut être appliquée à la scène visuelle afin de donner l'illusion d'une inclinaison (illustrations de droite, avec et sans roulis visuel).

### • En simulation de traversée de rue

Avec le développement de solutions permettant d'enregistrer les déplacements d'un « piéton » dans un environnement virtuel, les chercheurs du LEPSIS ont comparé l'effet de deux conditions de réponse sur les décisions de traversée. Dans le premier cas, l'utilisateur était simplement invité à répondre, à l'aide d'un bouton, si oui ou non il traverserait face au trafic présenté sur l'écran. Pour le second cas, le participant avait la possibilité d'effectuer la traversée en marchant sur une distance correspondante à la largeur de la chaussée simulée. Dans cette dernière condition, les comportements de traversée étaient plus opportunistes tout en étant moins risqués. Ce résultat a été expliqué par une meilleure préservation du « dialogue » entre la perception de la situation et le contrôle de l'action de traversée, ce dialogue étant rompu dans les réponses de type presse-bouton<sup>9</sup>.

### • En simulation de conduite automobile

Les simulateurs de conduite automobile ont essentiellement été évalués au regard des performances et comportements adoptés par comparaison à la situation réelle. La question s'est donc posée de savoir si une même performance était atteinte ou non, en situation réelle et simulée, avec les mêmes quantités de ressources attentionnelles investies. Dans cet objectif, nous avons comparé le niveau de charge mentale induit par ces deux conditions et montré que la conduite sur simulateur imposait aux conducteurs un niveau de charge supérieur.

« Ces quelques résultats, pris dans leur ensemble, illustrent l'importance de prendre en considération les processus psychologiques qui sous-tendent l'action lorsqu'il s'agit d'évaluer les dispositifs de réalité virtuelle. »

1. COSYS : Département Composants et systèmes
2. LEPSIS : Laboratoire Exploitation, Perception, Simulateurs et Simulations
3. Burkhardt, J.-M., B. Bardy, and D. Lourdeaux. 2003. Immersion, réalisme et présence dans la conception et l'évaluation des environnements virtuels. *Psychologie Française*, 48, 35-42.
4. Malaterre, G., and J. Fréchaux. 2002. Validité des simulateurs de conduite par comparaison de tâches réalisées en situation réelle et simulée. *Actes INRETS n° 82*, pp. 149-157.
5. Morice, A. H. P, I. A. Siegler, and B. G. Bardy. 2008. Action-perception patterns in virtual ball-bouncing: Combating system latency and tracking functional validity. *Journal of Neuroscience Methods* 169: 255-266.
6. Dagonneau, V. (2012). Etude des liens entre immersion et présence pour la mise au point d'un simulateur de conduite de deux-roues motorisé. Thèse de Doctorat, Université Paris-Sud.
7. Lobjois, R., V. Dagonneau, and B. Isableu. (2016). The contribution of visual and proprioceptive information to the leaning sensation in a dynamic motor-bike simulator. *Ergonomics*, DOI: 10.1080/00140139.2016.1149229
8. Lobjois, R., I. A. Siegler, and F. Mars (2016). Effects of visual roll on steering control and gaze behavior in a motorcycle simulator. *Transportation Research Part F*, 38, 55–66.
9. Lobjois, R., and V. Cavallo. 2009. The effects of aging on street-crossing behavior: from estimation to actual crossing. *Accident Analysis & Prevention*, 41, 259-267.



# 3 ÉTUDIER LES SITUATIONS À RISQUE EN TOUTE SÉCURITÉ

Par **Catherine Berthelon**,  
Directrice du **LMA**<sup>1</sup>  
Département **TS2**<sup>2</sup>

**Le terme « situations à risque » en conduite contient en lui-même les limites qu'il y aurait à les étudier en situation de conduite naturelle. En ce sens, les simulateurs de conduite constituent une alternative à ne pas négliger.**

## Identification des situations à risque

Les situations à risque sont à différencier de la notion de « prise de risques » qui recouvre un ensemble de phénomènes complexes que chacun a tendance à ramener à sa propre subjectivité du risque.

