



## Rapport final de l'ORSI I2V (2010-2014) **Impact des Informations Visuelles sur les comportements de conduite**

DUMONT Eric  
IDTPE  
Directeur adjoint du LEPSiS  
Téléphone : 33 (0)1 81 66 83 49  
eric.dumont@ifsttar.fr

CHARBONNIER Pierre  
DR  
Responsable de l'ERA 27  
Téléphone ; 33 (0)3 77 88 44 46  
pierre.charbonnier@cerema.fr

Date : 20 décembre 2014

Auteurs :

Eric Dumont, Ifsttar / CoSys / LEPSiS  
Pierre Charbonnier, Cerema / DTerEst / ERA 27  
Lara Désiré, Cerema / DTerOuest / ERA 33  
Philippe Foucher, Cerema / DTerEst / ERA 27  
Dominique Gruyer, Ifsttar / CoSys / LIVIC  
Valérie Muzet, Cerema / CoSys / ERA 27  
Florence Rosey, Cerema / DTerNC / ERA 34  
Jean-Philippe Tarel, Ifsttar / CoSys / LEPSiS  
Fabrice Vienne, Ifsttar / CoSys / LEPSiS

Nomenclature d'activité :

11KEP1, 11K101, 11S101, RPS2S10001, RP1S10001

*Eric Dumont, Ifsttar / CoSys / LEPSiS*

**Institut français des sciences et technologies des transports,  
de l'aménagement et des réseaux (Ifsttar)**

14-20 Boulevard Newton  
Cité Descartes, Champs sur Marne  
77447 Marne la Vallée Cedex 2  
Tél. : 01 81 66 83 49

*Pierre Charbonnier, Cerema / DTerEst / ERA 27*

**Centre d'Etudes et Recherches en Environnement,  
Matériaux et Aménagement (Cerema)**

11, rue Jean Mentelin  
Strasbourg-Koenigshoffen  
67035 Strasbourg Cedex 2  
Tél. : 03 88 77 46 44  
Fax : 03 88 77 46 20

*Remerciements*

*Les animateurs de l'opération de recherche I2V remercient la DSCR et la DGITM pour leur soutien, les directeurs techniques du LCPC et les animateurs d'axe de l'Ifsttar pour leur suivi, les collègues du SETRA et du CERTU pour leur implication, les membres du comité de suivi pour leurs lumières, et, naturellement, tous ceux qui ont contribué aux résultats présentés dans ce rapport.*

No. du rapport / Report No.	Date du rapport / Report Date 2014/12/20
No. du contrat ou de la subvention / Contract or Grant No. RP1S10001	Organisme financeur / Sponsoring Agency DSCR, DGITM
Titre / Title <b>Impact des informations visuelles sur les comportements de conduite</b>	
Auteur(s) / Author(s) <b>Dumont, E.<sup>1</sup> ; Charbonnier, P.<sup>2</sup></b>	
Organisme des auteurs / Performing Organization (1) IFSTTAR 14-20 Boulevard Newton Cité Descartes, Champs sur Marne 77447 Marne la Vallée cedex 2 (2) Cerema 11, rue Jean Mentelin Strasbourg-Koenigshoffen 67035 Strasbourg Cedex 2	
Notes supplémentaires / Supplementary Notes <b>Rapport final de l'Opération de Recherche Stratégique et Incitative I2V</b>	
Résumé / Abstract <p>L'opération de recherche I2V a été consacrée à l'étude de la prise d'informations visuelles dans l'environnement routier en situations de conduite. En effet, les études détaillées d'accident ont montré qu'une proportion significative des accidents corporels est liée à un problème de prise ou de traitement de l'information (essentiellement visuelle), conduisant à un comportement de conduite inadapté. Dans une approche durable de la sécurité routière, complémentaire du contrôle automatisé, l'enjeu principal est donc de rendre la route plus lisible par son environnement (aspect, configuration) et ses équipements (signalisation, éclairage), afin qu'elle incite ses usagers à un comportement plus sûr. Les objectifs étaient de développer les outils pour identifier et analyser les informations visuelles utiles à la conduite, et d'identifier des pistes d'amélioration de la lisibilité de la route.</p> <p>Les recherches ont été menées selon trois axes complémentaires visant respectivement à développer les outils d'analyse des informations visuelles (photométriques et sémantiques) offertes par la route et son environnement, à développer les outils d'observation de la stratégie visuelle des usagers de la route en situation réelle ou simulée, et à réaliser des expérimentations pour identifier les éléments visuels qui déterminent la perception de la vitesse maximale autorisée d'une part, et pour comprendre la stratégie visuelle des conducteurs en intersection d'autre part.</p> <p>Parmi les avancées scientifiques issues de ces recherches, on peut citer une méthode de quantification de la visibilité photométrique dans une scène complexe exploitant la fonction de sensibilité au contraste du système visuel humain (thèse de Karine Joulan, financée par Valéo), ainsi que la mise en évidence d'une typologie de la stratégie visuelle en traversée d'intersection selon le mode de priorité, avec deux processus sous-jacents dans la tâche de décision (thèse de Sophie Lemonnier). Les travaux ont également permis de mettre au point, de tester et de documenter deux chaînes d'acquisition et d'analyse de données pour l'étude de la stratégie visuelle des conducteurs, l'une en situation réelle (véhicule VOICIE) et l'autre en situation simulée (simulateur Ifsttar déployé au Cerema).</p> <p>Outre la publication d'articles dans des revues (&gt;11) et actes de conférences (&gt;25) internationales, les travaux de l'opération I2V ont permis de constituer des bases de données d'images routières renseignées (vérité terrain) qui sont mises à la disposition de la communauté de vision par ordinateur pour évaluer et comparer leurs algorithmes, et ils ont donné lieu au dépôt de plusieurs brevets (&gt;3). I2V a également accueilli plusieurs opérations de développement de matériels et de logiciels mlpc®, notamment le système pour le relevé et l'exploitation d'images routières IRCAN/IREVE. Enfin, les connaissances produites ont nourri le rapport du groupe de travail « route autrement pour une conduite apaisée » animé par la DTec-ITM du Cerema.</p> <p>Les perspectives sont d'exploiter les outils d'observation et d'analyse de la stratégie visuelle des conducteurs pour étudier la lisibilité de la route dans d'autres situations et conditions d'intérêt (e.g., la nuit).</p>	
Mots-clés / Keywords <b>Vision, visibilité, lisibilité, perception, comportement, conduite, simulation</b>	
Confidentialité / Security Classification <b>Non confidentiel</b>	Nb. de pages / Nb. of Pages <b>30</b>

# SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>Présentation .....</b>	<b>2</b>
1.1	Enjeux .....	3
1.2	Objectifs et démarche .....	3
1.3	Sujets de recherche .....	4
1.4	Participants.....	5
1.5	Contrats.....	6
<b>2</b>	<b>Synthèse des études et des recherches .....</b>	<b>8</b>
2.1	Caractérisation visuelle des scènes routières .....	8
2.2	Simulateurs et visionneuses des scènes routières.....	11
2.3	Prise d'information visuelle et comportement.....	14
<b>3</b>	<b>Conclusion générale.....</b>	<b>17</b>
<b>4</b>	<b>Principales productions .....</b>	<b>18</b>
4.1	Produits phares .....	18
4.2	Production de connaissances .....	21
4.3	Littérature grise .....	26
<b>5</b>	<b>Valorisation.....</b>	<b>27</b>
5.1	Brevets .....	27
5.2	Développement .....	27
5.3	Communication .....	27
5.4	Dissémination.....	27

### 1.1.1 Enjeux scientifiques

Les opérations de recherche Percevoir (2001-2004) et Visibilité et Sécurité Routière (2005-2008) du LCPC ont préfigurées l'opération I2V. Elles ont produit différents descripteurs de l'aspect visuel de la route (distance de visibilité géométrique, distance de visibilité nocturne, saillance de la signalisation) et ont contribué au développement des outils mlpc® pour les mesurer (Ecodyn, Coluroute, Cyclope, IRCAN & IREVE). Néanmoins, la question de l'évolution de certains de ces descripteurs entre deux auscultations reste posée, alors que des modèles d'évolution permettraient aux exploitants d'optimiser la planification de la rénovation de leur patrimoine (au même titre que pour les modèles d'évolution de l'adhérence). De plus, les descripteurs définis à ce jour sont généralement attachés à un objet routier particulier : luminance de la chaussée, visibilité du marquage, d'un panneau ou d'un obstacle. Il existe des descripteurs « intégrés » tels que l'Unité de Perception d'Itinéraire (UPI) et l'Unité de Perception Visuelle de l'Usager (UPVC), définis par le SETRA (aujourd'hui Cerema/DteciTM) pour analyser la lisibilité de la route et classer des portions d'itinéraires en fonction de leur impact sur le comportement de conduite. Ces descripteurs pourraient être déterminés par des techniques de traitement d'images numériques de la route, ce qui faciliterait le déploiement de la démarche Paysage et Lisibilité<sup>1</sup>.

Que ce soit pour déterminer les obstacles à la visibilité ou pour catégoriser l'environnement routier, la géométrie 3D de la scène routière constitue une donnée très utile, mais très difficile à obtenir. Deux solutions sont à envisager. La première, qu'on peut qualifier de bas-coût, a déjà été explorée dans les opérations Visibilité et Sécurité Routière (2005-2008) et Risque Routier (2005-2009), et offre encore des perspectives. Fondée sur la stéréoscopie, elle permet d'extraire des informations sur le profil de la chaussée, et quelques informations sur la position des objets sur les abords. La seconde solution repose sur la télémétrie laser. Elle nécessite un capteur dont le coût est très élevé, mais permet théoriquement de construire une maquette 3D complète de l'environnement. Son application à la reconstruction 3D de la route et de ses abords a été testée dans les projets VIZIR (PREDIT, 2006-2008) et DIVAS (ANR, 2007-2010) en collaboration avec Armines. On a ainsi identifié les difficultés de la reconstruction, principalement liées à la complexité des données recueillies. La collaboration avec l'IGN (institut national de l'information géographique et forestière) dans le projet iTowns (ANR, 2008-2010), qui visait à développer les outils de navigation virtuelle dans un environnement 3D « enrichi », a ouvert des perspectives intéressantes pour améliorer les outils de diagnostic que sont les visionneuses d'images routières telles que le logiciel mlpc® IREVE, mais aussi pour alimenter les études sur simulateur de conduite.

Il apparaît aujourd'hui, notamment au travers des travaux de l'AIPCR (association mondiale de la route) sur la prise en compte des facteurs humains en sécurité routière, que l'étude du lien entre l'aspect visuel de la route et le comportement des usagers repose principalement sur des dires d'experts. Plusieurs approches scientifiques sont envisageables pour aborder ce lien. La première fait appel à l'accidentologie, et a déjà fait ses preuves avec le logiciel AlertInfra, du moins pour ce qui concerne le risque induit par la géométrie de la route. La deuxième approche, en plein essor depuis l'étude pilote réalisée en 2004 aux États-Unis, est basée sur l'analyse d'un grand volume de données recueillies en situation réelle de conduite à l'aide de véhicules instrumentés (*naturalistic driving*). La troisième approche est la méthode expérimentale, qui consiste à étudier le comportement de conducteurs « témoins » dans des situations spécifiques. Pour cette dernière approche, les simulateurs de conduite s'avèrent extrêmement utiles et leur usage se répand dans les laboratoires publics et industriels. La capacité des simulateurs à restituer les déterminants de la visibilité a été améliorée dans le cadre de l'opération Visibilité et Sécurité Routière (2005-2008), justement pour pouvoir l'exploiter dans l'étude de l'impact d'informations visuelles sur le comportement des conducteurs. Néanmoins, la validité du simulateur de conduite pour l'étude du lien entre perception et comportement est trop rarement vérifiée, le minimum consistant à confronter les résultats obtenus sur simulateur avec des données terrain.

Enfin, que ce soit dans un simulateur ou dans un véhicule instrumenté, le développement de l'oculométrie (mesure de la direction du regard) a ouvert de nouvelles perspectives dans l'identification et l'analyse des informations visuelles qui déterminent le comportement des usagers de la route. Mais des études passées mettant en œuvre cet outil ont montré que l'exploitation des données oculométriques et leur corrélation avec le flux optique produit par le déplacement de l'usager dans l'environnement routier est une tâche complexe, pour laquelle les outils d'analyse restent à développer.

---

<sup>1</sup> Guy D. et Saingenest P. Mémento lisibilité. Rapport d'étude du SETRA, réf. 0650w, octobre 2006.

## 2 Présentation

### 2.1 Enjeux

#### 2.1.1 Enjeux sociétaux

La perception et la compréhension de l'environnement routier par ses usagers conditionnent fortement la sécurité des déplacements : l'analyse des accidents a montré qu'en France, l'infrastructure est impliquée dans environ 25% des accidents, et que près de 40% des accidents sont liés à un problème de prise ou de traitement de l'information par le conducteur<sup>2</sup>. L'étude des relations entre le contexte visuel routier et le comportement qu'il induit chez le conducteur constitue donc un domaine de recherche riche de problématiques mais relativement peu exploré, alors qu'il présente un réel enjeu sociétal. Utiliser des techniques innovantes et économiques pour mettre les routes et les rues en adéquation avec leurs usages constitue en effet une approche durable de la sécurité routière, qui complète le contrôle automatisé dans la démarche de « route apaisée ». La route doit être lisible : son environnement (aspect, configuration) et son équipement (signalisation, éclairage) doivent « guider » l'usager en lui indiquant naturellement un comportement plus sûr (vitesse) et si possible moins consommateur d'énergie (accélération).

