

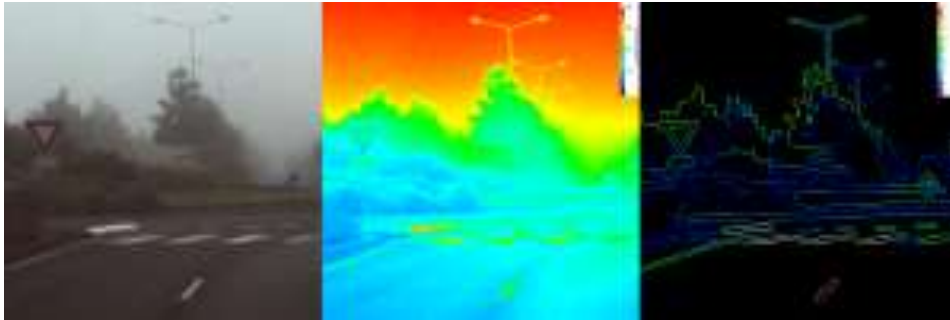
Dossier Sécurité routière

Visibilité et lisibilité

Pour une plus grande sécurité

© Ifsttar & Cerema

Analyse photométrique de la scène routière (à droite) : niveaux de luminance (au centre) et de visibilité (à gauche).



Éric Dumont
Directeur adjoint du LEPSiS (département CoSys)
Ifsttar

Pierre Charbonnier
Chef du groupe « Méthodes physiques » (direction Est)
Cerema

Lionel Patte
Adjoint au chef de département DCEDI (direction Méditerranée)
Cerema

Roland Brémond
Directeur de recherche au LEPSiS (département CoSys)
Ifsttar

La perception visuelle est essentielle pour conduire un véhicule et la route reste un support primordial pour offrir aux usagers les informations requises pour conduire en toute sécurité. Il est donc important de s'assurer que l'aspect visuel de la route est en adéquation avec les besoins des conducteurs, en s'appuyant sur la doctrine technique, en confrontant l'offre et la demande d'informations visuelles sur la route et en étudiant l'influence des caractéristiques géométriques, photométriques et sémantiques de la route sur les comportements de conduite.

La perception et la compréhension de l'environnement routier par ses usagers conditionnent fortement la sécurité des déplacements : des analyses détaillées d'accidents ont démontré l'incidence prépondérante des erreurs de prise et de traitement de l'information par le conducteur¹. 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 (par rapport à la contrôlabilité des véhicules par exemple), 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, complémentaire du contrôle automatisé. La route doit pardonner les inéluctables erreurs humaines et être lisible pour les éviter : son environnement (aspect, configuration) et ses équipements (signalisation, éclairage) doivent aider les usagers à adopter naturellement un comportement sûr. Pour s'en assurer, il faut comprendre les mécanismes de la perception visuelle, s'appuyer sur la doctrine technique, ausculter la route pour caractériser l'offre de visibilité et de lisibilité, confronter cette offre aux usages de la route en observant les comportements de conduite, et capitaliser les expériences positives pour assurer leur dissémination.

Prise d'informations visuelles par les conducteurs

La perception visuelle est essentielle dans l'activité de conduite ou, plus généralement, de déplacement. En effet, elle permet à l'utilisateur d'anticiper la situation à laquelle il va devoir s'adapter, que ce soit au niveau stratégique (navigation, à moyen terme), tactique (interaction avec l'environnement, à court terme) ou opérationnel (contrôle du véhicule, immédiatement).

Pour voir la route et son environnement, l'utilisateur a avant tout besoin de lumière. Le système visuel humain est optimisé pour l'éclairage naturel, mais la mobilité nocturne est rendue possible par l'éclairage automobile et l'éclairage public. La lumière émise par les sources d'éclairage interagit avec les matériaux des surfaces qui constituent l'infrastructure routière et son environnement (le revêtement de la chaussée, la peinture rétro réfléchissante des marquages...). Elle est également susceptible d'interagir avec les particules parfois présentes dans l'atmosphère (brouillard, projections d'eau...). Une partie de cette lumière est captée par l'œil de l'utilisateur et se projette sur la rétine pour générer le « signal visuel », que l'on peut caractériser par une distribution de luminance et de couleur.

