



**HAL**  
open science

# MODELISATION 3D DE ROUTES PAR TELEMETRIE LASER EMBARQUEE POUR LA MESURE DE DISTANCE DE VISIBILITE

Xavier Brun, Francois Goulette, Pierre Charbonnier, Christophe Bertoncini,  
Sébastien Blaes

► **To cite this version:**

Xavier Brun, Francois Goulette, Pierre Charbonnier, Christophe Bertoncini, Sébastien Blaes. MODELISATION 3D DE ROUTES PAR TELEMETRIE LASER EMBARQUEE POUR LA MESURE DE DISTANCE DE VISIBILITE. Journées des Sciences de l'Ingénieur, Dec 2006, Marne-la-Vallée, France. hal-01259679

**HAL Id: hal-01259679**

**<https://hal.science/hal-01259679>**

Submitted on 21 Jan 2016

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## MODELISATION 3D DE ROUTES PAR TELEMETRIE LASER EMBARQUEE POUR LA MESURE DE DISTANCE DE VISIBILITE.

Xavier BRUN<sup>1</sup>, François GOULETTE<sup>1</sup>, Pierre CHARBONNIER<sup>2</sup>, Christophe BERTONCINI<sup>2</sup>, Sébastien BLAES<sup>2</sup>  
*1 Centre de Robotique (CAOR), Mines Paris*  
*2 Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Strasbourg, ERA « Méthodes Optiques » du LCPC*

### Résumé

La plateforme LARA-3D, développée au Centre de Robotique de Mines Paris, est un système de télémétrie laser embarquée sur véhicule permettant de numériser des environnements routiers ou urbains à la vitesse du déplacement, et d'obtenir ainsi des nuages de points 3D denses. Nous présentons l'utilisation de ce système à des fins de mesure de distances de visibilité sur des routes, effectuée dans le cadre du projet SARI/VIZIR, en partenariat avec le LRPC de Strasbourg.

## 1 Introduction

Lors de ses déplacements, un usager de la route doit pouvoir maîtriser la trajectoire de son véhicule, d'autant plus qu'il évolue dans un environnement où se trouvent d'autres usagers, tant piétons que cyclistes ou automobilistes, dont il doit également tenir compte. Plus la visibilité est importante, plus l'usager dispose d'un délai important pour percevoir, comprendre son environnement et agir en conséquence. La façon dont il appréhende son environnement dépend de facteurs de nature photométrique, comme le contraste obstacles-chaussée, ou conjoncturelles, comme les conditions météorologiques ou la présence d'obstacles sur les voies. Cependant, cette perception est, avant tout, liée à la configuration géométrique de la route et de ses abords. Cette notion, que nous qualifierons de visibilité géométrique offerte, est un critère primordial en termes de sécurité routière.

Les moyens qui existent actuellement pour évaluer cette distance de visibilité offerte sont peu nombreux (Delaval *et al.* 2005). Il existe, en particulier, un système développé par le LRPC de Saint Brieuc (LRPC de Saint Brieuc, 2005), qui réalise une mesure que l'on peut qualifier de « directe ». Le relevé est effectué par un opérateur à bord d'un véhicule en circulation sur la route étudiée. L'opérateur indique s'il voit ou non, un véhicule cible maintenu à distance constante du véhicule où il se trouve. Cette méthodologie, associée au logiciel nommé Visuline, est donc dépendante de la distance de visibilité que l'on souhaite vérifier sur le terrain.

Nous proposons, dans une approche alternative, un système de mesure *hors-ligne* de la visibilité offerte au conducteur. Pour cela, nous effectuons au préalable une cartographie 3D de la route et de ses abords par le prototype LARA-3D (Abuhadrous *et al.*, 2003). Le modèle numérique obtenu sert ensuite à estimer la distance de visibilité offerte par l'infrastructure. La raison principale qui nous a guidés vers cette méthode est la diversité des mesures qui peuvent être effectuées sur le modèle, à partir d'un unique relevé sur le terrain. Une fois la distance de visibilité offerte calculée, nous pouvons la comparer avec celle requise par les recommandations officielles.

Nous présentons au paragraphe 2 la création des modèles 3D à partir du recueil de données réalisé par le véhicule LARA-3D. Au paragraphe 3, nous détaillons l'exploitation de ces données pour l'obtention de l'estimation des distances de visibilité offerte et requise et leur comparaison.