### 2.2 Objectifs et démarche

L'opération I2V visait à identifier, mesurer et restituer les informations visuelles qui déterminent le comportement des usagers de la route dans différentes situations de conduite (en l'occurrence, l'approche d'intersections en rase-campagne et de zones de transition). On s'est intéressé aux caractéristiques géométriques et photométriques de la route et de la signalisation, mais également aux caractéristiques sémantiques de l'environnement routier (type de route, nature des abords, limites de vitesse, zones de transition, etc.). L'éclairage et la signalisation, supports principaux de transmission d'informations de la route à ses usagers, ont constitué des objets d'étude particuliers.

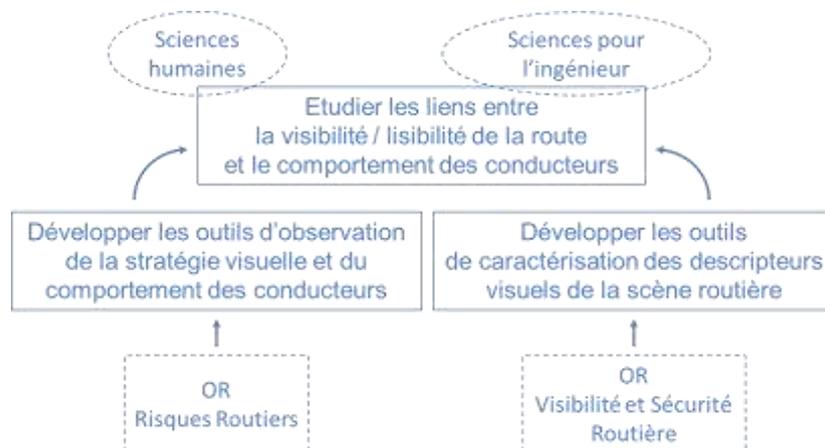


Figure 1. Démarche mise en œuvre dans l'opération I2V pour développer les outils et connaissances nécessaires à l'amélioration de la lisibilité routière.

L'objectif était de développer des outils et des connaissances contribuant à l'amélioration de la lisibilité de la route. La démarche mise en œuvre est schématisée dans la Figure 1 :

- développer et qualifier les outils de recueil et d'exploitation des descripteurs de la visibilité et de la lisibilité de la route,
- spécifier et mettre en place des outils de recueil de la stratégie visuelle et du comportement des usagers de la route,
- identifier les liens entre les descripteurs de la visibilité/lisibilité routière et le comportement des usagers.

<sup>2</sup> Cavallo V. et Berthelon C. Facteurs perceptifs dans les activités de transport. Actes INRETS n°82, 2001.

Pour relier les informations visuelles et le comportement, l'opération I2V a fait le lien entre les sciences pour l'ingénieur (photométrie, vision, traitement d'images) et les sciences humaines (perception, psychologie). Les résultats obtenus ont également nécessité la mobilisation de diverses compétences techniques opérationnelles (métrologie, analyse de données, constitution de bases de données, informatique graphique).

## 2.3 Sujets de recherche

### 2.3.1 Caractérisation visuelle des scènes routières

#### *Photométrie des surfaces routières (approche objet)*

Animé par Valérie Muzet (Cerema, DTerEst, ERA 27), ce sujet a accueilli les travaux sur la caractérisation photométriques des surfaces routières dans différentes conditions d'éclairage, et notamment les opérations de développement Coluroute 2 (appareil portable de mesure du coefficient de luminance des revêtements de chaussée) et Ecodyn III (appareil à grand rendement de mesure du coefficient de luminance rétro réfléchie des marquages routiers). Il a également été le lieu d'échange avec les études et recherches en éclairage public pilotées par la DTecTV du Cerema.

#### *Visibilité de la scène routière (approche scène)*

Animé par Philippe Foucher (Cerema, DTerEst, ERA 27), ce sujet a accueilli les travaux sur la caractérisation de l'offre de visibilité sur des itinéraires routiers dans différentes conditions d'éclairage, et notamment la mise au point des outils d'analyse du signal visuel enregistré par la caméra étalonnée en luminance embarquée dans le véhicule Cyclope de la DTerOuest (ERA 17) du Cerema, ainsi qu'une thèse financée par Valéo sur le calcul de la carte des contrastes visibles par le conducteur dans la scène routière.

### 2.3.2 Simulateurs et visionneuses de scènes routières

#### *Visualisation et analyse avancée de scènes routières*

Animé par Jean-Philippe Tarel (Ifsttar, CoSys, LEPSiS), ce sujet a accueilli les travaux visant à améliorer les outils d'extraction d'informations sémantiques de la scène routière, de la signalisation et de l'environnement dans la scène routière, et notamment les opérations de développement IRCAN et IREVE (le système d'imagerie routière par caméra numérique et son logiciel d'exploitation).

#### *Simulation de scènes routières*

Animé par Fabrice Vienne (Ifsttar, CoSys, LEPSiS) et Dominique Gruyer (Ifsttar, CoSys, LIVIC), ce sujet a accueilli les travaux visant à développer les outils de simulation visuelle de l'environnement routier pour les conducteurs et les aides à la conduite, et à déployer un simulateur de conduite dédié à l'étude de l'influence de l'aménagement de la route sur le comportement des conducteurs.

### 2.3.3 Perception visuelle et comportement

#### *Informations visuelles « utiles »*

Animé par Lara Désiré (Cerema, DTerOuest, ERA 33), ce sujet a accueilli les travaux sur la prise d'information visuelle des conducteurs dans différentes situations de conduite, qui ont donné lieu à des expérimentations en situations réelles et simulées d'approche de carrefours et d'approche de zones de transition, notamment pour une thèse sur le lien entre les patterns oculométriques et les processus cognitifs liés à la tâche de conduite, ainsi qu'une étude sur l'apport des descripteurs de l'offre de visibilité routière dans l'analyse détaillée d'accidents.

#### *Informations visuelles et vitesse*

Animé par Florence Rosey (Cerema, DTerNC, ERA 34), ce sujet a accueilli les travaux visant à identifier les éléments de la scène routière qui permettent aux conducteurs de déterminer la vitesse limite autorisée.

## 2.4 Participants

### 2.4.1 Unités participantes de l'Ifsttar

#### *CoSys / LEPSiS*

Le Laboratoire Exploitation, Perception, Simulateurs et Simulations (département Composants & Systèmes) rassemble des compétences interdisciplinaires pour étudier l'homme dans son déplacement, en vue de favoriser l'émergence de solutions innovantes permettant d'améliorer l'efficacité et la sécurité du système de transport routier.

#### *CoSys / LIVIC*

Le Laboratoire sur les Interactions Véhicule-Infrastructure-Conducteur (département Composants & Systèmes) a pour missions de développer ou contribuer au développement de systèmes d'assistance à la conduite visant à améliorer la sécurité et la mobilité routières, favoriser l'accessibilité de la conduite aux personnes à mobilité réduite et réduire l'impact environnemental des véhicules.

#### *CoSys / SII*

Le laboratoire Structures et Instrumentation Intégrée (département Composants & Systèmes) a pour vocation de mener des recherches faisant appel aux domaines des STIC (Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication) et SPI (Sciences Pour l'Ingénieur). Ces recherches contribuent à l'émergence de nouvelles méthodes de monitoring, diagnostic, détection de défauts appliquées aux structures et infrastructures au sens large (routières, ferroviaires, EMR, bâtiments, réseaux, etc.).

#### *TS2 / LMA*

Le Laboratoire Mécanismes d'Accidents (département Transport, Santé et Sécurité) développe des recherches issues directement de l'analyse des données accidentologiques et l'étude, toujours plus en amont, des éléments du système routier qui interviennent dans la genèse des accidents de la route.

### 2.4.2 Unités participantes du Cerema

#### *DTerOuest / DLRCA / ERA 17*

L'équipe de recherche associée 17 (techniques physiques avancées pour l'exploitation et la sécurité routières) conduit des travaux de recherches orientés principalement sur le développement d'outils matériels et algorithmiques et de méthodes dans les domaines suivants :

- l'optique, l'opto-électronique, la photométrie et la colorimétrie, l'imagerie pour les études sur la vision des usagers de la route (vision routière) ;
- l'électromagnétique, l'électronique et le traitement de signal pour les capteurs routiers et les systèmes de contrôle automatique.

#### *DTerEst / LRS / ERA 27*

L'équipe de recherche associée 27 (méthodes optiques) applique des méthodes optiques et des techniques d'analyse d'image à l'auscultation au génie civil et à l'exploitation des infrastructures routières. Elle développe de nouvelles méthodes de contrôle non destructif et d'analyse des scènes routières.

#### *DTerOuest / DLRB / ERA 33*

L'équipe de recherche associée 33 (comportement de l'utilisateur et infrastructure) mène des études et des recherches en sciences humaines sur les interactions entre le comportement de l'utilisateur et l'infrastructure routière.

#### *DTerNC / DITM / ERA 34*

L'équipe de recherche associée 34 (accidentologie, trajectographie et risques routiers) étudie les mécanismes d'interactions entre l'infrastructure, le conducteur et le véhicule par l'observation de l'accidentologie et des trajectoires afin de proposer aux gestionnaires de voirie des méthodes et des outils d'analyse de l'infrastructure et

des pistes de solutions pour améliorer la sécurité de l'usager, et de fournir des données de terrain pour le calage ou l'amélioration des expérimentations en simulateurs.

#### *DTerMed / DAT / SARTU*

Le Service Aménagement Réseaux et Transports Urbains (Département Aménagement du Territoire) est partenaire et prestataire en ingénierie de la mobilité durable. Ses domaines d'intervention incluent l'éclairage et la sécurité des déplacements. Il intègre le pôle de compétence et d'innovation « interface transports collectifs et voirie ».

#### *DTerOuest / DLRCA / CECF*

Le Centre d'Etude et de Conception de Prototypes d'Angers dispose de compétences spécialisées en développement de matériels innovants fondé sur des savoir-faire multidisciplinaires et une expérience reconnue, acquise de longue date, ce qui lui permet de valoriser la recherche réalisée au sein du RST (réseau scientifique et technique) en développant et en diffusant les méthodes et les matériels d'essai qui en résultent.

### 2.4.3 Comité de suivi

Dès le début de l'opération I2V, un comité de suivi a été constitué en sollicitant des experts dans et hors du réseau scientifique et technique, afin de porter annuellement un regard critique sur l'avancement des travaux et de favoriser la dissémination des résultats. Les membres de ce comité sont les suivants :

- Pierre Anelli, Aximum : représentant du Syndicat des Equipements de la Route.
- Cyril Chain, Cerema : représentant de la DTecTV.
- Xavier Cocu, Centre de Recherches Routières belge : représentant du FEHRL.
- Marie-Line Gallenne, Ifsttar : directrice technique référente.
- Eric Locquet, Egis : expert en conception routière.
- Marie Ripoché, Cerema : représentante de la DTecITM.
- Lionel Patte, Cerema : expert en exploitation et sécurité routière.

## 2.5 Contrats

### 2.5.1 Projets financés par l'ANR (agence nationale pour la recherche)

#### *DIVAS (2007-2010)*

L'objectif du projet DIVAS (dialogue infrastructure-véhicule pour améliorer la sécurité routière), piloté par le LCPC, était de bâtir une conception globale de système d'échanges infrastructure-véhicules efficace en termes de sécurité routière, et d'en préparer le déploiement en examinant toutes les conséquences, notamment en termes technologiques mais aussi sur les plans de la crédibilité et de l'acceptabilité.

#### *iTowns (2008-2011)*

L'objectif du projet iTowns<sup>3</sup>, piloté par l'IGN, était de définir et de déployer le prototype d'une nouvelle génération d'outils web multimedia associant un explorateur géographique 3D à grand débit basé sur l'image avec un moteur de recherche basé sur l'image. Le projet visait spécifiquement à exploiter l'imagerie à haute résolution et haute densité spatiale acquise au niveau de la rue. Les défis ont consisté à naviguer librement dans le flux d'images, à extraire automatiquement des caractéristiques dans les images, dont les signalisations routières, et à exploiter ces caractéristiques pour fournir des données sémantiques de haut niveau.

### 2.5.2 Projets financés par le FUI (fond unique interministériel)

#### *E'MOTIVE (2008-2011)*

Le projet E'MOTIVE (*environment modeling for perceptive intelligent vehicles*), piloté par LMS Imaging, visait à :

---

<sup>3</sup> <http://www.itowns.fr/about.html>



- développer un simulateur de systèmes de détection permettant de substituer une vérité « simulée » à une vérité « terrain » lors de la mise au point et de la validation d'algorithmes de détection utilisant des capteurs extéroceptifs (caméras, radars, laser, etc.) ;
- interfacier ce simulateur à des logiciels de modélisation système et à des logiciels de modélisation de la commande pour soit tenir compte de la dynamique véhicule sur le positionnement des capteurs et le fonctionnement des algorithmes de détection, soit mettre au point ou valider des ADAS (systèmes intelligents d'aide à la conduite) ;
- utiliser ce simulateur pour tester et valider numériquement les futurs systèmes d'aide à la conduite et aller vers la certification de ces systèmes sur base numérique à l'identique de ce qui se fait pour les crash-tests automobiles.

### *SAGILLIS (2009-2012)*

Le projet SAGILLIS (*safe and green intelligent LED lighting system*), piloté par Valéo, visait à étudier la faisabilité d'un système d'éclairage intelligent à LED maximisant en toute circonstance la quantité de lumière projetée sur la route sans pour autant éblouir les conducteurs des véhicules croisant ou suivis. *ff* Doté de plusieurs LED pouvant être allumées ou éteintes à la demande, le projecteur adaptera en permanence le faisceau émis à la situation de roulage et ce en fonction d'informations fournies par une caméra associée à un système de traitement d'images.