L'analyse du signal visuel, grâce à laquelle l'utilisateur extrait les informations utiles à sa tâche de conduite, est un processus complexe. Des traitements automatiques aident à détecter, à identifier et à interpréter les éléments de la scène. Leur efficacité dépend des caractéristiques photométriques

(luminance, contraste) et géométriques (taille, forme) des éléments considérés, mais aussi de la complexité de leur environnement proche (bruit visuel, distracteurs). D'autre part, le fait d'être engagé dans une activité de conduite automobile oriente l'attention et la recherche visuelle vers des indices pertinents pour cette tâche. Le conducteur exploite alors le contenu sémantique de la scène routière, en faisant appel à sa mémoire et à son expérience.

La route et ses équipements contribuent donc à la sécurité des usagers en leur offrant les informations visuelles dont ils ont besoin pour adapter leur comportement. Par conséquent, il est important de s'assurer que les informations visuelles utiles sont disponibles et pertinentes. La visibilité routière, qui se décline selon les aspects géométriques (absence de masquage) et photométriques (contraste), qualifie la disponibilité des informations visuelles. La lisibilité routière, c'est-à-dire la capacité à donner au conducteur une image claire et facile à comprendre de sa situation et du comportement qu'il doit adopter, relève quant à elle de la pertinence des informations offertes.

Visibilité et lisibilité dans la doctrine

La visibilité et la lisibilité étant des critères essentiels d'appréciation de la sécurité, on les retrouve dans tous les guides de conception et d'évaluation des infrastructures routières, en France et à l'étranger. La visibilité est une notion assez facile à saisir, mais la notion plurielle de lisibilité est plus délicate à appréhender (**voir encadré**). Défini dès la fin des années 1980 en France, ce concept a bénéficié d'un regain d'intérêt avec la démarche RACA (Route autrement pour une conduite apaisée), voire d'une redécouverte à travers la notion anglo-saxonne équivalente de « *self explaining road* ».

Définition de la lisibilité de la route

La lisibilité est la propriété d'une voie et de son environnement, de donner à tout usager, par l'ensemble de leurs éléments constitutifs (géométrie de la voie et de ses abords, équipement et « habillage » de la voie, configuration et aspect du bâti environnant, mobilier urbain, etc.) une image juste, facilement et rapidement compréhensible, de la nature de la voie et de son environnement, de ses utilisations, des mouvements probables ou possibles des autres usagers, et du comportement que l'on attend de lui (vitesse, trajectoire, perte de priorité, etc.).

Source : *Sécurité des routes et des rues*, SETRA et CETUR, 1992.

En tout état de cause, l'importance fondamentale que présentent les critères de visibilité et de lisibilité pour la sécurité des déplacements conduit à de nombreuses recommandations. Elles sont formalisées dans les référentiels techniques pour la conception et l'aménagement des infrastructures, et se déclinent par types de voies et objets routiers (carrefour, virage, échangeur...), voire par types d'usagers. *De facto*, ces critères font l'objet d'une attention toute particulière dans

les procédures de contrôle des projets routiers et d'audit de sécurité, comme dans le cadre des diagnostics des infrastructures existantes.

Les aménageurs peuvent rencontrer des difficultés pratiques dans l'application de ces recommandations, liées au déficit de méthodes et d'outils efficaces pour vérifier de manière systématique et objective l'atteinte des niveaux d'exigence en la matière. Certaines exigences sont considérées comme très contraignantes, voire excessives, parfois inaccessibles, souvent coûteuses.

Dans le cadre de l'opération de recherche SERRES² (Solutions pour une exploitation de la route respectueuse de l'environnement et de la sécurité), le Cerema a posé des bases pour réviser les règles de l'art. Les approches probabilistes issues du cadre théorique de la fiabilité constituent une alternative prometteuse aux approches « classiques » déterministes. Elles sont plutôt logiques, compte tenu des phénomènes assez complexes et aléatoires (facteurs humains, parc automobile, niveau d'entretien de la voie...) à considérer. Les approches déterministes ont le mérite d'être plutôt simples et accessibles, mais elles ont aussi des limites bien connues : elles appréhendent notamment mal les marges de sécurité globales que l'on prend (ce qui peut conduire à des surdimensionnements) et ne contribuent pas à apprécier l'acceptabilité des dérogations. De plus, elles prennent difficilement en compte les contraintes économiques, environnementales ou techniques des projets. Les approches probabilistes devraient contribuer à apporter plus de flexibilité et de cohérence, et à améliorer la rentabilité socio-économique des projets, tout en donnant des garanties pour maîtriser la sécurité ou, plus largement, la performance des infrastructures aménagées.