**Elles correspondent à des situations susceptibles de provoquer des accidents et qui sont souvent difficiles à gérer par le conducteur.**

Les études épidémiologiques<sup>3</sup> et les études détaillées d'accidents nous donnent des indices fiables sur ces situations à risque et mettent en évidence qu'elles sont liées à une combinaison de facteurs du système homme/véhicule/infrastructure.

Les facteurs humains, fréquemment listés, concernent la vitesse pratiquée, la conduite sous l'emprise de psychotropes (alcool, drogues, médicaments), le manque d'attention telle la distraction (téléphone par exemple) et l'hypovigilance. Les populations les plus jeunes (hommes) et les plus âgées sont particulièrement touchées, et conduire une moto ou circuler à pied augmente la gravité. Enfin, le risque d'accident est important sur les routes nationales.

## Des études rendues possibles grâce aux simulateurs de conduite

Les simulateurs de conduite sont devenus des outils indispensables à la compréhension et à l'analyse des interactions entre le conducteur,

le véhicule et le tracé routier. Leur utilisation s'est accrue au fil du temps car ils présentent de nombreux avantages : reproductibilité des situations, contrôle des paramètres et absence de risque réel puisque l'environnement dans lequel circule le conducteur est virtuel. Ils sont ainsi particulièrement adaptés à l'étude des situations qui se produisent aléatoirement ou très rarement ainsi qu'à celle des situations à risque. Il est par exemple possible d'y introduire des situations risquées réalistes auxquelles différentes populations de conducteurs peuvent être soumis. L'objectif des travaux est alors de mieux cerner les mécanismes de dysfonctionnement du système homme-véhicule-environnement susceptibles de provoquer un accident.

Les problématiques étudiées autour des situations à risque sont variées et concernent par exemple l'état du conducteur en lien avec l'environnement :

- > Vigilance c'est-à-dire « assoupissement » lors de situations de conduite trop monotone<sup>4</sup> ;
- > Charge de travail, ou difficultés rencontrées lors d'environnement complexe<sup>5</sup> ;
- > Distraction et inattention<sup>6</sup> ;
- > Absorption de produits psychoactifs (alcool, drogues, médicaments)<sup>7,8</sup>.

## Des limites à prendre en considération malgré les avantages

L'absence de risque réel, considérée comme un avantage en simulation de conduite, pose toutefois un certain nombre de questions pour

l'étude de situations objectivement risquées. La « validité comportementale » renvoie en effet à la capacité du simulateur à induire des comportements de conduite identiques ou parallèles à ceux que l'on observerait dans une situation naturelle : l'absence de risque peut ainsi être un frein à l'interprétation des comportements. La « validation physique » du simulateur est par ailleurs liée à la correspondance entre sa dynamique et celle de véhicules. Elle présuppose donc que la dynamique du simulateur corresponde à celle d'un véhicule existant mais aussi que les simplifications apportées à l'environnement routier simulé ne modifient pas les activités impliquées dans la situation réelle de conduite. La fidélité cognitive, liée à l'acquisition de connaissances, devient ainsi un facteur crucial pour la validation des simulateurs.

Le moyen le plus efficace pour cette validation est de comparer les comportements de conduite obtenus en situation simulée avec ceux obtenus en situation réelle. Ceci s'avère toutefois difficile, voire impossible dans le cas des situations à risque du fait par exemple de considérations éthiques. Ainsi d'un point de vue sécuritaire, faire boire un conducteur ou le tester alors qu'il manque de sommeil n'est pas acceptable sur route alors que cela est possible sur un simulateur. Cet outil est donc indispensable pour étudier les situations à risque, notamment pour évaluer les modifications de comportement liées à l'état du conducteur.

1. **LMA** : Laboratoire Mécanismes d'Accidents

2. **TS2** : Département Transport santé sécurité

3. Études effectuées au sein de populations, de la fréquence et de la répartition des problèmes de santé, dans le temps et dans l'espace, et du rôle des facteurs qui les déterminent.

### Pour aller plus loin

4. Contardi, S., Pizza, F., Sancisi, E., Mondini, S., Cirignotta, F. (2004). Reliability of a driving simulation task for evaluation of sleepiness. *Brain Research Bulletin* 63, 427-431.

5. Paxon, J., Galy, E., Berthelon, C. (2015). Subjective overload depending on driving experience and situation complexity: which strategies faced with a pedestrian crossing? *Applied Ergonomics*, 51, 343-349.