### 2.5.3 Autres contrats

#### *Contrat entre l'Ifsttar et Valéo (2010-2013)*

La thèse de Karine Joulan, dirigée à l'Ifsttar par R. Brémond et N. Hautière, a été financée par Valéo dans le cadre d'un contrat de recherche. L'objectif de la thèse était de proposer des outils d'analyse d'images temps-réel permettant, à l'aide d'une caméra embarquée dans le véhicule, d'estimer la visibilité disponible pour le conducteur, en vue de développer des aides à la conduite prenant en compte les capacités de perception du conducteur. Elle a débouché sur plusieurs brevets.

#### *Contrat entre l'Ifsttar, le Cerema/Dter Est (ex-CETE de l'Est) et Vectra (2013-2014)*

Le contrat post-doctoral de Houssam Halmaoui, encadré à l'ERA 27 par P. Foucher et P. Charbonnier, suivi à l'Ifsttar par J.-P. Tarel et chez Vectra par L. Aucante, a fait l'objet d'un co-financement par les trois partenaires. Il a contribué au développement d'un outil logiciel d'analyse et d'exploitation des mesures de la qualité des marquages routiers, associé à l'appareil mlpc® Ecodyn, dans le cadre de l'industrialisation d'un brevet déposé par l'Ifsttar dans le cadre de l'opération I2V.

## 3 Synthèse des études et des recherches

### 3.1 Caractérisation visuelle des scènes routières

#### 3.1.1 Caractérisation photométrique des surfaces routières

L'environnement visuel des usagers de la route est entièrement déterminé par les conditions d'éclairage et les propriétés photométriques des surfaces présentes dans la scène. La caractérisation photométrique d'une surface consiste à déterminer la quantité de lumière réfléchie par cette surface dans différentes directions d'observation en fonction des conditions d'éclairage : éclairage naturel le jour, éclairage artificiel de nuit. Il est indispensable de connaître ces propriétés pour évaluer précisément les performances des équipements de la route en terme de visibilité, en vue d'optimiser leur dimensionnement et leur entretien, mais également pour optimiser les systèmes d'éclairage, que ce soit les installations d'éclairage public ou les systèmes d'éclairage automobile. Dans le cadre de l'opération I2V, nous nous sommes intéressés aux revêtements de chaussées et aux marquages.

La fonction de distribution de réflectance bidirectionnelle (BRDF en anglais), qui caractérise la réflexion d'une surface, est une fonction de 4 angles (2 pour la direction d'incidence de la lumière et 2 pour la direction de réflexion) qui est relativement lourde à mesurer, notamment pour des surfaces routières dont la macrotecture implique une surface de mesure de plusieurs cm<sup>2</sup>. L'Ifsttar est équipé d'un goniorélectromètre unique en son genre car il permet de réaliser cette mesure en laboratoire dans des gammes d'angle allant jusqu'à 85° en incidence et 89° en réflexion. Dans le cadre du projet FUI E'MOTIVE, nous avons développé une méthode permettant de compléter les données de mesure dans les directions non mesurées (angles rasants et rétro-réflexion), et de les tabuler pour faciliter leur exploitation dans les logiciels de calcul et de simulation d'éclairage [Tab. 6, ligne 17]. Afin de faciliter sa diffusion et son évaluation, l'outil a été développé sous la forme d'un script pour le logiciel libre et multiplateforme Scilab.

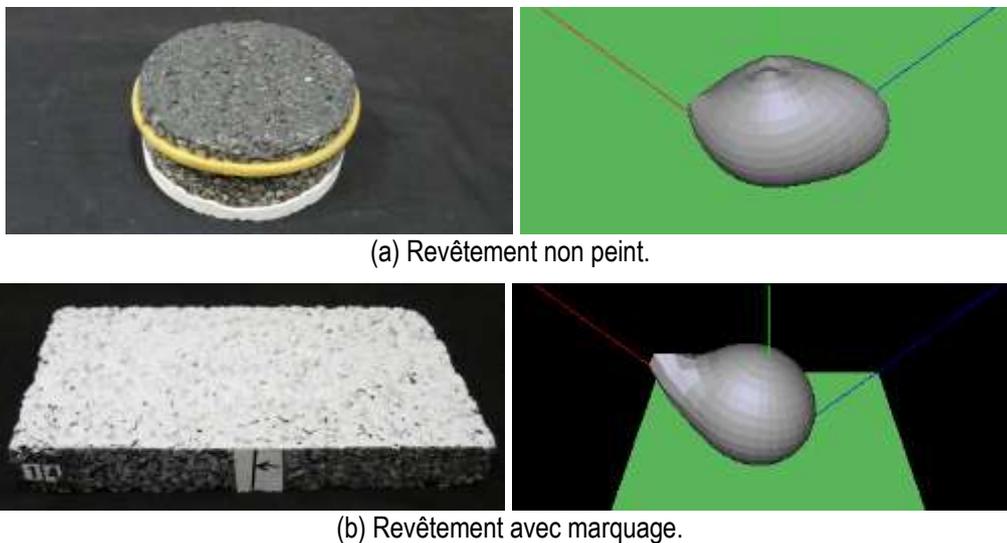


Figure 2. Echantillons de revêtement de chaussée (à gauche) et leurs BRDF mesurées, complétées et tabulées (à droite), pour un éclairage à 45° (en rouge).

En normalisant les angles d'incidence et de réflexion, il est possible de réduire la complexité de la BRDF pour caractériser les surfaces dans des conditions particulières d'éclairage et d'observation. Ainsi, pour l'éclairage public, la CIE (commission internationale de l'éclairage) a fixé l'angle d'observation à 1° par rapport à l'horizontale, ce qui permet de caractériser le revêtement par une matrice de valeurs appelée la table-r. Le Cerema dispose d'un goniorélectromètre dédié à la mesure de telles tables en laboratoire (à Clermont-Ferrand), et a développé en partenariat avec l'Ifsttar un goniorélectromètre transportable baptisé COLUROUTE qui permet de réaliser la mesure sur le terrain, de manière non destructive. Le développement d'une version améliorée de

cet appareil a été initié en partenariat avec le CETU (centre d'étude des tunnels). Comparé à la version d'origine, le nouveau prototype, dont la livraison est prévue pour 2015, sera plus robuste grâce à des LEDs intégrées qui remplacent la source lumineuse externe reliée par un réseau de fibres optiques, et intégrera des points de mesure supplémentaires pour l'éclairage en tunnel et pour les incidences rasantes. Il permettra en outre d'étudier d'autres géométries d'observation (notamment zénithale) en connectant un capteur à la place d'une des sources.



Figure 3. Prototype du goniorélectromètre transportable COLUROUTE2 (à gauche), permettant une mesure en observation zénithale (à droite).

Pour la signalisation horizontale, les géométries de mesure sont fixées par la norme EN 1436. En condition d'éclairage automobile, un seul point de mesure est nécessaire, avec un angle d'incidence de  $1,24^\circ$  et un angle de rétro-réflexion de  $2,19^\circ$  par rapport à l'horizontale. L'appareil mlpc® Ecodyn, développé et exploité par le RST (réseau scientifique et technique du ministère de l'équipement), permet de réaliser cette mesure à grand rendement. En partenariat avec la société Vectra, nous avons développé la 3<sup>ème</sup> génération de l'appareil et breveté (cf. 6.1) son utilisation pour imager les marquages, ce qui permettra de déterminer automatiquement leur type par reconnaissance de forme en même temps que leur performance de rétro-réflexion.

### 3.1.2 Caractérisation de la visibilité photométrique dans une scène routière

C'est grâce à la lumière qui est émise par les sources d'éclairage, réfléchiée par les surfaces et captée par les yeux du conducteur, que celui-ci perçoit la scène routière dans laquelle il se déplace. La distribution de luminance et de chrominance dans son champ de vision forme une « image » qui constitue le signal visuel dans lequel il va trouver, en analysant les contrastes, les informations qui lui permettent d'adapter son comportement. La visibilité photométrique dépend essentiellement de la capacité du système visuel humain à discerner les écarts de luminance.

La réponse des cellules de la rétine change en fonction du niveau lumineux ambiant, mais pas de manière instantanée : le système visuel met un certain temps pour s'adapter, particulièrement lors du passage d'une ambiance claire à une ambiance obscure. Nous avons développé une méthode d'analyse du signal visuel intégrant un modèle d'adaptation de la réponse des photorécepteurs de l'œil afin de cartographier à tout instant les zones de la scène routière dans lesquelles les luminances sont trop faibles (zone « sous-exposée ») ou trop fortes (zone « surexposée ») pour que des contrastes y soient visibles. Cette méthode a été déployée à l'aide du véhicule instrumenté Cyclope, équipé d'un système d'imagerie à haute dynamique utilisant 2 caméras étalonnées en luminance [Tab 11, ligne 12]. Elle a été mise en œuvre pour quantifier les problèmes d'éblouissement intermittent par le soleil sur une route forestière pour un gestionnaire luxembourgeois.

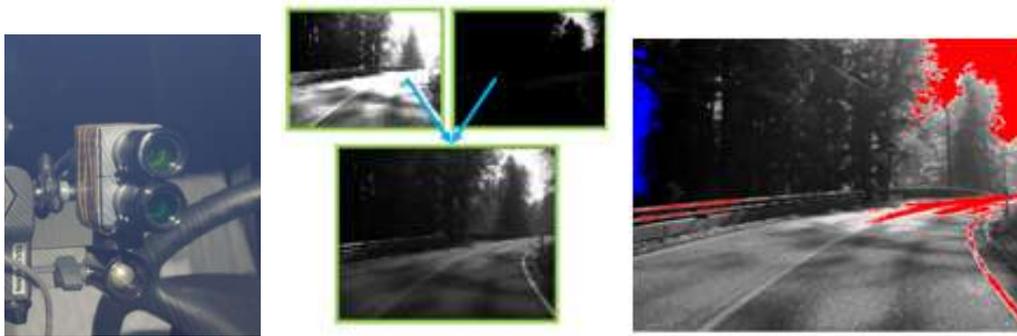


Figure 4. Imagerie haute dynamique de la scène routière (au centre) par les 2 caméras étalonnées en luminance du système CYCLOPE<sup>HDR</sup> (à gauche), et cartographie des zones d'éblouissement du système visuel (à droite).

Lorsqu'il est ébloui, l'usager de la route subit une gêne objective induite par une modification du seuil de perception du contraste qui a pour effet de réduire la visibilité photométrique, et une gêne subjective qui se manifeste par un inconfort plus ou moins supportable susceptible de modifier sa stratégie visuelle. Dans le cadre du projet FUI SAGILLIS, nous avons intégré les modèles de calcul de ces deux types d'éblouissement (qui dépendent de l'âge de l'observateur). Le logiciel développé permet d'analyser une image en luminance de la scène routière pour cartographier l'effet de l'éblouissement perturbateur (avant de cartographier la visibilité photométrique) et le niveau d'éblouissement inconfortable ressenti en présence de sources lumineuses [Tab. 13, ligne 2].

Pour évaluer la visibilité photométrique d'un objet, la CIE (commission internationale de l'éclairage) recommande d'utiliser le niveau de visibilité, défini comme le ratio entre le contraste de l'objet et le contraste minimal visible. La mise en œuvre opérationnelle de cet indicateur se heurte à la difficulté de définir le contraste d'un objet lorsque ni sa luminance, ni celle du fond sur lequel il doit être visible, ne sont homogènes, ce qui est courant dans les scènes routières. Dans le cadre de la thèse de K. Joulan, financée par la société Valéo, nous avons introduit et validé par des expérimentations psychovisuelles le concept de contours visibles, basé sur la fonction de sensibilité du contraste du système visuel [Tab. 6, ligne 19]. Nous avons développé un logiciel d'analyse d'images en luminance permettant de cartographier les contours visibles dans une scène. Deux brevets exploitant ce concept pour des aides à la conduite ont été déposés (cf. 6.1).

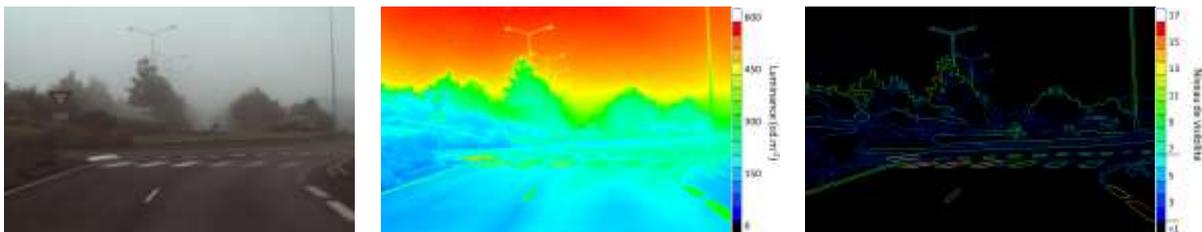


Figure 5. Cartographie des contours visibles (à droite) à partir d'une image en luminance (au centre) de la scène routière (à gauche) acquise avec le système CYCLOPE.

Le niveau de visibilité seul ne permet pas de garantir qu'un objet sera vu. En effet, il caractérise la visibilité photométrique localement. Mais dans une scène complexe, l'attention de l'observateur peut être détournée par des éléments qui, par leurs caractéristiques de contraste, de couleur ou de mouvement, sont plus « saillants » dans la scène. Il existe des modèles attentionnels permettant de calculer la carte de saillance associée à une scène routière, mais leur mise en œuvre en condition de déplacement impose de s'affranchir du mouvement propre de l'observateur. Nous avons donc intégré une technique d'odométrie visuelle afin de segmenter les objets mobiles dans le champ visuel de la caméra, ce qui nous permet de prendre en compte le mouvement, en plus du contraste et de la couleur, dans l'estimation de la saillance attentionnelle en situation de conduite.



Figure 6. Paire de caméras calibrée géométriquement du système CYCLOPE<sup>2</sup> (à gauche), et résultat de segmentation des objets mobiles (en rouge) dans l'image de la scène routière (à droite).