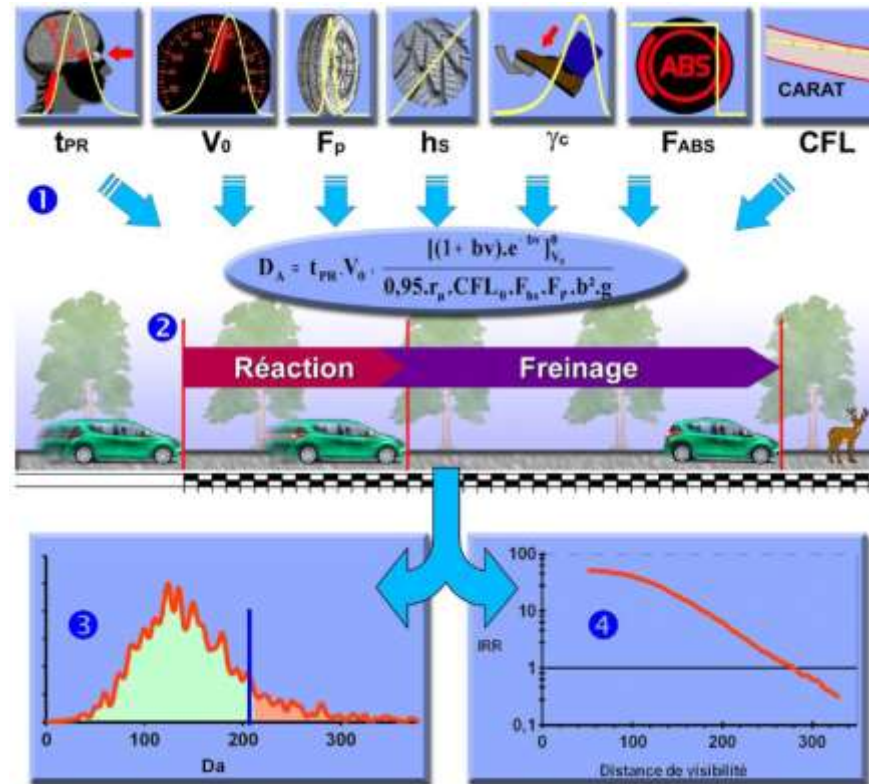
La révision des règles en matière de distance de visibilité en section courante est un exemple concret d'application de ces principes (**figure 1**). On utilise un modèle ❷ issu de la littérature pour la distance d'arrêt des véhicules légers sur chaussée mouillée et des lois de probabilité ❶ issues de bases de données pour les différents paramètres d'influence (adhérence mobilisable, temps de réaction, vitesses pratiquées...). Grâce à un calcul probabiliste de type Monte-Carlo ❸, une distribution réaliste des distances d'arrêt, qui exprime la demande de visibilité, peut en être déduite. En comparant les distances d'arrêt obtenues à la distance de visibilité offerte par la route et son environnement, on peut inférer un risque de défaillance ❹.

Cette approche suggère la possibilité de relâcher sensiblement (jusqu'à 20 %) les contraintes en termes de distance de visibilité « sur obstacles » (permettant à un usager de s'arrêter avant un obstacle sur sa voie). Le Cerema travaille actuellement, à la demande de la Direction des infrastructures de transport, à la transposition de ces principes pour réviser l'ensemble des règles de visibilité des référentiels techniques.

Figure 1

Approche probabiliste de la distance de visibilité sur obstacle².

© Cerema



Outils d'auscultation

Il existe peu de systèmes opérationnels pour mesurer la distance de visibilité géométrique le long d'itinéraires existants afin de vérifier le respect des référentiels techniques. À partir d'un relevé de tracé (effectué par exemple à l'aide du MLPC[®] Mogéo), il est possible d'estimer la distance de visibilité nécessaire à un conducteur pour arrêter son véhicule en présence d'un obstacle. Il s'agit alors de vérifier que cette distance est effectivement disponible. On peut, pour cela, utiliser un système à deux véhicules (cible et observateur), maintenus à distance constante, comme Visuline (Cerema de Saint Briec). On peut également exploiter les nuages de points issus de systèmes de cartographie mobile 3D (comme le L3D2 du centre de robotique des Mines de Paris), pour calculer la distance de visibilité grâce à des techniques classiques en informatique graphique. De tels modèles développés dans les projets SARI (Surveillance automatisée des routes pour l'information des conducteurs et gestionnaires) et DIVAS (Dialogue infrastructure-véhicules pour améliorer la sécurité routière), permettent de faire varier les situations et les paramètres d'intérêt, tels que la taille et la position de la cible et de l'observateur.