6. Fort, A., Gabaude, C., Lagarde, E., Lemerrier, C., Cour, M., Maury, B. (2003). Impacts des inattentions sur la conduite automobile : approche multidisciplinaire. *Compte-rendu de fin de projet ANR-09-VTT-04*, 33 pp.

7. Berthelon, C., Gineyt, G. (2014). Effects of alcohol on automated and controlled driving performance. *Psychopharmacology*, 231, 2087-2095.

8. Bocca, M-L., Marie, S., Lelong-Boulouard, V., Bertran, F., Couque, C., Desfemmes, T., Berthelon, C., Amato, J-N., Moessinger, M., Paillet-Loilier, M., Coquerel, A., Denise, P. (2011). Zolpidem and zopiclone impair similarly monotonous driving performance after a single night-time intake in aged subjects. *Psychopharmacology*, 214, 699-706.



▼ Simulateur de conduite Cerema



# 4 ÉVALUER L'AMÉNAGEMENT DES ROUTES GRÂCE AUX SIMULATEURS DE CONDUITE

Le développement et la commercialisation de simulateurs de conduite ont favorisé la démocratisation de leurs usages, même si la question de la transférabilité des résultats reste un défi ouvert. Pour autant, leur utilisation, majoritairement par des chercheurs, a permis d'orienter les réflexions voire d'obtenir des solutions opérationnelles.

## Des simulateurs au service de l'évaluation et de l'harmonisation

Un simulateur de conduite Ifsttar, utilisé dans le projet RoadSense, a permis d'évaluer trois dispositifs d'alerte audio-tactiles (bandes d'alerte sonore dites BAS<sup>4</sup>). Ceux-ci permettent principalement d'éviter les sorties de voies et les collisions frontales sur les routes de type départementale. Dans ce cas précis, le principal intérêt du simulateur a été de pouvoir tester les dispositifs de type creusé, implantés en axe et/ou en bord de voie. Très utilisés à l'étranger pour leur efficacité, ils ne le sont pas encore en France ou seulement à titre expérimental sur certaines sections d'autoroute. L'expérimentation sur simulateur a donc permis de tester ces dispositifs

en amont d'une évaluation réelle (à titre expérimental) sur des routes existantes. L'objectif étant, à terme, de pouvoir proposer des configurations de BAS<sup>4</sup> adaptées au réseau routier départemental français.

**Des recommandations d'implantation pourront alors être formulées pour mieux contribuer à l'harmonisation de ces réseaux.**

Une prochaine utilisation des simulateurs de conduite s'intéressera à la signalisation de l'ouverture à la circulation des bandes d'arrêt d'urgence. En effet, différents dispositifs de signalisation sont utilisés à l'étranger ou sur le

territoire national à titre d'expérimentation. L'évaluation de l'impact de ces différentes variantes sur les comportements des conducteurs, en simulateur de conduite, contribuera aux recommandations visant à proposer une signalisation spécifique à ce cas d'usage dans une perspective d'harmonisation.

## Tout en favorisant l'innovation routière

Dans le projet SARI, l'usage des simulateurs Ifsttar a permis d'évaluer et d'identifier *a priori* des aménagements routiers pour des situations de franchissement de sommets de côte en ligne droite. Ainsi, il a été démontré l'impact positif des BAS<sup>4</sup> (dispositif expérimental, en laboratoire) et d'un marquage de nuit visible par temps de pluie en conditions réelles, pour une utilisation différente de celle pour laquelle il a été conçu. Dans le cadre de la valorisation des produits, issus du projet SARI, des représentants de sociétés d'autoroutes ont manifesté leur intérêt pour la méthode d'étude d'un aménagement routier sur simulateur de conduite.