## 3.2 Simulateurs et visionneuses des scènes routières

### 3.2.1 Visualisation et analyse avancée de scènes routières

Le système d'acquisition IRCAN (Imagerie Routière par Caméra Numérique) et le logiciel d'exploitation associé IREVE (Imagerie Routière, Etalonnage, Visualisation, Exploitation), dont nous avons qualifié la version stéréo, ont été développés par le RST pour relever à grand rendement des images numériques de l'environnement visuel des usagers de la route le long d'itinéraires, à des fins de gestion du patrimoine ainsi que d'exploitation et de sécurité. Grâce à l'étalonnage géométrique du système d'acquisition, le logiciel permet de mesurer dans les images la position et les dimensions d'éléments d'intérêt tels que la chaussée, la signalisation horizontale, la signalisation verticale et les obstacles sur accotement.

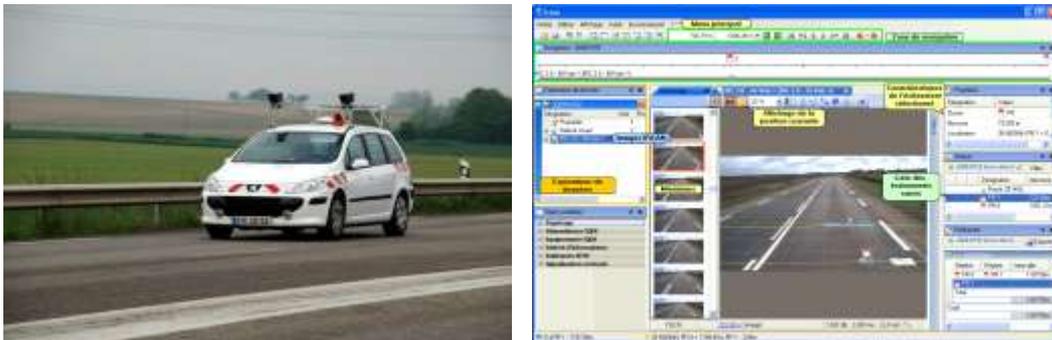


Figure 7. Systèmes d'acquisition et d'exploitation d'images routières pour le diagnostic de visibilité et de lisibilité : IRCAN stéréo (à gauche) et IREVE (à droite).

Afin de faciliter la tâche des opérateurs du logiciel IREVE, nous avons intégré une bibliothèque de fonctions de détection de lignes issue de recherches antérieures en vision par ordinateur. Un simple clic suffit désormais pour déterminer la largeur de la chaussée et la distance d'un objet par rapport au bord de la chaussée ou, avec des résultats plus robustes, par rapport au marquage en rive [Tab. 11, ligne 9].

Qu'elle soit verticale (panneaux) ou horizontale (marquages), la signalisation constitue une source d'information primordiale pour les usagers de la route. Nous avons donc poursuivi les recherches sur la détection et la reconnaissance automatiques de la signalisation [Tab. 11, ligne 2]. Nous avons porté un effort particulier, notamment dans le cadre du projet ANR iTowns, sur l'évaluation des outils développés à l'aide de vérités-terrain (cf. section 5.1.1) constituées d'images de scènes routières dans lesquelles la position et le type de la signalisation a été renseigné manuellement à l'aide du logiciel Safor.

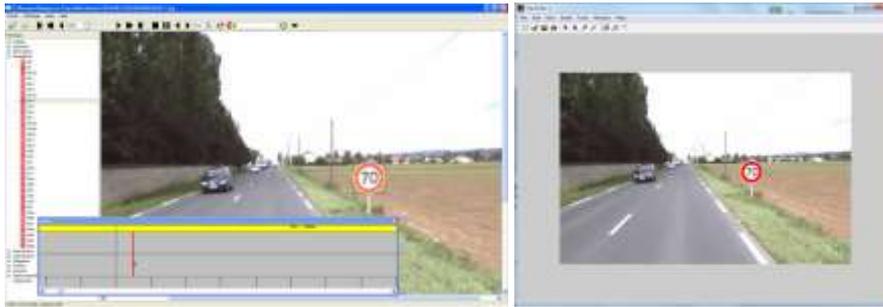


Figure 8. Le logiciel Safor (à gauche) permet de constituer une vérité-terrain pour évaluer la détection des panneaux ; dans la séquence illustrée, 97% des panneaux de prescription sont correctement détectés (à droite).

Les travaux passés sur la lisibilité de la route ont montré l'importance de la cohérence des informations visuelles dans le champ visuel des conducteurs : il y a un risque pour que la signalisation, notamment celle qui concerne les vitesses maximales autorisées, ne soit pas prise en compte si elle est en contradiction apparente avec l'environnement de la route<sup>4</sup>. Nous avons donc exploré la caractérisation automatique, par analyse d'images, de l'environnement de la route. Nous avons montré qu'il était possible, grâce à une méthode de classification basée sur l'apprentissage, de segmenter automatiquement un itinéraire en sections urbaines et rurales. Nous avons également mis en évidence, en examinant les erreurs de classification, le potentiel d'un tel outil pour détecter des sections sur lesquelles la vitesse maximale autorisée est susceptible de ne pas être respectée [Tab. 6, ligne 34].

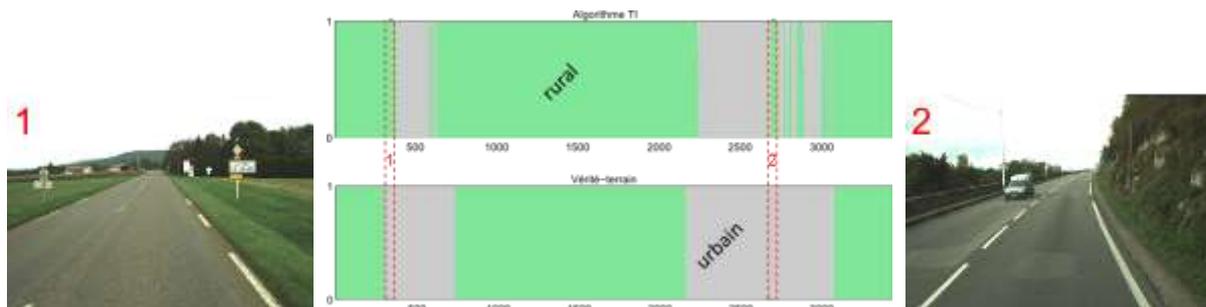


Figure 9. Exemple de résultat de segmentation automatique (en haut) d'un itinéraire selon la nature urbaine (en gris) ou rurale (en vert) de l'environnement de la route, et exemples d'incohérences (en rouge) par rapport à la vitesse maximale autorisée (en bas).

### 3.2.2 Simulation de scènes routières

Pour étudier la perception visuelle de l'infrastructure routière par le conducteur, et plus largement par l'entité en charge de la conduite si on tient compte des systèmes embarqués qui « voient » eux aussi la route par l'intermédiaire de caméras, la simulation offre des avantages indéniables, au premier rang desquels on peut placer le contrôle des variables étudiées et la reproductibilité des conditions expérimentales, sans parler de la possibilité de comparer différentes solutions d'aménagement avant leur mise en œuvre. L'Ifsttar a développé plusieurs plateformes de simulation afin d'observer les comportements du conducteur ou d'évaluer les aides à la conduite dans différentes situations.

La plateforme SiVIC (Simulation des interactions entre le véhicule, l'infrastructure et le conducteur) a été développée par l'Ifsttar pour tester les algorithmes de perception et de contrôle des aides à la conduite en tenant compte des perturbations subies par les capteurs embarqués dans l'environnement du véhicule [Tab. 1, HDR D. Gruyer]. Dans le cadre du projet FUI E'MOTIVE, nous avons étendu les fonctionnalités de SiVIC en intégrant des modules de rendu permettant de simuler les imperfections des caméras (qu'elles soient d'origine optique ou électronique), les imperfections des surfaces de la scène routière (liées à l'usure des marquages ou à la BRDF de la chaussée) et certaines conditions lumineuses ou météo défavorables (e.g. éblouissement) [Tab. 6,

<sup>4</sup> Guy D. et Saingenest P. Mémento lisibilité. Rapport d'étude du SETRA, réf. 0650w, octobre 2006.

ligne 21]. Même si I2V adressait avant tout les caméras, les capteurs électromagnétiques ont aussi été abordés dans le cadre de la thèse de S. Pechberti, qui a porté sur les radars et les télécommunications. En outre, dans le cadre du projet ANR DIVAS, nous avons développé une architecture distribuée afin de pouvoir tester des systèmes coopératifs, partageant des informations issues du véhicule et de l'infrastructure pour estimer, notamment, la visibilité mobilisable.



Figure 10. Images générées par des caméras embarquées en condition de nuit (à gauche) ou de jour (à droite), simulées avec la plateforme SIVIC.

La plateforme DR2, associée à l'architecture ArchiSim, est le fruit des recherches de l'Ifsttar sur la simulation de conduite dédiée à l'étude du comportement du conducteur, particulièrement en interaction avec les autres usagers. Nous avons intégré de nouvelles fonctionnalités sur cette plateforme, notamment le rendu à haute dynamique lumineuse (HDR en anglais) indispensable pour simuler les conditions de circulation nocturne, ce qui a permis d'évaluer différents dispositifs d'éclairage et de signalisation dans le cadre de projets tels que PREDIT LUCOS et FP7 INROADS. Nous avons également déployé la plateforme sur un simulateur de conduite « bas-coût » (sans cabine ni restitution du mouvement) au Cerema, et nous avons ébauché un guide méthodologique dédié à l'exploitation de ce simulateur pour des études de lisibilité routière. Nous avons notamment analysé le processus d'élaboration et de mise en œuvre de plans expérimentaux, ce qui nous a conduit à formuler des recommandations pour une meilleure prise en compte de l'avis et du ressenti des sujets [Tab. 12, ligne 1]. Enfin, nous avons réalisé plusieurs maquettes virtuelles d'itinéraires ou d'aménagements routiers, pour étudier le comportement des conducteurs en zones de transition ou pour évaluer un aménagement conçu selon les préceptes de la démarche « paysage et lisibilité ».



Figure 11. Simulateur de conduite Ifsttar déployé au Cerema pour les études de lisibilité de la route (à gauche) ; maquette virtuelle de la RD 786 utilisée pour étudier le comportement de conduite en zones de transition (à droite).

Dans le cadre de la thèse de V. Faure sur la validité des simulateurs, nous avons comparé la charge mentale en conduite réelle et simulée. Nous avons mené une série d'expérimentations qui nous permis successivement de vérifier la pertinence de la fréquence de clignement des yeux (mesurée avec un oculomètre) comme indicateur de la charge mentale, de montrer que la charge mentale est plus forte en conduite simulée qu'en conduite réelle, et d'identifier une configuration de projection visuelle qui optimise la charge mentale et le comportement des conducteur sur simulateur.

Il faut rester prudent dans la généralisation de résultats obtenus sur simulateur de conduite, mais sans aller jusqu'à parler de qualification, nous avons émis des propositions qui devraient permettre à terme de s'assurer de la pertinence des comportements en conduite simulée sans avoir systématiquement recours à des validations en conduite réelle [Tab. 3, ligne 13].

### 3.3 Prise d'information visuelle et comportement

#### 3.3.1 Stratégie visuelle du conducteur

Parmi les 5 sens qui sont à la disposition de l'être humain, c'est la vision qui est principalement mise à contribution pour conduire. Il est donc naturel de s'intéresser à la prise d'informations visuelles des conducteurs pour déterminer les informations fournies par l'infrastructure routière qui sont susceptibles de les aider dans leur tâche. Pour ce faire, on fait appel à l'oculomètre, qui permet de repérer la direction du regard dans la scène observée. Les mouvements oculaires sont schématiquement répartis en deux catégories : les fixations, utilisées pour focaliser la vision centrale (où le système visuel a la meilleure acuité et la meilleure vision des couleurs) sur les zones de la scène sur lesquelles se porte l'attention, et les saccades, qui permettent de transférer l'attention d'une zone à une autre située en vision périphérique (où le système visuel a la meilleure sensibilité au mouvement). La stratégie visuelle dépend de la tâche, et résulte d'une boucle rétroactive qui exploite les caractéristiques visuelles « bas niveau » (contraste, couleur, mouvement) de la scène en faisant appel à la mémoire et à l'expérience de l'observateur.

Pour étudier la stratégie visuelle des conducteurs en situation de conduite, le Cerema s'est équipé d'un véhicule instrumenté baptisé VOICIE (Véhicule d'Observation des Interactions du Conducteur avec l'Infrastructure et l'Environnement de la route), qui permet d'enregistrer la stratégie visuelle du conducteur en situation réelle, mais également les actions de conduite (angle au volant, appui sur les pédales, etc.) et les variables observables du comportement (vitesse, position dans la voie, etc.). L'exploitation de cet outil pour nos expérimentations a toutefois nécessité un effort conséquent, capitalisé dans un guide méthodologique [Tab. 11, ligne 13], de mise au point et de qualification, en raison de la diversité des plateformes matérielles et logicielles intégrées dans le VOICIE, et de la complexité de mise en œuvre de l'oculomètre, qui doit être calibré pour chaque sujet.



Figure 12. Le véhicule instrumenté dédié à l'étude des interactions du conducteur avec l'infrastructure et l'environnement routier (VOICIE) intègre un oculomètre déporté (à gauche), mais peut également exploiter l'oculomètre porté (à droite) utilisé sur simulateur de conduite.

Parmi les nombreuses situations de conduite dans lesquelles il aurait été intéressant d'étudier l'impact des informations visuelles sur les comportements, nous avons sélectionné les approches d'intersections et les approches de zones de transition, porteuses d'enjeu en matière d'accidentalité et de lisibilité. Pour les deux situations, nous avons recueilli des données en conduite réelle et en conduite simulée.