Pour qu'un obstacle ou un objet routier soit visible, il ne suffit pas qu'il soit dans le champ de vision du conducteur. Il doit également satisfaire des contraintes photométriques, liées à la sensibilité du système visuel humain. Les caractéristiques photométriques des chaussées et des marquages routiers, par exemple, peuvent être évaluées respectivement à l'aide des MLPC® Coluroute et Ecodyn et utilisées dans des estimations de contraste (**photo 1**).

Photo 1

Appareils MLPC® pour la mesure des propriétés photométriques des surfaces routières : Coluroute pour la chaussée (à gauche) et Ecodyn pour les marquages (à droite).

© Cerema



Le dispositif Cyclope (Cerema d'Angers) capture directement le signal visuel dans différentes conditions de conduite, avec des caméras à haute dynamique calibrées photométriquement et colorimétriquement. Grâce à l'analyse des cartes de luminance ainsi enregistrées, on peut évaluer les performances d'installations d'éclairage public ou détecter les zones d'éblouissement, où la visibilité se trouve dégradée de façon drastique, en exploitant un modèle de l'adaptation du système visuel humain. Cette fonctionnalité innovante a aidé un gestionnaire luxembourgeois à objectiver les problèmes d'éblouissement intermittent par le soleil sur une route forestière.

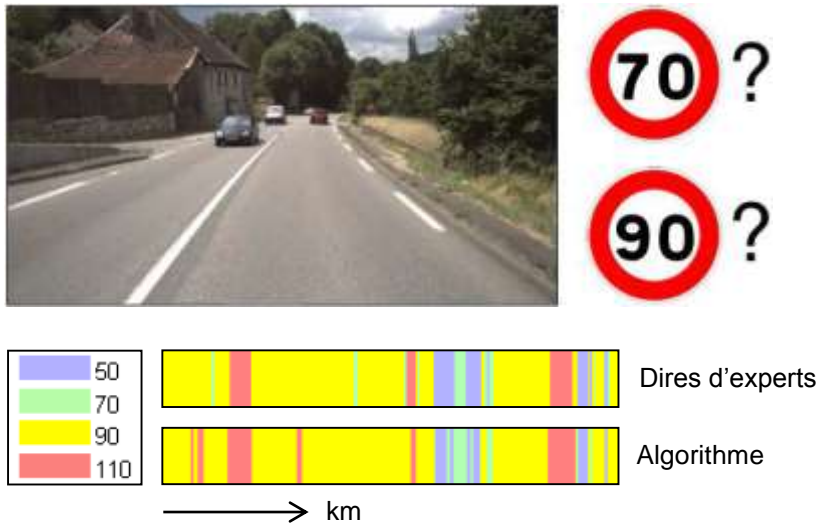
Certains éléments de la scène routière jouent un rôle prépondérant dans son interprétation par les conducteurs. C'est notamment le cas des signalisations, horizontale et verticale, qui peuvent être cartographiées à partir des images enregistrées par le MLPC® IRCAN (Imagerie routière par caméra numérique), grâce au logiciel d'exploitation associé, IREVE (Imagerie routière, étalonnage, visualisation, exploitation), qui intègre des algorithmes de détection automatique³. Une fois ces éléments détectés, leur niveau de visibilité photométrique et leur saillance visuelle peuvent être caractérisés grâce à l'utilisation de modèles de fonctionnement du système visuel. Enfin, les récents progrès des techniques d'intelligence artificielle et d'apprentissage en vision par ordinateur permettent d'envisager des évaluations globales d'itinéraires routiers, selon des critères

sémantiques liés à la notion de lisibilité. Un itinéraire peut ainsi être segmenté selon la perception par l’usager de la vitesse prescrite, ou selon le caractère urbain ou rural de la scène (**figure 2**).