L'une des perspectives de l'usage des simulateurs de conduite est d'en faire à terme un outil d'aide à la prise de décision lors de la conception de route et d'aménagement. Afin d'apprécier les contraintes d'un tel usage, le Cerema a proposé de s'appuyer sur un projet routier<sup>5</sup> visant à

Par **Jean-Michel Auberlet**,  
Chargé de recherche

Département COSYS<sup>1</sup>, Laboratoire LEPSIS<sup>2</sup>

**Lara Désiré**  
Chargée de recherche Cerema<sup>3</sup>

et **Florence Rosey**  
Chargée de recherche Cerema<sup>3</sup>

mettre en œuvre le concept de « Route Autrement pour une Conduite Apaisée<sup>6</sup> ». Ce travail qui utilise le simulateur à base fixe du Cerema et les logiciels de simulation de conduite de l'Ifsttar a permis d'identifier les challenges liés à ce type d'usage, notamment concernant la création d'une base visuelle, reproduisant au mieux les caractéristiques géométriques des projets routiers. Il permet également d'esquisser les solutions méthodologiques pour faciliter le transfert entre les outils de conception routière et les outils de simulation 3D.

## Et en partageant savoirs et compétences professionnelles

Les retours d'expérience font émerger deux défis. Le premier consiste à établir des passerelles méthodologiques entre les chercheurs et les différents services de génie civil. En effet, un usage plus systématique des simulateurs de conduite nécessite de faciliter et d'accélérer le transfert des projets routiers des outils de conception vers les outils de simulation. Ce transfert doit se faire en ayant le souci de conserver au mieux les caractéristiques géométriques et d'équipement. D'une part, cela permet d'assurer une meilleure généralisation des résultats et, d'autre part, une meilleure prise en considération des résultats, issus de ces études, par les gestionnaires. Le second défi vise à faire le lien entre deux univers, celui du chercheur qui évalue l'impact d'un aménagement, en mesurant les comportements de l'usager en tant qu'individu, et celui du gestionnaire de voirie qui évalue la performance de ses infrastructures en mesurant le comportement de flux d'usagers.

1. COSYS : Département Composants et systèmes

2. LEPSIS : Laboratoire Exploitation, Perception, Simulateurs et Simulations

3. Cerema : Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

4. BAS : Bandes d'alerte sonore

5. <http://www.ouest.cerema.fr/route-apaiee-a-notre-dame-des-landes-a199.html>

6. <http://www.infra-transport-matieriaux.cerema.fr/la-route-autrement-pour-une-conduite-apaiee-a4483.html>

## Pour aller plus loin

Vienne, F., Caro, S., Désiré, L., Auberlet, J.-M., Rosey, F., Dumont, E. (2014). *Driving simulator: an innovative tool to test new road infrastructures (poster 18336)*. In *Proceedings of the 5th TRA, Transportation Research Arena, 14-17 april, La Défense, Paris, France*.

Auberlet, J.-M., Vienne, F., 2014, *Dossier 'I.A. & Systèmes Immersifs'*, *Bulletin de l'AFIA*, 82, pp. 10-13.

Auberlet, J. M., Rosey, F., Anceaux, F., Aubin, S., Briand, P., Pacaux, M.P., & Plainchault, P. (2012). *The impact of perceptual treatments on driver's behavior: From driving simulator studies to field tests—First results*.

Auberlet, J.-M., Pacaux, M.-P., Anceaux, F., Plainchault, P., Rosey, F. (2010). *The impact of perceptual treatments on lateral control: a study using fixed-base and motion-base driving simulators*. *Accident Analysis and Prevention*, 42 (2010), pp. 166–173.



Contenus textes réutilisables

Photo : Ifsttar et Cerema

Lire l'ensemble du dossier thématique 2016 sur <http://www.ifsttar.fr/ressources-en-ligne/espace-science-et-societe/>

# 5 CONCEVOIR ET ÉVALUER DES SYSTÈMES D'AIDE À L'ÉCO-CONDUITE SUR SIMULATEUR

Par **Rochdi Triqui**, Directeur de recherche – Laboratoire **LTE**<sup>1</sup>, Département **AME**<sup>2</sup>

**Dominique Gruyer**, Directeur du **LIVIC**<sup>3</sup> – Département **COSYS**<sup>4</sup>

**Olivier Orfila**, Directeur adjoint du **LIVIC**<sup>3</sup> – Département **COSYS**<sup>4</sup>

et **Hélène Tattegrain**, Directrice du **LESCOT**<sup>5</sup> – Département **TS2**<sup>6</sup>

L'éco-conduite des véhicules est une stratégie permettant de réduire la consommation d'énergie et limiter les émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Elle se base sur la mise en œuvre de plusieurs conseils liés à la conduite : ne pas accélérer trop fort, réduire sa vitesse, maintenir un régime moteur faible, anticiper le trafic, etc.<sup>7</sup>

En plus du coût d'investissement très faible des aides à l'éco-conduite, leur application possible à des véhicules anciens rend leur impact important et immédiat. Plusieurs travaux menés à l'Ifsttar, ces dernières années, se sont donc portés sur le développement et l'évaluation de tels dispositifs. Menés sur simulateur de conduite, ils ont cependant nécessité des développements spécifiques.