Dans le cadre de la thèse de S. Lemonnier sur l'effet du contexte routier sur la stratégie visuelle en conduite, nous nous sommes intéressés au processus de décision (traverser ou s'arrêter) en approche d'intersection sur une route rurale en fonction du mode de priorité. En analysant l'amplitude des saccades et la durée des fixations, enregistrées sur simulateur de conduite, nous avons mis en évidence des stratégies visuelles caractéristiques de chaque mode de priorité (stop, céder le passage, prioritaire), et de chacune des deux phases du processus de décision à l'approche d'un céder le passage : exploration large pendant la phase initiale de différenciation qui

mène à la décision de s'arrêter ou de traverser (prise environ 2,5 s avant l'intersection), puis exploration plus réduite pendant la phase de consolidation de la décision [Tab. 3, ligne 12]. Nous avons ainsi confirmé l'intérêt de l'analyse des mouvements oculaires pour comprendre les processus cognitifs associés à la prise de décision, voire pour anticiper le comportement du conducteur.

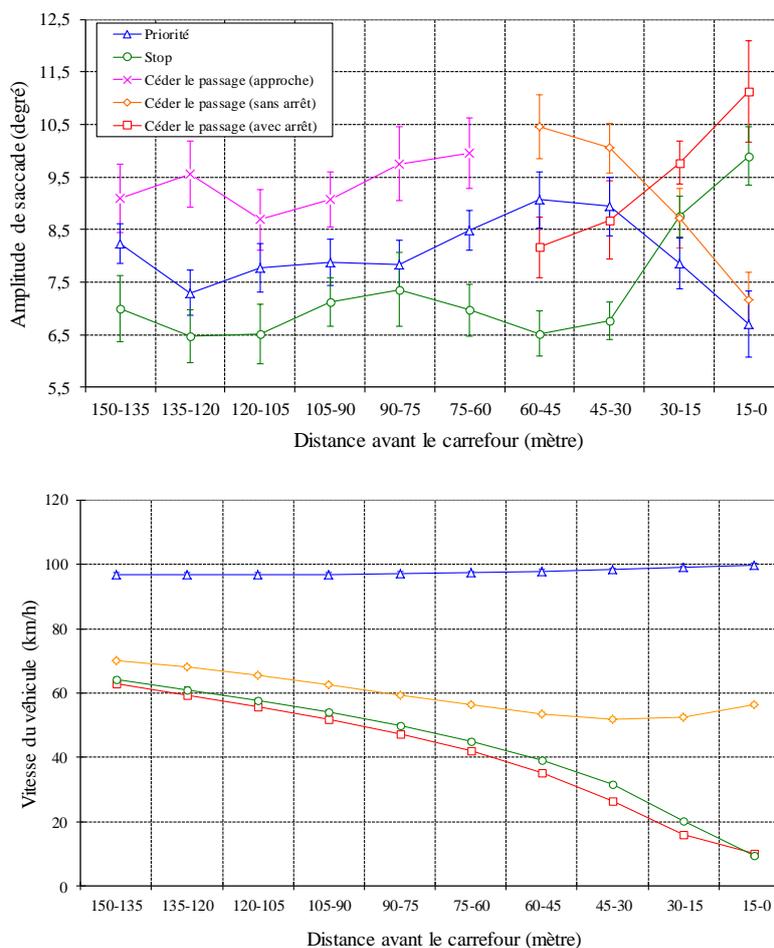


Figure 13. Simulateur de conduite utilisé pour étudier la stratégie visuelle du conducteur en approche d'intersection (en haut) ; profils d'amplitudes de saccades (au milieu) et de vitesse (en bas) en fonction du mode de priorité : priorité, stop ou céder le passage.

Une autre manière de s'intéresser aux informations utiles aux conducteurs, complémentaire de l'observation en situation de conduite, consiste à étudier en détail les circonstances d'accidents. Nous nous sommes penchés sur les analyses détaillées d'une dizaine d'accidents nocturnes en milieu urbain éclairé pour voir si les cartes de visibilité et de saillance calculées à partir d'images en luminance des scènes d'accident pouvait conforter les hypothèses concernant l'influence des conditions d'éclairage sur les dysfonctionnements de perception, de compréhension ou d'anticipation à l'origine des accidents [Tab. 11, ligne 15]. Nous avons confirmé l'intérêt des

cartes de contours visibles pour le diagnostic d'une scène routière : elles apportent des informations sur la détectabilité d'éléments importants de la scène tels que les panneaux, les marquages ou les bordures, mais aussi sur de potentielles illusions de perspective. Les cartes de saillance sont plus difficile à interpréter, mais peuvent apporter des informations complémentaires, notamment pour la mise en évidence d'éléments distrayeurs. Ces outils doivent toutefois être utilisés avec précaution, car ils ne prennent pas en compte la charge cognitive du conducteur au moment de l'accident.

### 3.3.2 Informations visuelles et vitesse

On peut dire d'une route qu'elle est lisible lorsqu'elle est compatible avec les attentes de ses usagers, ses caractéristiques suffisant à induire un comportement sûr. Parmi les variables observables du comportement de conduite, la vitesse est la plus couramment mise en avant pour expliquer la gravité des accidents, voire les accidents eux-mêmes. Nous nous sommes donc intéressés à la capacité des conducteurs à déterminer la vitesse maximale autorisée en fonction des caractéristiques de la route.

Nous avons proposé un questionnaire à une quarantaine de personnes titulaires du permis de conduire, en leur demandant de choisir, parmi les vitesses limites classiques (50, 70, 90, 110, et 130 km/h), celle qui s'appliquait sur la section d'itinéraire que nous leur présentions sur une photo. Nous leur demandions ensuite de préciser sur quel élément ils se basaient pour choisir et, pour finir, de préciser à quel type de route ils pensaient être confrontés. Les quelques 70 photographies utilisées pour cette expérimentation avaient été prélevées dans des vidéos enregistrées sur des autoroutes, des routes à chaussées séparées, et des routes bidirectionnelles. L'analyse des réponses a permis d'identifier certains éléments caractéristiques déterminants dans la détermination de la vitesse limite autorisée, notamment le profil en travers. Elle a également mis en évidence l'ambiguïté des routes à chaussées séparées, où les erreurs de jugement sont plus fréquentes [Tab. 11, ligne 14].



Figure 14. Distribution des scores obtenus pour les photos de différentes catégories de route (à gauche) ; le score d'une photo est élevé lorsque la majorité des sujets estiment correctement la vitesse autorisée, moyen lorsqu'il y a autant d'estimations correctes que d'estimations erronées, et faible lorsque la majorité des estimations sont erronées. Exemple de route à chaussées séparées visuellement ambiguë, sur laquelle la vitesse maximale autorisée n'est pas évidente (à droite).

## 4 Conclusion générale

L'opération de recherche « Impact des Informations Visuelles sur les comportements de conduite » a constitué un cadre pour les travaux menés en partenariat entre l'Ifsttar et le Cerema sur la perception visuelle de l'infrastructure routière, entre 2010 et 2014. L'objectif, qui s'est révélé extrêmement ambitieux, était de proposer des solutions opérationnelles pour améliorer la lisibilité de la route. Nous n'avons pas pu, en fin de compte, aller jusqu'à recommander des traitements visuels de l'espace roulant susceptibles d'apaiser les vitesses. Néanmoins, nous avons contribué au développement d'outils d'évaluation et d'exploitation des informations visuelles offertes par la scène routière, et nous avons montré leur intérêt pour conforter des données d'accidents. Nous avons également contribué au déploiement d'outils d'observation du comportement des usagers face à ces informations visuelles, en situation réelle ou simulée. Enfin, nous avons montré qu'il était possible, en exploitant ces outils, de mieux comprendre la stratégie visuelle des conducteurs. Pour parvenir à ces résultats, nous nous sommes largement appuyés sur les outils et connaissances issus d'opérations précédentes, et nous avons favorisé une approche interdisciplinaire en associant les sciences humaines et les sciences pour l'ingénieur.

En raison des efforts imprévus que nous avons dû consacrer à la mise au point et à la qualification des outils d'observation du comportement des usagers en situation de conduite, nous n'avons pu nous intéresser qu'à deux situations de conduite : l'approche d'intersection et l'approche de zones de transition. Les premiers enseignements que nous en avons tirés, sur la compréhension des processus de décision, sont prometteurs. L'important corpus de données expérimentales est susceptible de livrer d'autres connaissances sur la perception visuelle de la route et le comportement des conducteurs.

Nous n'avons pas attendu la fin de l'opération de recherche pour envisager les perspectives en termes d'applications. On peut notamment citer les applications industrielles, avec les brevets auxquels nous avons contribué, mais également les applications opérationnelles, avec les études et projets qui exploitent les outils déployés suite à nos travaux. Quant aux perspectives de recherche, elles sont très ouvertes, puisque nous avons dû jusqu'ici nous limiter à quelques situations de conduite. Les futures recherches devront notamment adresser les enjeux associés au développement rapide des systèmes d'éclairage et de signalisation « intelligents » (éclairage automobile et routier adaptatif, affectation dynamique de l'espace roulant, etc.), qui vont modifier profondément l'environnement visuel des usagers de la route. L'évolution des capacités visuelles des usagers avec le vieillissement de la population, ainsi que l'apparition annoncée de véhicules autonomes qui devront eux-aussi lire la route, sont des problématiques sur lesquelles le Cerema et l'Ifsttar seront certainement sollicités dans un avenir proche.

## 5 Principales productions

### 5.1 Produits phares

#### 5.1.1 Jeux de données

Pour les recherches appliquées menées par l'Ifsttar et le Cerema, les vérités-terrain sont indispensables, car elles constituent le fondement des connaissances et des outils que nous produisons. Ces vérités-terrain sont constituées de jeux de données associant des mesures relevées en situation réelle et des renseignements qui sont extraits des mesures à l'aide d'outils automatiques qualifiés ou bien renseignés manuellement par des experts. Leur utilité se situe à deux niveaux. D'une part, leur analyse permet de construire des modèles, empiriques ou analytiques, entre différentes données. D'autre part, leur exploitation permet d'évaluer et de comparer les méthodes développées pour extraire automatiquement des informations à partir des données. Dans le cadre de l'opération I2V, nous avons produit deux types de jeux de données : des images routières associées à des informations sémantiques renseignées manuellement, et des enregistrements oculométriques couplés à des paramètres décrivant le comportement de conduite (position, vitesse, commandes des pédales et du volant, etc.).

Dans le cadre du projet iTowns, nous avons alimenté le jeu de données PiTowns<sup>5</sup> qui permet de comparer différentes méthodes de vision par ordinateur pour détecter et reconnaître la signalisation verticale. Nous avons également produit une nouvelle version du jeu de données ROMA<sup>6</sup>, qui permet d'évaluer les algorithmes de détection de la signalisation horizontale, notamment en ajoutant des images de marquages spéciaux (zébras, flèches, etc.). Ces jeux de données sont diffusés librement pour favoriser l'émergence de méthodes optimales.



Figure 15. Extraits des vérités terrain produites pour évaluer les algorithmes de détection et de reconnaissance automatique des marquages (à gauche), notamment spéciaux (au centre) et des panneaux (à droite). A chaque image (en haut) est associé un masque (en bas) localisant et identifiant la signalisation.

Les enregistrements de données oculométriques couplées à des paramètres de conduite, réalisés avec le logiciel VOICIE dans le cadre de l'expérimentation sur la stratégie visuelle en approche d'intersection, sont en cours d'exploitation, mais les premiers traitements font doré et déjà émerger des éléments intéressants concernant le lien entre la direction du regard et l'angle au volant en fonction du rayon de courbure, par exemple.

<sup>5</sup> <http://www.itowns.fr/benchmarking.html>

<sup>6</sup> <http://www.lcpc.fr/english/products/image-databases/article/roma-road-markings-1817>