## 2 Modélisation 3D

La plateforme d'acquisition LARA-3D est un système de télémétrie laser embarqué sur un véhicule géo-localisé, permettant de numériser des environnements routiers ou urbains. L'une des particularités du système est de démontrer la faisabilité d'un traitement temps réel des données capteurs brutes au cours du déplacement, ouvrant la voie à l'acquisition à grand volume et grande vitesse (Goulette *et al.*, 2006). Il se compose de deux éléments : le premier est un système de géo-localisation, et le second, un système de télémétrie laser.

### 2.1 Localisation du véhicule

La localisation utilisée par le prototype LARA-3D est un filtre de Kalman étendu, intégrant les données issues d'un GPS et celles d'une centrale inertielle. L'intégration GPS/*Inertial Navigation System* (INS) permet l'amélioration de la précision de la localisation et la correction de certaines erreurs ou absences de mesure provenant du GPS. Une approche de type « couplage faible » (*loosely coupled*) d'intégration a été développée (Abuhadrous *et al.*, 2003).

### 2.2 Obtention du nuage de points 3D

Un télémètre laser à balayage a été installé de manière à numériser un plan perpendiculaire à la direction de conduite (Figure 1). Connaissant la géo-localisation du véhicule par la fusion GPS/INS décrite ci-dessus, il est possible de géo-référencer et recalibrer les coupes laser successives obtenues au fil de la progression du véhicule. On obtient ainsi une couverture des routes et de leur environnement proche (bâtiments, végétation) sous la forme d'un nuage de points 3D dense.

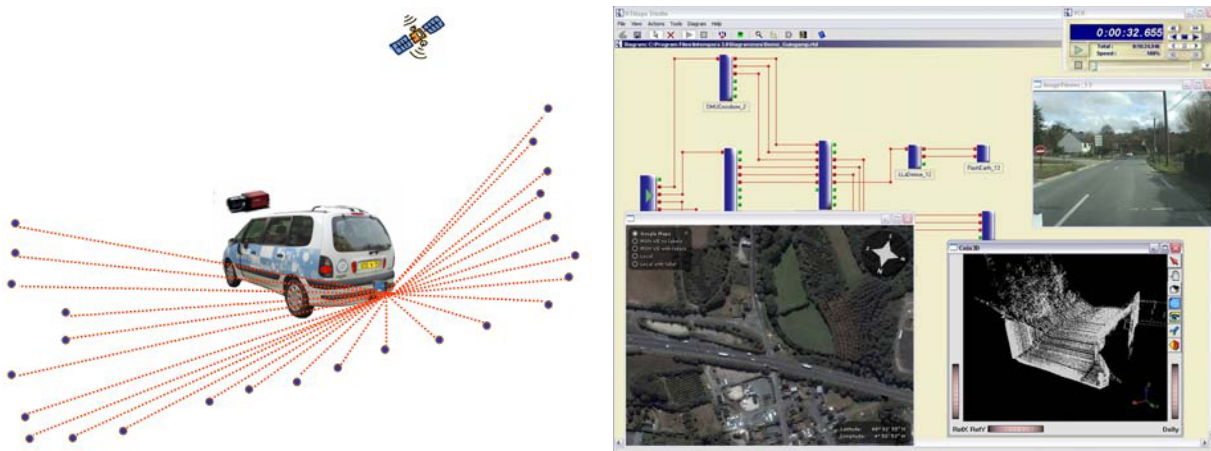


Figure 1 - Plateforme d'acquisition LARA-3D (à gauche), environnement logiciel RTMaps © (à droite).

Tous ces traitements sont effectués en temps réel sur l'ordinateur embarqué sur le véhicule grâce au logiciel RTMaps© (Intempora, 2006). Celui-ci permet, en même temps que le traitement, l'horodatage des données enregistrées. Ceci permet de « rejouer » *hors ligne* les données et d'effectuer éventuellement de nouveaux traitements. La Figure 1 illustre le « rejeu » de données issues d'une campagne menée dans le département des Côtes d'Armor pour les besoins du projet SARI/VIZIR : dans la fenêtre supérieure droite, on visualise la vue embarquée ; dans celle en bas à gauche, on positionne le résultat de notre système de localisation sur les cartes de Google Earth© et enfin, dans la dernière fenêtre, on montre le nuage de points qui se forme au fur et à mesure du « rejeu ».