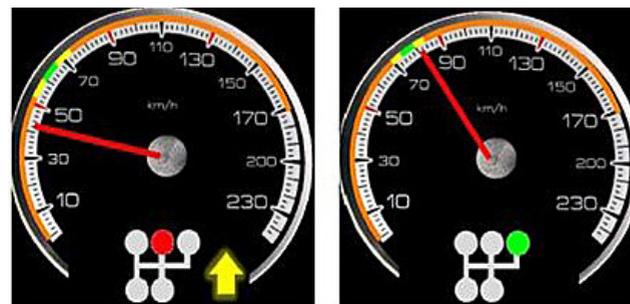
## Du calcul de la trajectoire idéale à son utilisation lors de l'activité de conduite

Les travaux réalisés, en collaboration entre le **LTE**, le **LESCOT**, le **LEPSIS** et le **laboratoire Ampère de Lyon**<sup>8</sup>, avaient pour premier objectif de quantifier les gains permis par l'éco-conduite pour un véhicule donné (conventionnel, électrique ou hybride). Pour cela, des méthodes numériques d'optimisation ont été utilisées. Ensuite, un outil d'aide à l'éco-conduite, basé sur cette optimisation, a été conçu et testé pour le cas du véhicule conventionnel. La démarche de conception tient compte de différentes contraintes qui peuvent apparaître. Le trafic et la pollution sont ainsi pris en considération ainsi que la réceptivité du conducteur et son aptitude à assimiler les informations qui lui sont destinées.

De plus, la prise en compte des contraintes de trafic a montré que le gain potentiel d'éco-conduite diminue avec la gêne du trafic même s'il reste toujours un moyen non négligeable d'améliorer sa consommation. En intégrant des contraintes d'émissions les chercheurs ont conclu que l'éco-conduite respecte les mêmes niveaux d'émission qu'une conduite normale et peut les diminuer en l'absence de contrainte de temps de trajet<sup>9</sup>.

Enfin, l'intégration des algorithmes d'optimisation dans le système d'assistance, efficace et sécurisé, a été réalisée sur un simulateur de conduite. 20 personnes ont été recrutées pour participer à l'évaluation du système en tant que conducteur avec et sans système d'aide. L'expérimentation a démontré que l'éco-conduite optimisée peut, par l'affichage d'informations

simples, être efficace tout en étant relativement bien acceptée par les conducteurs. Le gain moyen en consommation de carburant enregistré, lors de l'expérimentation, a été de 11 % environ.

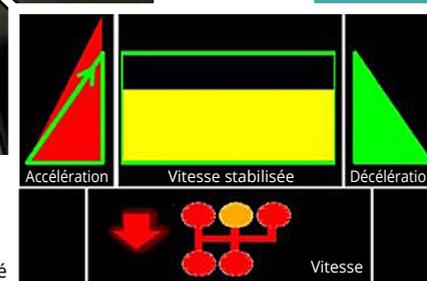


▲ Le support du système d'aide à l'éco-conduite est composé de deux écrans. L'écran de gauche est intégré au compteur kilométrique du véhicule et conseille une plage de vitesse en continu, excepté en situation de risque. L'écran de droite offre un conseil différé (après une séquence de conduite) et à caractère éducatif.



Conseil continu

Conseil différé



## CONCEVOIR ET ÉVALUER DES SYSTÈMES D'AIDE À L'ÉCO-CONDUITE SUR SIMULATEUR (SUITE)

### Eco-SiVIC, une plateforme pour l'éco-conduite et l'immersion 3D

D'autres travaux ont été menés sur la plateforme pro-SiVIC (Simulateur de Véhicules, d'Infrastructure et de Capteurs virtuels) du LIVIC. Cette plateforme est principalement utilisée pour la modélisation des capteurs et le prototypage d'aides à la conduite. Plus concrètement, elle permet de simuler le fonctionnement de capteurs implantés sur les véhicules (tels que des caméras, RADAR, télémètre laser, GPS, etc.). Le résultat de ces simulations est ensuite utilisé pour la mise au point des aides à la conduite qui utilisent ces capteurs. Dans ce cadre, un capteur de consommation pour les moteurs thermiques a été mis en œuvre, permettant ainsi de mener des projets sur l'éco-conduite.