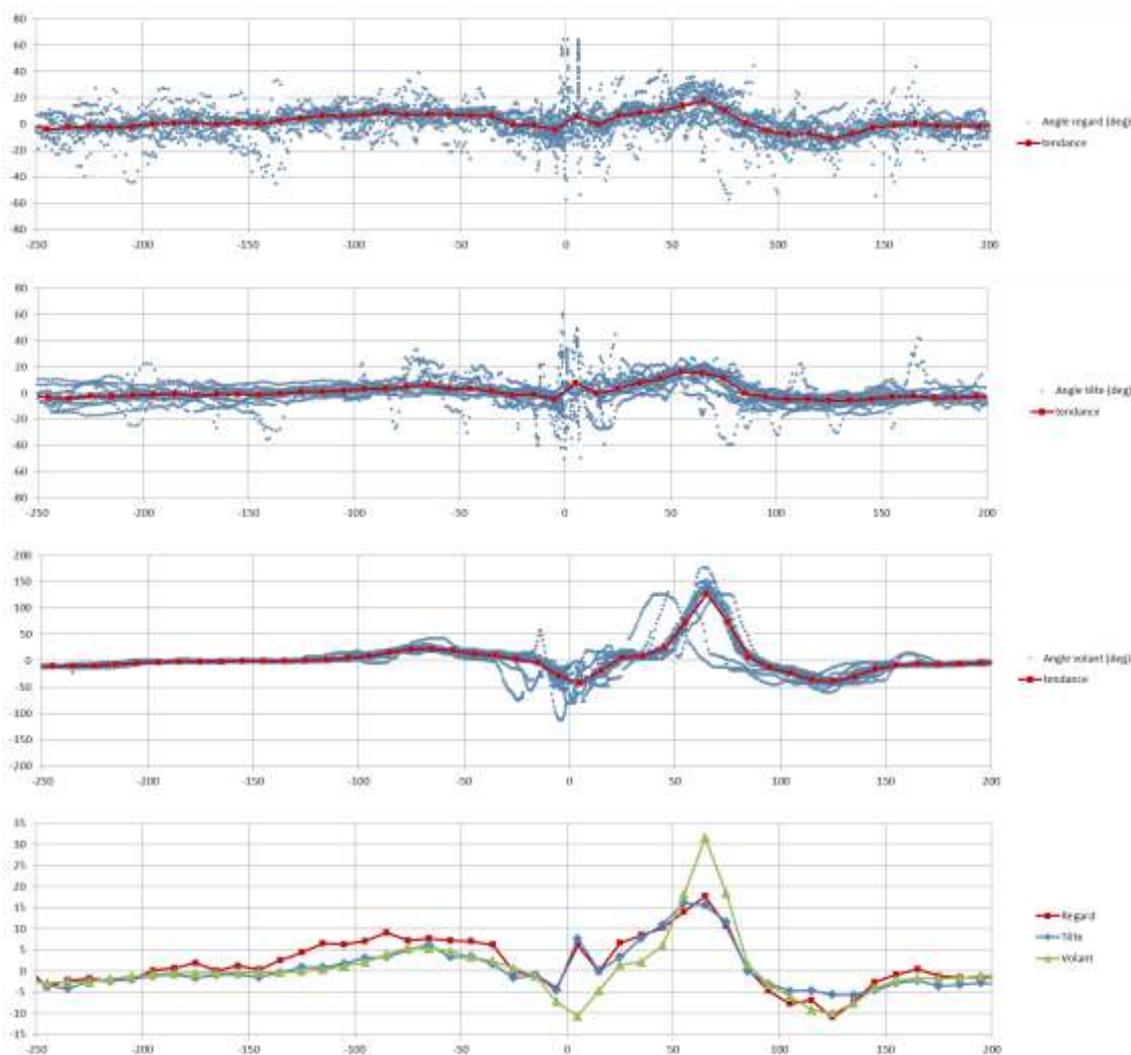


Figure 16. Exemple de données enregistrées en situation réelle de conduite à l'approche d'intersection : orientation du regard, orientation de la tête et angle du volant en fonction de la position par rapport à l'intersection. Les 3 courbes de tendance sont rassemblées dans le 4<sup>e</sup> graphe.

### 5.1.2 Méthodes d'analyse de scènes routières

L'infrastructure routière contribue à la sécurité et au confort des usagers en leur offrant des informations visuelles qui leur permettent d'adopter un comportement adapté. Pour évaluer cette offre, l'Ifsttar et le Cerema développent des outils logiciels pour quantifier objectivement et automatiquement la visibilité et la lisibilité en analysant des séquences d'images relevées le long d'un itinéraire routier par un véhicule équipé de caméra(s). Ces outils reposent sur des algorithmes de vision par ordinateur qui doivent prendre en compte la diversité des environnements (urbain, rural) et objets routiers (signalisation horizontale et verticale), la variabilité des conditions d'éclairage (naturel, automobile, routier) et les spécificités du SVH (système visuel humain). Les travaux menés dans l'opération de recherche I2V ont débouché sur de nouvelles méthodes de caractérisation photométrique (cf. 3.1.2) et sémantique (cf. 3.2.1) de la scène routière.

Sur le plan photométrique, deux nouveaux outils ont été mis au point : une méthode de cartographie du niveau de visibilité des contours dans la scène routière unifiant les fonctions de seuil-intensité et de sensibilité au contraste du SVH, et une méthode de cartographie des zones de saturation de la perception des contrastes prenant en compte l'adaptation du SVH à l'environnement lumineux dynamique.

Sur le plan sémantique, les méthodes de détection et de reconnaissance des panneaux et des marquages ont été améliorées, et la faisabilité de la catégorisation de l'environnement routier a été démontrée. Plusieurs jeux de données (vérités-terrain) ont été constitués pour évaluer ces outils. Des recherches complémentaires doivent

être menées pour faire le lien entre la vision humaine et la vision artificielle, associer les outils de caractérisation sémantique et photométrique, et identifier les descripteurs de la lisibilité de la route.

La plupart des outils développés sont au stade de la démonstration en environnement opérationnel (niveau 7 sur l'échelle des TRL<sup>7</sup>). Certains outils de détection de la signalisation routière sont au stade opérationnel (niveau 9 sur l'échelle des TRL) ; ils sont en cours d'intégration dans le logiciel mlpc® IREVE (opération de développement VTI, Valorisation Traitement d'Images, démarrée en 2013).

Les outils développés sont d'ores et déjà exploités dans le cadre de prestations innovantes de l'Ifsttar et du Cerema. Les outils de détection de la signalisation pourraient enrichir les logiciels d'analyse de la direction du regard qui accompagnent les oculomètres, dont l'usage s'est développé ces dernières années pour étudier le comportement des usagers de la route.

### 5.1.3 Simulateur pour les études d'aménagement routier

Dans le cadre de l'opération I2V, la DTer Ouest du Cerema s'est équipée d'un simulateur de conduite « bas-coût » (sans cabine ni restitution du mouvement) exploitant l'architecture logicielle DR2 des simulateurs de l'Ifsttar, ainsi que leur moteur de rendu visuel SIM2. Une équipe technique locale a été formée par le LEPSiS pour la préparation de protocoles expérimentaux et la mise en œuvre du simulateur (cf. 3.2.2).

Nous avons également ébauché un guide d'utilisation du simulateur qui a pour vocation de fournir des clés et conseils pour mener à bien des expérimentations qui visent à étudier l'impact de l'infrastructure routière sur le comportement des usagers, notamment en ce qui concerne la vitesse adoptée.

Le simulateur de conduite du Cerema a d'ores et déjà été exploité pour une expérimentation sur l'affectation dynamique de voies (dans le cadre de l'opération SERRES) et pour une expérimentation sur l'aménagement de l'approche d'un giratoire selon les préceptes de la démarche paysage et lisibilité.

### 5.1.4 Pistes d'amélioration de la lisibilité de la route

L'opération I2V avait initialement pour ambition de contribuer à l'amélioration de la lisibilité de la route en produisant des recommandations pour apaiser la conduite par des traitements visuels de l'espace roulant. Cet objectif s'est avéré trop ambitieux, au regard des difficultés de mise au point des outils d'observation des comportements que nous avons quelque peu sous-estimés (cf. 3.3.1).

Néanmoins, nous avons réalisé un important travail de synthèse bibliographique sur les mesures visant à apaiser les comportements de conduite [Tab. 11, ligne 3]. Nous avons ainsi mis en évidence le manque de solutions pour traiter des itinéraires interurbain (alors que les solutions pour traiter des points particuliers en ville sont bien documentées).

Le questionnaire sur photos que nous avons fait passer nous a aussi permis de mettre en évidence la difficulté pour les usagers à déterminer la vitesse maximale autorisée selon la catégorie de la route sur laquelle ils circulent [Tab. 11, ligne 14].

Enfin, nous avons contribué au comité miroir français du comité technique « conception et exploitation de routes plus sûres » de l'Association Mondiale de la Route (AIPCR), qui a passé en revue les normes de conception afin de vérifier la prise en compte des facteurs humains [Tab. 11, ligne 17]. Nous avons également contribué au groupe de travail sur la « route autrement pour une conduite apaisée », qui a fait un état des lieux des démarches en lien avec la lisibilité de la route et proposé des pistes pour développer le concept de « route apaisée » [Tab. 11, ligne 16].

---

<sup>7</sup> Les TRL (*technology readiness level*) forment une échelle d'évaluation du degré de maturité atteint par une technologie. Imaginée par la Nasa, elle a été adoptée dans de nombreux domaines. L'échelle comprend 9 niveaux allant de l'observation et la description des principes de base à la qualification par des missions opérationnelles réussies.

## 5.2 Production de connaissances

Tableau 1. Mémoires d'Habilitation à Diriger des Recherches (HDR).

HDR	Unité	Titre	Soutenance
P. Charbonnier	ERA27	Modèles de forme et d'apparence en traitement d'images	Strasbourg, septembre 2009
R. Brémond	LEPSiS	La visibilité routière : une approche pluri-disciplinaire	Paris-Est, novembre 2010
D. Gruyer	LIVIC	Fusion de données : de la perception de l'environnement aux systèmes coopératifs	Evry Val d'Essonne, février 2014

Tableau 2. Mémoires de thèse de Doctorat.

Doctorant(e)	Unité	Titre ou sujet de la thèse	Soutenance
A. Mayeur	LEPSiS	Les effets de l'activité de conduite et de facteurs contextuels sur la détection de cibles - Implications pour l'éclairage routier.	Paris 5, 18 décembre 2009
L. Simon	LEPSiS	Saillance de la signalisation verticale dans les images routières. Étude de la faisabilité d'un outil de diagnostic	Paris 6, 7 décembre 2009
J. Petit	LEPSiS	Conception, visualisation et évaluation d'images de synthèse. Application à la simulation de conduite	Lyon 1, 3 décembre 2010
L. Caraffa	LEPSiS	Reconstruction 3D à partir de paires stéréoscopiques en conditions dégradées	Paris 6, 6 octobre 2013
S. Pechberti	LIVIC	Modélisation et simulation de capteurs électromagnétiques appliquées au domaine automobile pour le prototypage de systèmes d'aide à la conduite. Applications aux radars et systèmes de télécommunications	Evry Val d'Essonne, novembre 2013
K. Joulan	LEPSiS	Évaluation de la visibilité pour la conduite automobile par analyse d'images	Paris-Est, en attente
S. Lemonnier	LEPSiS	Effet du contexte routier sur la prise d'information visuelle des conducteurs	Paris-Est, prévue décembre 2014
V. Faure	LEPSiS	Validité des simulateurs de conduite : que nous disent les stratégies visuelles.	Paris-Sud, prévue décembre 2014

Tableau 3. Articles dans des revues internationales à comité de lecture.

N°	Unité	Références	Date
1	LEPSiS	A. Mayeur, R. Brémond et C. Bastien. The effect of the driving activity on target detection as a function of the visibility level. <i>Transportation Research Part F</i> , vol. 13, no. 2, pp. 115-128, March 2010.	03/2010
2	LEPSiS, ERA27	J.P. Tarel et P. Charbonnier. A Lagrangian half-quadratic approach to robust estimation and its applications to road scene analysis. <i>Pattern Recognition Letters</i> , vol. 31, no. 14, pp. 2192-2200, Oct. 2010.	05/2010
3	LEPSiS	A. Mayeur, R. Brémond et C. Bastien. Effects of the viewing context on peripheral target detection. Implications for road lighting design. <i>Applied Ergonomics</i> , vol. 41, pp. 461-468, May 2010.	05/2010
4	LEPSiS	J. Petit et R. Brémond. A High Dynamic Range Rendering Pipeline for Interactive Applications: in search for perceptual realism. <i>The Visual Computer</i> , vol. 28, no. 6-8, pp. 533-542 (special issue, CGI 2010), June 2010.	07/2010
5	LEPSiS	R. Brémond, J.-P. Tarel, E. Dumont et N. Hautière. Vision Models for Image Quality Assessment: One is Not Enough. <i>Journal of Electronic Imaging</i> , vol. 19, no. 4, pp. 043004 1-14, Nov. 2010.	11/2010
6	LEPSiS	R. Brémond, E. Dumont, V. Ledoux et A. Mayeur. Photometric Measurements for Visibility Level Computations. <i>Lighting Research and Technology</i> , vol. 43, no. 1 pp. 119-128, Mar. 2013	03/2011
7	ERA17	S. Gaymard, V. Boucher, V. Nzobounsana, F. Greffier et F. Fournela. Driver's perception of pedestrians: correlation between the data of an electronic eye and drivers'verbatim. <i>Canadian Journal of Behavioural Science</i> , vol. 45, no. 2, pp. 124-137, 2012	01/2012

8	LEPSiS	R. Brémond, V. Bodard, E. Dumont et A. Nouailles-Mayeur. Target Visibility Level and Detection Distance on a Driving Simulator. <i>Lighting Research and Technology</i> , vol. 45, no. 1, pp. 76-89, Feb. 2013.	02/2013
9	LEPSiS	S. Benedetto, M. Pedrotti, R. Brémond et T. Baccino. Leftward attentional bias in a simulated driving task. <i>Transportation Research Part F</i> , vol. 20, pp. 147-153, Sept. 2013.	07/2013
10	LEPSiS	J. Petit, R. Brémond et A. Tom. Evaluation of tone mapping operators in night-time virtual worlds, <i>Virtual Reality</i> , vol. 17, no. 4, pp 253-262, nov. 2013.	11/2013
11	LEPSiS, ERA27	L. Caraffa, J.-P. Tarel et P. Charbonnier. The Guided Bilateral Filter: When the Joint/Cross Bilateral Filter Becomes Robust, <i>IEEE Trans. Image Processing</i> , accepté sous réserve de modifications mineures en avril 2014.	05/2014
12	LEPSiS	S. Lemonnier, R. Brémond et T. Baccino. Discriminating cognitive processes with eye movements in a decision-making driving task. <i>Journal of Eye Movement Research</i> , vol 7, issue 4, num 3, pp. 1-15, July 2014.	07/2014
13	ERA34, LEPSiS	F. Rosey et J.-M. Auberlet. Driving simulator configuration impacts drivers' behavior and control performance: example with rural intersection studies. <i>Transportation Research Part F</i> , vol. 27, part A, pp. 99-111, Nov. 2014.	11/2014

Tableau 4. Participations à des ouvrages.