### 2.3 Triangulation du modèle 3D

A partir des points 3D, nous reconstruisons un modèle à facettes des différents éléments de la scène : route, végétation, bâtiments. Nous repérons pour cela les plans (horizontaux pour la route et verticaux

pour les façades de bâtiments) par une segmentation par histogramme (Ammoun *et al.*, 2004). Ces plans sont, par la suite, triangulés selon la méthode de Delaunay. L'enveloppe convexe des autres objets sert à leur représentation (Figure 2).

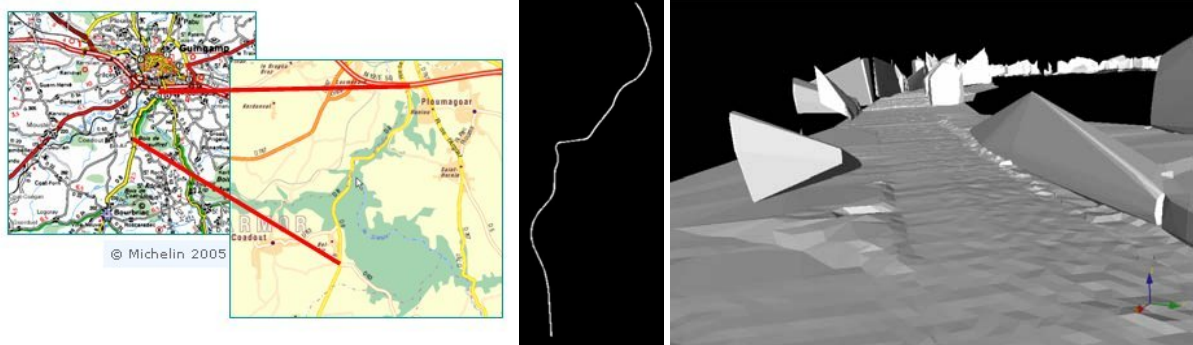


Figure 2 – Plan de situation du secteur étudié (RD 8, Côtes d'Armor) et détail du modèle de route avec les objets du bas-côté.

### 3 Mesure de la distance de visibilité

#### 3.1 Définitions normatives

Le vocabulaire de la visibilité est très riche (Brémond 2006) et les définitions de la distance de visibilité, nombreuses. Une étude des principaux documents officiels de recommandations pour l'aménagement routier (ARP, ICTAAL, ICTAVRU, IISR) fait apparaître une bonne douzaine de définitions différentes, ayant pour point commun cependant d'être fonctionnelles, c'est-à-dire dépendantes d'un scénario ou d'une situation d'usage de la route. Ainsi, dans l'ARP, on distingue la visibilité sur virage, sur obstacle localisé sur la voie, en intersection ou pour le dépassement. Parmi ces scénarios, nous avons retenu dans un premier temps la distance de visibilité sur obstacle, qui nous semble la plus adaptée aux analyses d'itinéraires à risque.

La distance de visibilité sur obstacle (ARP 1994) correspond à la distance nécessaire à un usager pour s'arrêter devant un obstacle situé sur la voie où il circule. Elle se compose de la distance de réaction, produit de la vitesse et d'un temps de réaction arbitrairement fixé à 2 secondes, et de la distance de freinage nécessaire pour passer de la vitesse normalisée  $V_{85}$  (vitesse en dessous de laquelle roulent 85 % des usagers) à 0. Dans ce scénario, le point d'observation se situe à une hauteur de 1 m, et à 2 m du bord droit de la chaussée et l'objet observé correspond aux feux d'un véhicule (hauteur 0,35 m) ou d'un rocher (hauteur 0,15 m).

#### 3.2 Calcul de la distance de visibilité requise

La distance de visibilité requise dépend de la vitesse conventionnelle  $V_{85}$  et des caractéristiques du tracé. Ces dernières sont, pour l'instant, déterminées à partir de la trajectoire du véhicule porteur, supposé rouler au centre de la voie lors des acquisitions. L'adaptation d'un système de positionnement latéral par vision (Jeng 2004) permettra prochainement de calculer plus précisément la trajectoire de la voie.