Des travaux d'extension de cette plateforme ont été entrepris depuis quelques années afin de permettre à des participants de la conduire. Il s'agit d'une part, d'interfacer la plateforme avec un poste de conduite (volant et pédales) et d'autre part, de calculer et d'afficher les images stéréoscopiques<sup>10</sup> dans un casque de réalité virtuelle, offrant ainsi une immersion 3D complète. Cette plateforme, équipée du poste de conduite, a été présentée au public lors des fêtes de la science ainsi qu'au mondial de l'auto 2014<sup>11</sup>. Dans ce cadre, les conducteurs avaient pour objectif de parcourir la plus grande distance possible avec une petite quantité de carburant (0,15 litres). Un score était attribué aux participants en fonction de la distance parcourue, leur indiquant ainsi s'ils avaient respecté les règles d'éco-conduite.



◀ Casque de réalité virtuelle permettant d'afficher les images en 3D et de mesurer les mouvements de la tête



◀ Un exemple d'images stéréoscopiques avec les indications de vitesse et de consommation

Plus scientifiquement, l'objectif de cette plateforme est de pouvoir quantifier l'impact de la conduite sur la consommation dans des situations particulières comme la traversée d'intersection. De plus, les chercheurs du LIVIC envisagent de quantifier l'impact de certains paramètres du véhicule sur la consommation. À titre d'exemples, ces paramètres peuvent être la capacité d'accélération et de freinage du véhicule, ou l'adhérence des pneumatiques sur la chaussée. De futurs travaux viseront à étendre ces études aux solutions hybrides.

### L'intérêt des outils de simulation pour l'éco-conduite

Ces travaux, menés dans différents laboratoires de l'IFSTTAR, montrent que l'implantation d'outils d'évaluation de la consommation sur simulateur de conduite peut ouvrir la voie à différentes recherches qu'il serait difficile de mettre en œuvre en situation réelle.

« Les premiers résultats font état d'un effet bénéfique des aides à l'éco-conduite »

1. LTE : Laboratoire Transports et Environnement
2. AME : Département Aménagement, mobilité et environnement
3. LIVIC : Laboratoire sur les interactions véhicules-infrastructure-conducteurs
4. COSYS : Département Composants et systèmes
5. LESCOT : Laboratoire Ergonomie et Sciences Cognitives pour les Transports
6. TS2 : Département Transport santé sécurité
7. Pour une définition de l'éco-conduite, voir par exemple : Barth, M., & Boriboonsomsin, K. (2009). Energy and emissions impacts of a freeway-based dynamic eco-driving system. *Transportation Research Part D*, 14, 400-410.
8. Dans le cadre de la thèse de doctorat de Félicitas Mensing, soutenue en 2013 : « Optimal energy utilization in conventional, electric and hybrid vehicles and its application to eco-driving ».
9. Les résultats détaillés sont présentés dans : Mensing, F., Bideaux, E., Trigui, R., Ribet, J., & Jeanneret, B. (2014). *Eco-driving: An economic or ecologic driving style?* *Transportation Research Part C*, 38, 110-121.
10. Les images stéréoscopiques permettent de voir la scène en 3D. L'une des images correspond à ce qui est vu par l'œil droit et l'autre, légèrement différente, correspond à ce qui est vu par l'œil gauche. Ces légères différences entre les deux images donnent une impression de profondeur.
11. La plateforme eco-SiVIC est désormais présentée par la société CIVITEC (filiale ESI group) et une valorisation sous forme d'accord de licence est prévue en 2016 avec société.