N°	Unité	Références	Date
1	LEPSiS, ERA27, ERA17	N. Hautière, V. Ledoux, J.-P. Tarel, V. Boucher, et P. Charbonnier. Observation, modélisation et prédiction de la dégradation temporelle des marquages routiers. Dans P. Lepert et N. Hautière, éditeurs, <i>Projet DIVAS - Dialogue Infrastructure Véhicules pour améliorer la Sécurité routière</i> , pp. 195-212, Lavoisier, Paris, 2010.	09/2010
2	LEPSiS	A. Mayeur, R. Brémond et C. Bastien. La sécurité routière : du facteur humain à l'ergonomie de la route. Dans C. Bastien et J. Dinet, Ed., <i>Chapitre 12 de L'ergonomie des objets et des environnements physiques et numériques</i> , pp. 85-113, Lavoisier, Paris, 2011.	02/2011

Tableau 5. Ouvrages aux éditions IFSTTAR

N°	Unité	Références	Date
1	LEPSiS, ERA27,	P. Foucher, éditeur, <i>Détection et Reconnaissance de la signalisation verticale par analyse d'images</i> , numéro CR 53 dans <i>Collections Etudes et Recherches des Laboratoires des Ponts et Chaussées - Série Routes</i> . 125 pages, LCPC, Paris, juillet 2010.	07/2010

Tableau 6. Articles dans les actes de conférences internationales.

N°	Unité	Références	Date
1	LEPSiS	S. Liu, K. Kang, D. B. Cooper et J.-P. Tarel. Distributed Volumetric Scene Geometry Reconstruction With a Network of Distributed Smart Cameras. <i>IEEE Conference on Computer Vision and Pattern recognition (CVPR'09)</i> , pp. 2334-2341, Miami Beach, USA, June 2009.	06/2009
2	LEPSiS	J.-P. Tarel et E. Bigorgne. Long-Range Road Detection for Off-line Scene Analysis. <i>IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV'09)</i> , pp. 15-20, Xian, China, June 2009.	06/2009
3	LEPSiS	L. Simon, J.-P. Tarel et R. Brémond. Alerting the Drivers about Road Signs with Poor Visual Saliency. <i>IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV'09)</i> , pp. 48-53, Xian, China, June 2009.	06/2009
4	LEPSiS	J. Petit et R. Brémond, Interactive High Dynamic Range Rendering for Virtual Reality Applications. <i>16th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST 2009)</i> , pp. 251-252, Kyoto, Japan, Nov. 2009.	11/2009
5	LEPSiS	R. Belaroussi et J.-P. Tarel. Angle Vertex and Bisector geometric Model for Triangular Road Sign Detection. <i>IEEE Workshop on Applications of Computer Vision (WACV'09)</i> , pp. 577-583, Snowbird, USA, Dec. 2009.	12/2009
6	LEPSiS	R. Belaroussi et J.-P. Tarel. A Real-Time Road Sign Detection using Bilateral Chinese Transform. <i>International Symposium on Visual Computing (ISVC'09)</i> , pp. 1161-1170, Las Vegas, USA, Dec. 2009.	12/2009
7	LEPSiS	L. Simon, J.-P. Tarel et R. Brémond. Automatic Diagnostic of Road Signs Saliency. <i>Transport Research Arena (TRA'10)</i> , Bruxelles, Belgium, June 2010	06/2010
8	ERA27, LEPSiS	P. Charbonnier, J.-P. Tarel et F. Goulette. On the diagnostic of road pathway visibility. <i>Transport Research Arena (TRA'10)</i> , Bruxelles, Belgium, June 2010.	06/2010

9	LEPSiS, ERA27	Y. Sebsadji, J.-P. Tarel, P. Foucher et P. Charbonnier. Robust road marking extraction in urban environments using stereo images. IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV'10), pp. 394-400, San Diego, USA, June 2010.	06/2010
10	LIVIC	J. Bossu, D. Gruyer, J.C. Smal et J.M. Blosseville. Validation and Benchmarking for Pedestrian Video Detection based on a Sensors Simulation Platform. IEEE Intelligent Vehicle Symposium (IV'2010), pp. 115-122, San Diego, June 2010.	06/2010
11	LIVIC	Y. Dhome, N. Tronson, A. Vacavant, T. Chateau, C. Gabard, Y. Goyat et D. Gruyer. A Benchmark for Background Subtraction Algorithms in Monocular Vision: a Comparative Study. International Conference on Image Processing Theory, Tools and Applications (IPTA2010), pp. 66-71, Paris, France, July 2010.	07/2010
12	LEPSiS, ERA27	R. Belaroussi, P. Foucher, J.-P. Tarel, B. Soheilian, P. Charbonnier et N. Paparoditis. Road sign detection in images: a case study. 20th International Conference on Pattern Recognition (ICPR 2010), pp. 484-488, Istanbul, Turkey, Aug. 2010.	08/2010
13	LEPSiS	R. Brémond, J. Petit et J.-P. Tarel, Saliency Maps of High Dynamic Range Images. Media Retargeting Workshop in conjunction with ECCV'10, Lecture Notes in Computer Science, Volume 6554, 2012, pp 118-130, Heraklion, Greece, Sept. 2010.	09/2010
14	LIVIC	N. Hiblot, D. Gruyer, J.S. Barreiro et B. Monnier. Pro-SiVIC and Roads, A Software suite for sensors simulation and virtual prototyping of ADAS. Driving Simulation Conference Europe (DSC2010). pp. 277-288, Paris, France, Sept. 2010.	09/2010
15	LEPSiS	K. Joulan, N. Hautière et R. Brémond. A Unified CSF-based Framework for Edge Detection and Edge Visibility. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop on Biologically-consistent Vision, Colorado Springs, USA, June 2011.	06/2011
16	LEPSiS	R. Brémond et A. Mayeur. Some Drawbacks of the Visibility Level as an Index of Visual Performance while Driving. 27th Session of the CIE, Sun City, South Africa, July 2011.	07/2011
17	LEPSiS	E. Dumont, K. Joulan et V. Ledoux. Tabulation and Completion of Measured BRDF Data for Lighting Computations. 27th Session of the CIE, Sun City, South Africa, July 2011.	07/2011
18	DTecTV, LEPSiS	C. Chain, V. Ledoux et H. Demirdes. Road Surface Photometry: Simple Ways to Determine Key Reflection Parameter. 27th Session of the CIE, Sun City, South Africa, July 2011.	07/2011
19	LEPSiS	K. Joulan, N. Hautière et R. Brémond. Contrast Sensitivity Functions for Road Visibility Estimation in Digital Images. 27th Session of the CIE, Sun City, South Africa, July 2011.	07/2011
20	LIVIC, LEPSiS	D. Gruyer, S. Glaser, R. Gallen, S. Pechberti et N. Hautiere. Distributed Simulation Architecture for the Design of Cooperative ADAS, in FAST-ZERO (Future Active Safety Technology) 2011, Tokyo, Japan, September 5-9, 2011.	09/2011
21	LIVIC, LEPSiS	E. Pollard, D. Gruyer, J.P. Tarel, S.S. Ieng et A. Cord. Lane Marking Extraction with Combination Strategy and Comparative Evaluation on Synthetic and Camera Images. 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC2011), pp. 1741-1746, Washington D.C., USA, Oct. 2011.	10/2011
22	ERA27, LEPSiS, SII	P. Foucher, Y. Sebsadji, J.-P. Tarel, P. Charbonnier et P. Nicolle. Detection and recognition of urban road markings using images. 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC2011), pp. 1747-1752, Washington D.C., USA, Oct. 2011.	10/2011
23	LIVIC	M. Revilloud, D. Gruyer et E. Pollard. Generator of road marking textures and associated ground truth applied to the evaluation of road marking detection. ITSC 2012, Anchorage, AK, USA, Sep. 2012.	09/2012
24	LEPSiS	J.P. Tarel et R. Belaroussi. Robust 2D Location of Interest Points by Accumulation. IEEE International Conference on Image Processing (ICIP'12), pp. 2341-2344, Orlando, USA, Sept.-Oct. 2012.	09/2012
25	LEPSiS,E RA27	J.-P. Tarel, P. Charbonnier, F. Goulette et J.-E. Deschaud. 3D road environment modeling applied to visibility mapping: an experimental comparison. 2012 IEEE/ACM International Symposium on Distributed Simulation and Real Time Applications, pp. 19-26, Dublin, Ireland, Oct. 2012.	10/2012
26	LIVIC	D. Gruyer, S. Pechberti et S. Glaser. Development of Full Speed Range ACC with SiVIC, a virtual platform for ADAS Prototyping – Test and Evaluation. IEEE Intelligent Vehicles symposium (IV2013), Gold Coast, Australia, June 2013.	06/2013
27	LIVIC	M. Revilloud, D. Gruyer et E. Pollard. A new approach for robust road marking detection and tracking applied to multi-lane estimation. IEEE Intelligent Vehicles symposium (IV2013), Gold Coast, Australia, June 2013.	06/2013
28	LEPSiS	V. Faure, R. Lobjois et N. Benguigui. Effects of driving environment complexity and dual task on eye blink rate. 17th European Conference on Eye Movements (ECEM), Lund, Sweden, Aug. 2013.	08/2013

29	LEPSiS	L. Caraffa et J.P. Tarel. Stereo Reconstruction and Contrast Restoration in Daytime Fog. Asian Conference on Computer Vision (ACCV'12), LNCS 7727, vol. IV, p. 13-25, Daejeon, Korea, Nov. 2013.	10/2013
30	LIVIC	D. Gruyer, A. Cord et R. Belaroussi. Vehicle detection and tracking by collaborative fusion between laser scanner and camera. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'13), Nov. 2013.	11/2013
31	LEPSiS, ERA17, ERA27, LIVIC, SII	D. Aubert, R. Brémond, A. Cord, E. Dumont, D. Gruyer, N. Hautière, P. Nicolle, J.P. Tarel, V. Boucher, P. Charbonnier, P. Foucher, F. Fournela, F. Greffier et V. Muzet. Digital imaging for assessing and improving highway visibility. Transport Research Arena (TRA'2014), Paris, France, April 2014.	04/2014
32	LEPSiS, ERA33.	R. Brémond, J.-M. Auberlet, V. Cavallo, L. Désiré, V. Faure, S. Lemonnier, R. Lobjois et J.-P. Tarel. Where we look when we drive: A multidisciplinary approach. Transport Research Arena (TRA'2014), Paris, France, April 2014.	04/2014
33	LIVIC	D. Gruyer, S. Choi, C. Boussard et B. d'Andrea Novel. From Virtual to Reality, How to Prototype, Test and Evaluate New ADAS: Application to Automatic Car Parking. IEEE Intelligent Vehicles symposium (IV2014), Dearborn (Michigan), USA, June 2014.	06/2014
34	ERA27	P. Foucher, E. Moebel et P. Charbonnier. Route segmentation into speed limit categories by using image analysis. International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP'15), Berlin, Germany, March 2015.	Prévu 03/2015

Tableau 7. Articles dans les actes de conférences francophones.

N°	Unité	Références	Date
1	LEPSiS	R. Belaroussi et J.-P. Tarel. Modèle géométrique du sommet et de la bissectrice d'un angle pour la détection de panneaux triangulaires. Congrès Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle (RFIA'10), pp. 757-764, Caen, 19-22 janvier 2010.	01/2010
2	LEPSiS	S. Lemonnier, A. Boubezoul, R. Brémond et T. Baccino. Apport des classifieurs pour l'analyse des mouvements oculaires. Workshop Eye Tracking, Interactions et Suppléances (ERIS 2014), Paris, 17 juin 2014.	06/2014
3	LEPSiS	C. Mateev, S. Caro, J.-M. Auberlet, S. Safin, A. Bationo-Tillon et F. Decortis. Analyser l'activité d'expérimentation pour approcher la validité d'une simulation. 49ème congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française (SELF), La Rochelle, 1-3 octobre 2014.	10/2014

Tableau 8. Conférences internationales sans actes ou à diffusion restreinte.

N°	Unité	Références	Date
1	LEPSiS	L. Simon, J.-P. Tarel et R. Brémond, A computational model of visual search saliency for road signs diagnostic, European Conference on Visual Perception (ECVP'09), Regensburg, Allemagne, 2009.	08/2009
2	LEPSiS	J. Petit, R. Bremond et J.-P. Tarel, Saliency Maps of High Dynamic Range Images, Dans Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization (APGV'09), Chania, Grèce, sept.-oct. 2009.	09/2009
3	LEPSiS	J. Petit, R. Brémond. A High Dynamic Range Rendering Pipeline for Interactive Applications: in search for perceptual realism. EuroVR SIG Workshop (short paper), Orsay, France, mai 2010.	05/2010
4	LIVIC	D. Gruyer, S. Glaser et B. Monnier. SiVIC, a virtual platform for ADAS and PADAS prototyping, test and evaluation. FISITA'10, Budapest, Hongrie, mai-juin 2010.	05/2010
5	LIVIC	D. Gruyer, N. Hiblot, P. Desouza, G. Le Boudec et B. Monnier. A new generic virtual platform for cameras modeling. Vehicle and Infrastructure Safety Improvement in Adverse Conditions and Night Driving (VISION 2010), Montigny-le-Bretonneux, France, oct. 2010.	10/2010
6	LEPSiS	K. Joulan, N. Hautière et R. Brémond. Assessing an image processing model of edge visibility with a psycho-visual experiment. Perception, 41 (supplement: abstracts of the European Conference on Visual Perception), p. 241. Alghero, Italie, sep. 2012.	09/2012
7	LEPSiS	S. Lemonnier, R. Brémond and T. Baccino. Visual attention in a complex task: discrimination of decisional processes with eyes movement patterns. Talk at the 17th european conference on eye movements (ECEM 2013), Lund, Suède, août 2013	08/2013

Tableau 9. Séminaires et journées techniques.