Figure 2

Exemple de résultat de classification automatique, par analyse d’image, de la vitesse maximale autorisée perçue par les conducteurs.

© Cerema



Outils de diagnostic

L’auscultation du patrimoine routier a pour objectif de s’assurer de la disponibilité et de la pertinence des informations visuelles offertes aux usagers en vérifiant qu’elles sont conformes aux guides et réglementations en vigueur. Mais pour diagnostiquer des défauts de lisibilité et évaluer des solutions, il faut confronter les caractéristiques de l’infrastructure (l’offre) aux comportements des conducteurs (la demande). Pour ce faire, différentes approches sont envisageables : la conduite naturelle, les véhicules instrumentés, les simulateurs et le recueil d’expériences.

Les expérimentations en conduite naturelle consistent à observer le comportement d’un groupe d’automobilistes dans leurs déplacements quotidiens grâce à une instrumentation discrète de leurs véhicules (pour éviter de perturber le comportement), sur une période relativement longue. Les États-Unis ont été les précurseurs de cette méthode en suivant une centaine de véhicules pendant une année (projet « *100-car naturalistic study* »). En France, en 2014, le projet SVRAI (Sauver des vies par le retour d’analyse sur incidents) a déployé plusieurs centaines d’enregistreurs de données pour détecter et caractériser les quasi-accidents, notamment en lien avec les caractéristiques de l’infrastructure.

Lorsque l’instrumentation ne peut pas être discrète ou lorsque la situation étudiée ne nécessite pas un recueil de données au long cours, il est possible d’employer des véhicules plus lourdement

instrumentés. Le VOICIE (Véhicule d'observation de l'interaction du conducteur avec l'infrastructure et l'environnement de la route) du Cerema et le VICTOR (Véhicule instrumenté pour l'étude du comportement du conducteur) de l'Ifsttar enregistrent notamment la direction du regard du conducteur pour étudier la prise d'information visuelle. Le premier a été utilisé dans le cadre de l'opération de recherche I2V (Impact des informations visuelles sur les comportements de conduite) pour examiner la prise d'informations visuelles à l'approche de carrefour en fonction du régime de priorité. Grâce au second, les difficultés spécifiques des conducteurs âgés en environnement urbain et péri-urbain ont pu être identifiées dans le cadre du projet européen Safemove.

Lorsque la situation étudiée n'existe pas sur la route (projet d'aménagement) ou qu'elle présente un danger pour le conducteur (visibilité réduite), il peut être fait appel à la simulation de conduite. Bien que leur fidélité fasse encore l'objet de recherches, les simulateurs de conduite représentent une alternative intéressante pour étudier le comportement de conduite dans des conditions contrôlées (**figure 3**). Ainsi, c'est sur simulateur, dans le cadre du projet LUCOS (Lutte contre les prises à contresens sur 2x2 voies), qu'a été établie l'efficacité du nouveau panneau de sens interdit sur fond jaune vif, introduit dans l'instruction interministérielle sur la signalisation routière en 2015.

Figure 3

Plate-forme de simulation Ifsttar déployée au Cerema (à gauche) et maquette numérique d'une section de la RD 786 (à droite), réalisée en vue d'étudier le comportement de conduite sur les zones de transition.