Dans un premier temps, la trajectoire est ré-échantillonnée avec un pas régulier (1 m, typiquement). Ensuite, le rayon de courbure est déterminé en chaque point, comme le rayon du cercle approchant au mieux, au sens des moindres carrés, une portion de la trajectoire centrée sur le point. La longueur de cette portion est réglée de façon à obtenir un niveau de lissage proche de celui des mesures directes (Figure 3). Le rayon de courbure sert également à segmenter le tracé en plan. Enfin, le profil en long est également segmenté de façon à localiser les rampes.

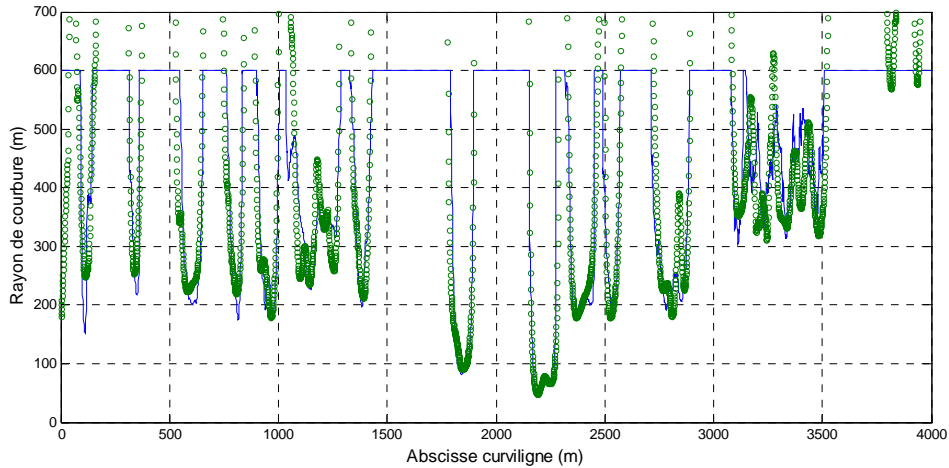


Figure 3 - Rayon estimé (cercles vert) et mesuré par le véhicule d'inspection VANI du LRPC de Lyon (trait bleu) sur le secteur RD8.

Comme suggéré dans l'ARP, la vitesse V85, modulée selon le rayon de courbure et la pente des rampes, subit un écrêtage en fonction des limitations de vitesse. Le résultat est lissé de façon à éviter les discontinuités correspondant à des accélérations supérieures à  $1 \text{ m.s}^{-2}$  (ICTAVRU, 1990). On en déduit la distance de freinage, puis la distance d'arrêt. Contrairement aux recommandations de l'ARP, cette dernière n'est pas modulée dans les virages, de façon à éviter d'introduire à nouveau des discontinuités.

### 3.3 Calcul de la distance de visibilité offerte

Trois algorithmes de calcul de visibilité offerte ont été mis en œuvre. Dans un premier temps, nous appliquons presque à la lettre le scénario de l'ARP. La seule modification est que les deux feux arrière d'un véhicule arrêté en pleine voie sont effectivement considérés, et non un point unique selon la simplification proposée. La technique classique du lancer de rayons est mise en œuvre pour vérifier la visibilité entre deux points. La visibilité offerte est calculée en chaque point de la trajectoire, en reculant progressivement la cible jusqu'à ce que l'un des deux feux soit masqué par un élément du modèle. On avance alors le point d'observation et ainsi de suite. Le calcul est effectué à l'aide du logiciel « Ballad » développé au LRPC Strasbourg (Figure 4).



Figure 4 - A gauche, vue de dessus de l'itinéraire (RD 11, Yvelines) et vue embarquée (image LROP) ; à droite, modèle 3D avec un lancer de rayon rencontrant un mur dans le logiciel Ballad.

L'un des intérêts des modèles 3D est la richesse des simulations que l'on peut effectuer. Ainsi, le deuxième algorithme implanté réalise le calcul du pourcentage de visibilité d'un objet 3D demeurant à distance fixe du point d'observation. Dans un premier temps, l'objet seul est dessiné en mémoire et on calcule sa surface visible. Dans un second temps, la scène est dessinée en superposition, sans aucun effet d'ombrage, et la surface visible de l'objet est, à nouveau, déterminée. Le rapport des deux surfaces

calculées fournit le pourcentage de visibilité. Le calcul se poursuit de la même façon à la position suivante. Notons que l'objet n'est jamais dessiné à l'écran (contrairement à ce que pourrait suggérer l'exemple de la Figure 5), tous les calculs étant effectués dans la mémoire de la carte graphique de l'ordinateur (GPU). Les performances de l'algorithme dépendent donc des caractéristiques de celle-ci et, notamment, de la résolution utilisée.