N°	Unité	Références	Date
1	LEPSiS	J. Ninot, J.-P. Tarel, T. Gavrilovic, L. Smadja et K. Heggarty. Amélioration de la reconnaissance des marquages routiers par l'optimisation d'algorithmes d'extraction. colloque COGIST'09, juin 2009.	06/2009
2	LEPSiS	R. Rabier, R. Brémond et J.-M. Auberlet. Un système de prise de vue panoramique bas-coût pour la réalité virtuelle. 22e Journées de l'AFIG, nov. 2009	11/2009
3	ERA27, LEPSiS	P. Charbonnier et J.P. Tarel. Relevé de la géométrie de la route et distances de visibilité. Dans Journées Techniques Routes, Nantes, France, février 2010.	02/2010
4	ERA27	P. Charbonnier. Modèles de forme et d'apparence en traitement d'images. Dans Séminaire TELE, Université Catholique de Louvain, Louvain-La-Neuve, Belgique, mars 2010.	03/2010
5	ERA27, LEPSiS	P. Charbonnier et J.-P. Tarel. Nouvelles approches en diagnostic de la visibilité géométrique routière. Prévention des Risques et Aides à la Conduite (PRAC'10), Paris, mai 2010.	05/2010
6	ERA27	V. Muzet et P. Charbonnier. La photométrie routière, un outil pour le développement durable et la sécurité routière ! Plénière du CILPC : matériaux facteur 4, Lille, juin 2010.	06/2010
7	ERA27	V. Muzet. L'Imagerie Routière et ses applications à la gestion de la route et de son environnement, Présentation des véhicules d'acquisition du RST et du logiciel d'exploitation IREVE, Journée COTITA CETE de l'EST, Metz, 30 novembre 2010.	11/2010
8	ERA27	V. Muzet, V. Cerezo, G. Petit. Sécurité routière : évaluation des infrastructures : Moyens de mesures. Journées Techniques Routes 2011, Nantes 8-9 février 2011.	02/2011
9	ERA27, LEPSiS	P. Foucher, R. Belaroussi, B. Soheilian, J.P. Tarel, P. Charbonnier et N. Paparoditis. Extraction de panneaux de signalisation. Dans Journées de la Recherche IGN, Saint-Mandé, mars 2011.	03/2011
10	ERA27	V. Muzet. L'Imagerie Routière et ses applications à la gestion de la route et de son environnement. Journée SIGR au CETE de l'EST, Metz, 9 juin 2011.	06/2011
11	LEPSiS	E. Dumont. Impact des informations visuelles sur les comportements : recherches en cours dans le RST. Journée technique « perception de la route par l'utilisateur et influence sur le comportement » (COTITA Centre-Est), Clermont-Ferrand, 21-22 juin 2011.	06/2011
12	LEPSiS, ERA27	L. Caraffa, J.P. Tarel et P. Charbonnier. Filtrage bilatéral guidé des images. Journées des doctorants SPI-STIC de l'IFSTTAR, juin 2012.	06/2012
13	LEPSiS, ERA27, DTecITM, ERA34	E. Dumont, P. Charbonnier, A. Oser et O. Moisan. French initiatives towards Self Explaining Roads. Special PIARC Session on the design and operations of safer road infrastructure, 11 <sup>th</sup> Slovenian Congress on Traffic and Transport, Portoroz (Slovenia), 26 octobre 2012.	10/2012
14	LEPSiS	S. Lemonnier, R. Brémond and T. Baccino. To what extent visual search depends on the task? The role of attention. Poster session, abstract in Proc. GdR Vision annual forum, Marseille, nov. 2012	11/2012
15	ERA27, LEPSiS, LIVIC, SII	P. Charbonnier, P. Foucher, J.-P. Tarel, R. Brémond, A.Cord, N. Hautière, D. Gruyer, E. Dumont et P. Nicolle. Analyse et synthèse d'images numériques au service de la sécurité routière. Dans Séminaire du Master ISI (Informatique et Sciences de l'Image), Université de Strasbourg, Strasbourg, déc. 2012.	12/2012
16	ERA27, LEPSiS	P. Charbonnier, J.-P. Tarel, S.-S. Ieng, et P. Foucher. Estimateurs robustes pour l'analyse de la signalisation. Dans 18ème séminaire de la plateforme intégratrice « Traitement de l'Information, du Signal, Image, Connaissance » (TISIC), Marne-la-Vallée, février 2013.	02/2013
17	LEPSiS	V. Faure. Les simulateurs de conduite et les environnements virtuels. Poster dans le cadre du 12eme forum des Sciences Cognitives, 30 mars 2013, Paris, France.	03/2013
18	LEPSiS	S. Lemonnier, R. Brémond, L. Désiré and T. Baccino. To what extent visual search depends on the task? The role of attention. Poster session, First IAAP School on Applied Cognitive Research, Paris, avril 2013.	04/2013
19	ERA27, LEPSiS, LIVIC, SII	P. Charbonnier, P. Foucher, J.-P. Tarel, R. Brémond, A.Cord, N. Hautière, D. Gruyer, E. Dumont et P. Nicolle. Analyse et synthèse d'images numériques au service de la sécurité routière. Dans Séminaire du groupe de travail Mathématiques de l'Image, des Formes et Applications (MIFA), Université de Haute Alsace, Mulhouse, France, mai 2013.	05/2013

## 5.3 Littérature grise

Tableau 11. Rapports techniques et bibliographiques.

N°	Unité	Références	Date
1	DT-ISR, ERA34, ERA33	M.-L. Gallenne, F. Rosey et L. Désiré. Revue bibliographique sur les liens entre les comportements de conduite et la conception et l'aménagement des routes. Note bibliographique pour l'AIPCR, Ifsttar, décembre 2010, 24 p.	12/2010
2	ERA27	P. Foucher et P. Charbonnier. Détection et reconnaissance de la signalisation verticale par analyse d'images. Rapport bibliographique pour la DRI, Cerema, décembre 2010, 132 p.	12/2010
3	ERA34	F. Rosey. Mesures d'alerte de réduction de la vitesse : état de l'art des mesures existantes. Rapport bibliographique, Cerema, janvier 2011, 145 p.	01/2011
4	ERA17	F. Greffier et V. Boucher. Description physique d'une scène visuelle : étude bibliographique et Inventaire d'outils de modélisation. Rapport bibliographique, Cerema, janvier 2011, 145 p.	02/2011
5	ERA17	F. Fournela. Essais Oculométriques et saillance routière. Compte-rendu d'expérimentations, Cerema, février 2011, 26 p.	02/2011
6	ERA33	L. Désiré. Stratégies visuelles des conducteurs en situation réelle de conduite. Rapport bibliographique, Cerema, mars 2011, 76 p.	04/2011
7	ERA34	F. Rosey et O. Moisan. Glossaire de la terminologie Infrastructure et Vitesse. Rapport Opération de Recherche I2V, Département Infrastructures de Transport Multimodales, groupe Sécurité Routière, Grand-Quevilly, Seine-Maritime, France, 2011.	05/2011
8	ERA27	C. Heinkelé. Mise à jour de l'étalonnage de l'Ecodyn. Rapport technique, Cerema, décembre 2011, 109 p.	12/2011
9	ERA27	P. Foucher. Bibliothèque dynamique « linedetection » - Détection automatique des bords de chaussées et de marquages. Rapport technique, Cerema, janvier 2012, 21 p.	01/2012
10	ERA17	F. Greffier et V. Boucher. Méthodologie de mesures et de traitements d'images pour l'évaluation de descripteurs physiques dans une scène routière. Rapport technique, Cerema, février 2012, 29 p.	02/2012
11	ERA27	P. Foucher, P. Charbonnier et J.-P. Tarel. Segmentation d'itinéraires par analyse d'images : besoins et requis. Rapport technique, Cerema, mars 2012, 26 p.	03/2012
12	ERA17	F. Greffier et V. Boucher. Evaluation de descripteurs physiques dans une scène routière. Rapport technique, Cerema, avril 2013, 75 p.	04/2013
13	ERA33	L. Désiré, M. Adam et D. Bill. Outils et méthodes pour le recueil du comportement visuel en situation réelle de conduite : Utilisation de l'oculomètre déporté SmartEye et de l'oculomètre porté Pertech dans le VOICIE. Rapport technique, Cerema, juillet 2013, 136 p.	07/2013
14	ERA34, ERA33	F. Rosey, O. Moisan et S. Bordel. Eléments visuels de l'infrastructure utilisés par les usager. Compte-rendu d'expérimentation, Cerema, mars 2014, 19 p.	03/2014
15	DTer-M, LMA	P. Verny et M.-C. Montel. Analyse de la saillance et des bords visibles de scènes visuelles pour le diagnostic de sites d'accidents nocturnes en milieu urbain. Rapport d'étude, Cerema, mai 2014, 107 p.	05/2014
16	Cerema, Ifsttar	Vers une route autrement pour une conduite apaisée. Rapport du groupe de travail RACA, en relecture.	12/2014
17	AIPCR	Facteurs humains pour la conception des routes. Revue des normes de conception de neuf pays. Rapport 2012R36FR, AIPCR, 2012, 212 p.	2012

Tableau 12. Rapports de stage.

N°	Unité	Références	Date
1	LEPSiS	C. Mateev. Intervention ergonomique dans le cadre de la validité et de la qualification de simulateurs de conduite automobile. Master 2 en ergonomie cognitive et conseil psychologique de l'Université Paris 8, Ifsttar, sep. 2013.	09/2013

Tableau 13. Rapports contractuels.

N°	Unité	Références	Date
1	LEPSiS	K. Joulan. Prise en compte des réflexions directionnelles dans le logiciel PROF-LCPC. Rapport technique, projet SAGILLIS (13K10191), Ifsttar, mars 2010.	03/2010
2	LEPSiS	K. Joulan. Calcul de l'éblouissement et de la visibilité dans des scènes routières. Rapport technique, projet SAGILLIS (13K10191), Ifsttar, septembre 2010.	09/2010
3	ERA27	H. Halmaoui, P. Foucher et P. Charbonnier. Mise en place d'algorithmes d'analyse d'images de la qualité du marquage routier. Projet de recherche et développement entre Ifsttar, Vectra & CETE de l'Est, Cerema, décembre 2014.	Prévu 12/2014

## 6 Valorisation

### 6.1 Brevets

Tableau 14. Brevets.

N°	Unité	Références	Date
1	ERA27	Y. Guillard, P. Charbonnier, P. Foucher et Y. Sebsadji. Dispositif et procede d'imagerie pour produire une image de marquages routiers. Brevet Ifsttar n° WO2013007955 A1, 17 janvier 2013.	01/2013
2	LEPSiS	Procédé pour déterminer la visibilité des objets dans le champ de vision du conducteur d'un véhicule, en tenant compte d'une fonction de sensibilité au contraste, système d'assistance au conducteur et véhicule à moteur. Brevet Valéo n° EP2747027 A1, 25 juin 2014.	06/2014
3	LEPSiS	C. Robert-Landry, K. Joulan, R. Brémond, N. Hautière et D. Aubert. Procédé de détermination d'un moment pour fournir une fonctionnalité au moyen d'un système d'assistance de conducteur d'un véhicule à moteur, système d'assistance de conducteur et véhicule à moteur. Brevet Valéo n° WO2014102190 A2, 3 juillet 2014.	07/2014

Le brevet n°1 a fait l'objet d'une industrialisation grâce à un contrat post-doctoral à l'ERA 27, co-financé par le Cerema (DterEst), l'Ifsttar et l'entreprise Vectra (H. Halmaoui, janvier 2013-juin 2014). Ce travail a abouti sur un logiciel démonstrateur de l'analyse des « images Ecodyn ».

### 6.2 Développement

L'opération de développement VTI (Valorisation - Traitement d'Image) a permis l'industrialisation et la validation opérationnelle d'algorithmes issus des recherches des équipes l'Ifsttar et de l'ERA 27. De nouveaux outils ont ainsi été intégrés au logiciel mlpc® IREVE, ou le seront très prochainement :

- fonctionnalité de mesure de distance d'un objet par rapport au bord de chaussée ou de voie (intégrée) ;
- fonctionnalité de mesure automatique de largeur de voies ou de chaussée (en cours de développement) ;
- détection des images susceptibles de contenir un panneau (en cours de test).

L'ORSI I2V a également abrité les opérations de développement Ecodyn III (mesure de la rétro-réflexion des marquages routiers, qualification en cours), Coluroute 2 (mesure de la photométrie des surfaces de chaussées, développement en cours), IRCAN/IREVE stéréovision (imagerie routière, qualifié) et VCLAP (mesure de luminance à grand rendement, qualification en cours).

### 6.3 Communication

Outre les actions de communications listées dans le tableau 9, plusieurs séminaires ont été organisés pour communiquer spécifiquement sur les travaux menés dans le cadre de l'opération I2V. La plupart des présentations réalisées en ces différentes occasions sont consultables sur internet.

- Séminaire « simulation de conduite et aménagement de la route »<sup>8</sup>, le 14 décembre 2010, à St-Ouen.
- Séminaire I2V à mi-parcours<sup>9</sup>, le 19 juin 2012, à Paris.
- Séminaire de clôture des ORSI PREVER & I2V, les 5-6 novembre 2014, à Rouen.

### 6.4 Dissémination

Les résultats de l'opération I2V ont pu être disséminés au fur et à mesure de leur production grâce à une participation active à deux groupes de travail du RST animés par des membres du comité de suivi :

- le groupe de travail « éclairage » animé par C. Chain, en lien avec les activités de la division 4 de la CIE qui traite de l'éclairage et de la signalisation dans les transports ;
- le groupe de travail RACA co-animé par A. Oser, puis M. Ripoche, et E. Dumont, en lien avec les activités du comité technique 3.2 de l'AIPCR pour infrastructures routières plus sûres, et notamment du comité miroir français, piloté par M.-L. Gallenne, qui a passé en revue les normes de conception pour vérifier la prise en compte des facteurs humains.

<sup>8</sup> <http://www.inrets.fr/linstitut/unites-de-recherche-unites-de-service/leipsis/seminaires/20101214.html>

<sup>9</sup> <http://actions-incitatives.ifsttar.fr/seminaires/i2v/>