© Ifsttar et Cerema



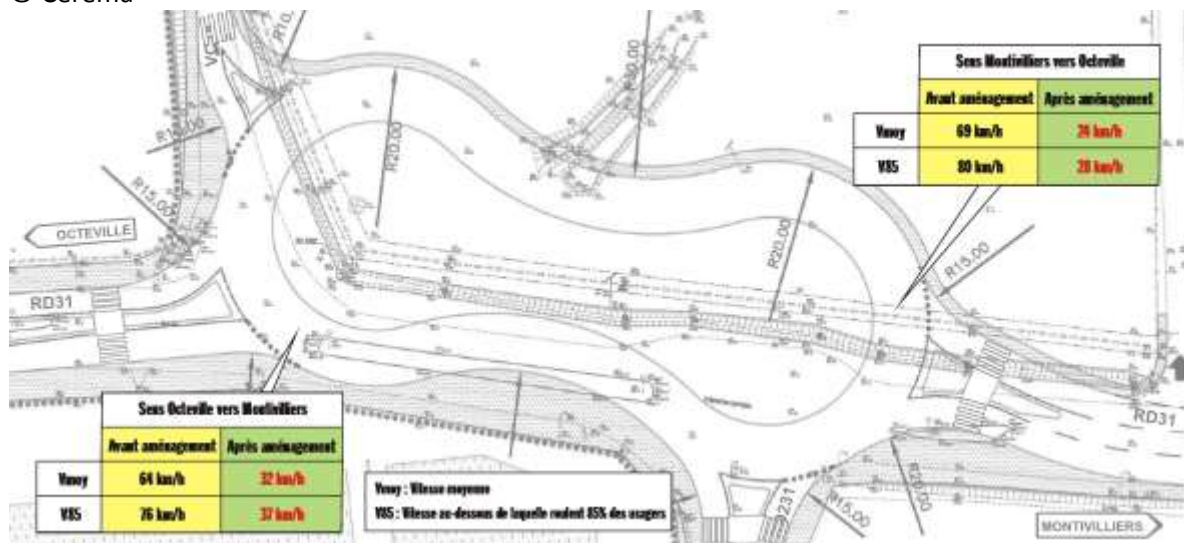
Les outils de diagnostic précédents sont centrés sur l'utilisateur, mais les caractéristiques et les usages de la route peuvent également être confrontés à l'aide d'observatoires de trajectoires ou de vitesses et, plus couramment, en assurant la capitalisation des expériences positives. C'est l'objectif de la démarche proactive RACA (Route autrement pour une conduite apaisée), initiée en 2006 par le Cerema. Cette démarche consiste à documenter, sous forme de fiches d'expérience ou de fiches recherches, les solutions innovantes d'aménagement de la route lorsqu'elles font l'objet d'une évaluation avant/après, afin de partager les bonnes pratiques et de faire évoluer la doctrine et la réglementation en y intégrant les solutions qui contribuent efficacement à la lisibilité routière.

Le carrefour « cacahuète », par exemple, est un nouveau type de giratoire issu d'un ajustement des recommandations techniques existantes. Il a été expérimenté par le département de Seine-Maritime (**figure 4**), cet aménagement visait notamment à sécuriser les échanges dans une intersection. Plusieurs années après sa mise en service, le bilan est satisfaisant. D'autres aménagements de ce type sont en cours d'expérimentation afin d'en optimiser la conception géométrique⁴.

Figure 4

La Route autrement pour une conduite apaisée : exemple du carrefour « cacahuète », évalué en Seine-Maritime.

© Cerema



Conclusion

Il est établi, et intégré dans la doctrine technique, que la visibilité et la lisibilité de la route contribuent à la sécurité de ses usagers. Les outils à base d'imagerie routière se développent pour caractériser l'offre de visibilité et de lisibilité, en vue d'identifier et d'évaluer objectivement les défauts. Le choix et l'évaluation de solutions efficaces passent par l'observation des comportements des usagers, d'autant que la manière dont ces derniers perçoivent la route est en train d'évoluer :

- Le vieillissement de la population diminue les capacités visuelles et cognitives du conducteur, ce qui affecte les distances de visibilité et les temps de réaction.
- La délégation progressive de la conduite implique que la route soit aussi visible et lisible par les dispositifs embarqués dans le véhicule.

Pour relever ces défis, il est essentiel d'encourager les efforts de capitalisation des données et des expériences. On ne peut donc que se féliciter de la création de l'Observatoire national de la route en janvier 2016.

Références

¹ P. Van Elslande, « Erreurs de conduite et besoins d'aide : une approche accidentologique », *Actes des Journées d'étude en psychologie ergonomique (EPIQUE'2001)*, pp. 51-62, Société française de psychologie, 2001.

² L. Patte, « Nouvelles modalités de définition des recommandations pour plus de flexibilité et de cohérence. Solutions pour une exploitation de la route respectueuse de l'environnement et de la sécurité » (SERRES), rapport de l'action 4.1, Cerema, février 2015.

³ P. Foucher, éd., *Détection et Reconnaissance de la signalisation verticale par analyse d'images*, collection « Etudes et Recherches des Laboratoires des Ponts et Chaussées », CR 53, Ifsttar, 2010.

⁴ O. Moisan, C. Tarron, O. Bisson, « Le carrefour « cacahuète », un nouveau type de giratoire », Fiche d'expérience Sétra, collection « La route autrement pour une conduite apaisée », mai 2010.