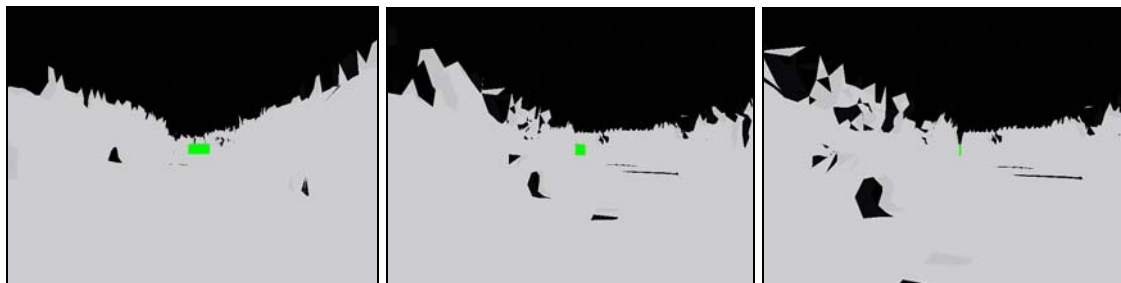


Figure 5 - Calcul du pourcentage de visibilité d'un objet 3D à distance fixe. L'objet est d'abord tracé (en vert) et la scène lui est alors superposée (en gris). Cas d'une entrée de virage (RD11, Yvelines).

Notons que si l'on applique un seuillage au pourcentage de visibilité, on obtient un test de type « vu / non vu », équivalent numérique de la méthode développée par le LRPC de Saint-Brieuc. Une comparaison expérimentale des deux techniques est prévue prochainement.

Enfin, le troisième algorithme implanté fusionne, en quelque sorte, les deux premiers. Comme dans le second scénario, le pourcentage visible de la cible est calculé pour chaque point d'observation. Comme dans le premier, la cible est progressivement reculée jusqu'à devenir invisible, c'est-à-dire jusqu'à ce que sa surface visible devienne inférieure à un certain seuil. On obtient ainsi une version plus « réaliste » du test que par application directe de l'ARP et les résultats sont généralement moins bruités.

### 3.4 Comparaison des distances de visibilité

La dernière étape consiste à comparer la distance de visibilité offerte, calculée le long de la trajectoire à partir du modèle 3D, à celle requise, calculée d'après les documents officiels (Figure 6, gauche).