# 6 FACILITER LA CIRCULATION DES CYCLISTES EN VILLE GRÂCE À LA SIMULATION

Par **Nadine Chaurand**,

Chargée de recherche – Département AME<sup>1</sup>, Laboratoire LPC<sup>2</sup>

et **Stéphane Caro**,

Ingénieur de recherche – Département COSYS<sup>3</sup>, Laboratoire LEPSIS<sup>4</sup>

La pratique du vélo comme moyen de transport présente des avantages reconnus. En effet, sur le plan de la santé individuelle, il permet une activité physique régulière supplémentaire. Sur le plan de la mobilité, le vélo permet des temps de trajet sur petites distances inférieurs à la voiture, il est plus facile à garer et diminue la congestion urbaine. De plus, sur le plan environnemental, le vélo est un moyen de transport écologique qui ne cause aucune pollution. En conséquence, des actions sont menées pour faciliter et encourager cette pratique, et le taux de cyclistes urbains a augmenté lentement au cours de la dernière décennie dans la plupart des pays développés.

Néanmoins, la pratique du vélo en ville nécessite des connaissances et savoir-faire spécifiques que les utilisateurs novices ne maîtrisent pas toujours quand ils se lancent dans cette pratique. En particulier, les cyclistes doivent rapidement évaluer les risques<sup>5</sup> pour choisir le comportement à vélo avec le meilleur taux bénéfices/risques. De plus, l'augmentation du nombre de cyclistes sur les routes entraîne des modifications de trafic et l'apparition de nouvelles situations. Ainsi, les autres usagers de la route doivent anticiper le comportement des cyclistes pour avoir des réactions adaptées, afin d'éviter les accidents. Il est donc capital, pour favoriser le développement du vélo et la sécurité de ses utilisateurs, de comprendre les comportements des cyclistes.

## Un manque d'outils de mesure

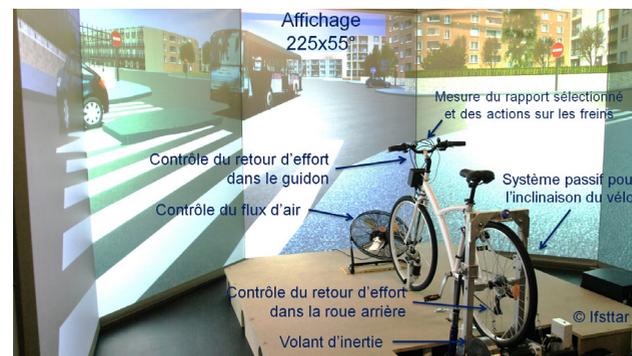
La plupart des travaux dans la littérature, sur l'activité de conduite des cyclistes, sont issus de données officielles ou de questionnaires. Or pour

de telles recherches, sur les comportements des cyclistes et les conflits potentiels avec les autres usagers de la route, il est nécessaire de pouvoir étudier le comportement effectif des cyclistes. Les recherches en milieu réel ne sont pas toujours appropriées du fait de leur coût, des biais liés aux variables non contrôlées et des risques encourus par les participants cyclistes.

La simulation présente alors un intérêt indéniable. En effet, un simulateur vélo permet de mettre les cyclistes en situation de conduite et de mesurer, avec précision, leurs comportements effectifs, tout en contrôlant les variables en jeu et en évitant les risques associés à un environnement réel.

## Le simulateur vélo de l'Ifsttar

Pour répondre à ce besoin, un simulateur vélo a récemment été développé dans le cadre d'une collaboration entre deux laboratoires de l'Ifsttar : le LEPSIS et le LPC. Plusieurs défis ont dû être relevés lors de sa conception pour assurer



▲ Image descriptive du simulateur vélo

aux participants une expérience la plus proche possible du réel et ainsi permettre le recueil de données fiables. Tout d'abord, la résistance des pédales à l'effort correspond à celle d'un vrai vélo et elle est adaptée à la pente de la route. Elle reproduit également l'inertie du vélo en termes de difficulté à démarrer et à s'arrêter. La sensation de vent étant particulièrement importante à vélo, le simulateur a été équipé d'un dispositif de ventilation qui varie en fonction de la vitesse adoptée par le participant.

L'évaluation du simulateur portera notamment sur le ressenti des participants, en termes de confort d'utilisation et d'immersion dans la simulation. Elle s'intéressera également à l'aspect comportemental, en termes de contrôle du vélo et de similarité aux comportements adoptés en situation réelle.