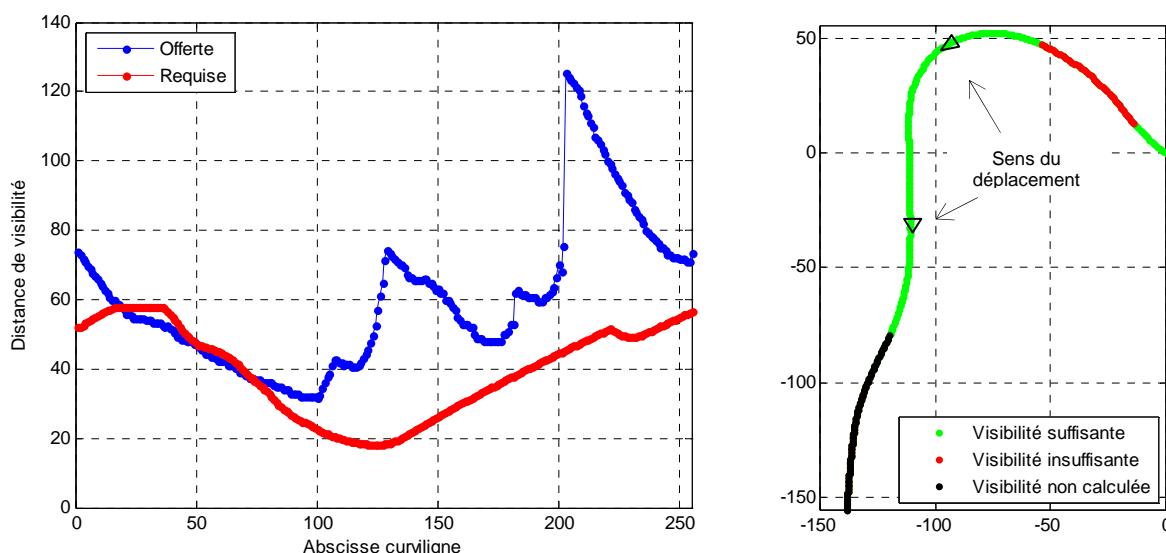


Figure 6 - A gauche, comparaison des distances requises (en rouge) et offertes (en bleu) ; à droite, cartographie de la visibilité (secteur RD11). En vert : visibilité suffisante, en rouge : visibilité insuffisante, en noir : visibilité supérieure aux limites du modèle 3D.



Sur l'exemple montré, on constate que la distance requise décroît, ce qui correspond à la diminution de la vitesse supposée en virage (ajustement du V85 selon le rayon de courbure), puis augmente à nouveau dans la ligne droite. La distance de visibilité offerte est insuffisante en entrée de courbe, comme le montre le second graphique (Figure 6, droite). Dans cette expérience, la distance de visibilité offerte est calculée selon le troisième scénario (distance de visibilité maximale d'un objet 3D sur la voie, le seuil de visibilité d'un objet étant fixé à 50 %).

## 4 Conclusion

Nous avons présenté dans cette étude un système de numérisation et modélisation 3D de la route et de ses abords, fournissant un modèle numérique. Celui-ci est ensuite exploité *hors-ligne* pour estimer la distance de visibilité disponible pour un conducteur circulant sur la section courante. L'estimation de la distance de visibilité que nous effectuons sur le modèle utilise des techniques classiques de visualisation 3D et les capacités du processeur graphique. Les résultats peuvent être comparés à la distance requise, préconisée dans les documents officiels, et représentés sous forme de cartes. Si la méthode est, naturellement, tributaire de la qualité du modèle numérique acquis, elle offre l'avantage de permettre une reproduction illimitée des expériences, en faisant varier les paramètres des scénarios considérés, voire les définitions de la distance de visibilité.

## 5 Références bibliographiques

Abuhadrous I., Nashashibi F., Laugeau C., Goulette F. (2003) "Onboard Real-time system for Digitizing and Geo-referencing of 3D Urban Environments". *Proc. of the 11th International Conference on Advanced Robotics*, pp. 479-483, University of Coimbra, Portugal.

Ammoun S., Abuhadrous I., Nashashibi F., Goulette F., Laugeau C. (2004), « Modélisation 3D d'environnement urbains et routiers numérisées par télémétrie laser embarquée ». *Actes du congrès Numérisation3D-Scanning*, Paris.

Brémond R. (2006), « Vocabulaire de la visibilité routière », *rapport technique SARI/VIZIR*, DRAST.

Delaval E., Charbonnier P., Kerdudo K. (2005), *Mesure de la visibilité – Les différents systèmes disponibles*, Axe 3 – Amélioration de la pertinence des études de sécurité, Opération Sécurité des Itinéraires.

Goulette F., Nashashibi F., Abuhadrous I., Ammoun S., Laugeau C. (2006), "An Integrated On-Board Laser Range Sensing System for On-The-Way City and Road Modelling". *Int Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol 34, Part A.

Jeng S.S. (2004), *Méthodes robustes pour la détection et le suivi des marquages*, Thèse de doctorat, Université Paris VI.

Intempora (2006), *RT MAPS User's Manual*. Intempora SA. <http://www.intempora.com>

LRPC de Saint-Brieuc (2005), *Présentation de Visuline*, Séminaire Caractéristique routière et Sécurité.

### Documents officiels de recommandations techniques (règles de l'art) :

ARP (1994) Aménagement de Routes Principales (SETRA), Chapitre 4 et Annexe 3.

ICTAVRU (1990) Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines (CETUR), Titre II, Partie 1.

ICTAAL (2000) Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison.

IISR (1988) Instruction Interministérielle sur la Signalisation Routière, septième partie : marques sur chaussées, page 19 à 21.