## Vidéo



▲ Vidéo de démonstration du simulateur vélo

## FACILITER LA CIRCULATION DES CYCLISTES EN VILLE GRÂCE À LA SIMULATION (SUITE)

### Pour de meilleures conditions de circulation

Après la validation du dispositif, le simulateur sera utilisé dans le cadre de différents axes de recherche. Un premier axe portera sur les déterminants environnementaux du comportement des cyclistes. Les études menées dans cet axe permettront :

➤ D'identifier les éléments de l'environnement que les cyclistes prennent en compte pour adapter leur comportement à l'environnement routier (vitesse, interdistances, etc.)<sup>6</sup>, et comment les cyclistes régulent leur conduite selon les usagers de la route avec lesquels ils interagissent<sup>7</sup> ;

➤ De définir les situations de conduite qui sont perçues comme les plus risquées, et de déterminer comment les cyclistes anticipent ces risques et quelles stratégies (équipements

ou comportements) ils mettent en œuvre pour y faire face ;

➤ D'étudier les erreurs de conduite et les comportements inadaptés à la situation adoptés par les cyclistes, et les facteurs environnementaux et personnels influençant l'apparition de ces comportements.

Un second axe de recherche, lancé ultérieurement, permettra de tester des outils de formation et de communication visant à promouvoir l'adoption de comportements plus adaptés par les cyclistes.

Dans leur ensemble, ces travaux contribueront à améliorer les conditions de circulation de cyclistes, en termes de confort et de sécurité, et à favoriser une cohabitation harmonieuse entre les cyclistes et les autres usagers de l'espace urbain.

1. AME : Département Aménagement, mobilité et environnement
2. LPC : Laboratoire de psychologie des comportements et des mobilités
3. COSYS : Département Composants et systèmes
4. LEPSIS : Laboratoire Exploitation, Perception, Simulateurs et Simulations
5. Chaurand, N., Delhomme, P. (2013). Cyclists and drivers in road interactions: A comparison of perceived crash risk. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 1176-1184.
6. Cho, G., Rodríguez, D. A., & Khattak, A. J. (2009). The role of the built environment in explaining relationships between perceived and actual pedestrian and bicyclist safety. *Accident Analysis & Prevention*, 41(4), 692-702.
7. Des travaux portant sur les interactions avec d'autres usagers, en particulier les conducteurs de bus, sont déjà en cours dans le cadre du projet ANR Cyclope.



Contenus textes  
réutilisables

Photo : Ifsttar

Lire l'ensemble du dossier thématique 2016 sur  
<http://www.ifsttar.fr/ressources-en-ligne/espace-science-et-societe/>



# L'IFSTTAR au carrefour de la SCIENCE et de la SOCIÉTÉ

Qu'apporte la science à notre société ?  
Découvrez les contributions des scientifiques  
dans les dossiers thématiques Ifsttar.



## Espace Science et Société

[www.ifsttar.fr/ressources-en-ligne/espace-science-et-societe/](http://www.ifsttar.fr/ressources-en-ligne/espace-science-et-societe/)



Dans une logique d'ouverture à la société, nous avons choisi d'apposer à nos textes la « Licence Creative Attribution - Partage dans les Mêmes Conditions 3.0 non transposé » (CC BY-SA 3.0) afin qu'ils puissent être partagés librement et réutilisés selon certaines conditions.

Service promotion et partage des savoirs scientifiques et techniques

Direction scientifique Ifsttar

25, avenue François Mitterrand,

Cité des mobilités, F-69675 Bron Cedex

[openexperience@ifsttar.fr](mailto:openexperience@ifsttar.fr)



**CE DOSSIER VOUS A PLU ?**

**+ de dossiers sur**



**Espace Science et Société**

[www.ifsttar.fr/ressources-en-ligne/espace-science-et-societe/](http://www.ifsttar.fr/ressources-en-ligne/espace-science-et-societe/)



**IFSTTAR**

INSTITUT FRANÇAIS  
DES SCIENCES  
ET TECHNOLOGIES  
DES TRANSPORTS,  
DE L'AMÉNAGEMENT  
ET DES RÉSEAUX



Date de publication : Février 2016

Photos, illustrations et vidéos : Ifsttar et Cerema  
Conception maquette : STDI (Charlène Gartion)  
Mise en page : STDI • Impression : Ifsttar

