

SUR LE DIAGNOSTIC DE LA VISIBILITE DE LA ROUTE

Ingénieur ESSI (Université de Nice Sophia Antipolis) en 1991, docteur en sciences pour l'ingénieur de l'Université de Nice Sophia Antipolis (1994). Depuis 2005, responsable de l'ERA27 au Laboratoire Régional de Strasbourg.



Pierre CHARBONNIER
ERA 27, LCPC CETE de l'Est
Strasbourg, France



Jean-Philippe TAREL
LEPSIS, INRETS-LCPC
Paris, France

Ingénieur civil des ponts et chaussées (ENPC 1991), docteur en mathématiques appliquées à l'université Paris Dauphine (1996). Depuis 2004, chercheur au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) à Paris.

Résumé

La distance de visibilité de la route joue un rôle important pour la sécurité routière et en particulier, a un impact évident sur le choix des limites de vitesse. Alors que les critères de visibilité sont systématiquement pris en compte lors de la conception des routes, seuls quelques systèmes existent actuellement pour estimer la distance de visibilité sur un réseau routier existant. Pour la plupart, les systèmes opérationnels comportent un véhicule cible suivi à distance constante par un véhicule d'observation. De tels procédés permettent seulement de vérifier si une distance de visibilité fixe est disponible. Nous proposons deux nouvelles approches qui permettent d'estimer la distance de visibilité disponible, à partir d'un seul véhicule et fondées sur différentes technologies de capteurs, à savoir la stéréovision binoculaire et un capteur 3D laser (LIDAR). Ces approches ont été développées dans le cadre du projet SARI-VIZIR du PREDIT. Les deux approches sont décrites, évaluées et comparées. Leurs avantages et inconvénients par rapport au système avec véhicule suiveur sont également discutés.

Mots-clés: Sécurité routière, inspection de la route, véhicule d'inspection, distance de visibilité, stéréovision, lidar.

Abstract

Visibility distance on the road pathway plays a significant role in road safety and in particular, has a clear impact on the choice of speed limits. While visibility distance criteria are routinely taken into account in road design, only a few systems exist for estimating it on existing road networks. Most existing systems comprise a target vehicle followed at a constant distance by an observer vehicle, which only allows checking if a fixed visibility distance is available. We propose two new approaches that allow estimating the available visibility distance, involving only one vehicle and based on different sensor technologies, namely binocular stereovision and 3D range sensing (LIDAR). These approaches were developed in the context of the SARI-VIZIR PREDIT project. Both approaches are described, evaluated and compared. Their pros and cons with respect to vehicle following systems are also discussed.

Keywords: Road Safety, Road inspection, Inspection vehicle, Visibility distance, Stereovision, Lidar.

1. Introduction

Nous abordons le problème de l'évaluation de la distance de visibilité le long d'une route existante. Parmi les nombreuses définitions de la distance de visibilité existantes, nous considérons le scénario d'arrêt sur obstacle. Plus précisément, on définit la distance de visibilité requise comme celle nécessaire à un conducteur pour réagir à la présence d'un obstacle sur la chaussée et pour arrêter son véhicule. Cette distance dépend clairement de facteurs tels que le temps de réaction du conducteur et le coefficient d'adhérence de la route. Ces facteurs peuvent être choisis à une valeur conventionnelle correspondant au pire des cas. Ainsi, la valeur du temps de réaction est ici fixée à 2 secondes. Le coefficient d'adhérence est réglé sur une valeur correspondant à une route mouillée. La distance requise dépend aussi, naturellement, de la vitesse du véhicule, dont la valeur conventionnelle peut être choisie comme la V85, c'est-à-dire au 85ème centile de la distribution des vitesses. Naturellement, les statistiques des vitesses ne sont pas disponibles sur tout un parcours. Toutefois, nous pouvons utiliser les mêmes lois, issues d'études statistiques, (SETRA 2000, SETRA 1994), que pour la conception des routes et moduler une valeur fixe V85 conventionnelle (qui dépend du type d'itinéraire considéré) en fonction des caractéristiques géométriques de la route, à savoir la courbure et la pente.



Figure 1 – Le véhicule expérimental (photos CECP) et un couple d'images stéréo.

La distance de visibilité requise doit être comparée à la distance de visibilité disponible, qui est la distance maximale à laquelle un objet peut être vu sur la route en fonction de la géométrie de l'environnement routier. Nous proposons deux approches pour estimer avec précision la distance de visibilité disponible sur un trajet existant en tenant donc compte des sources d'occultations réelles comme les bâtiments et la végétation.

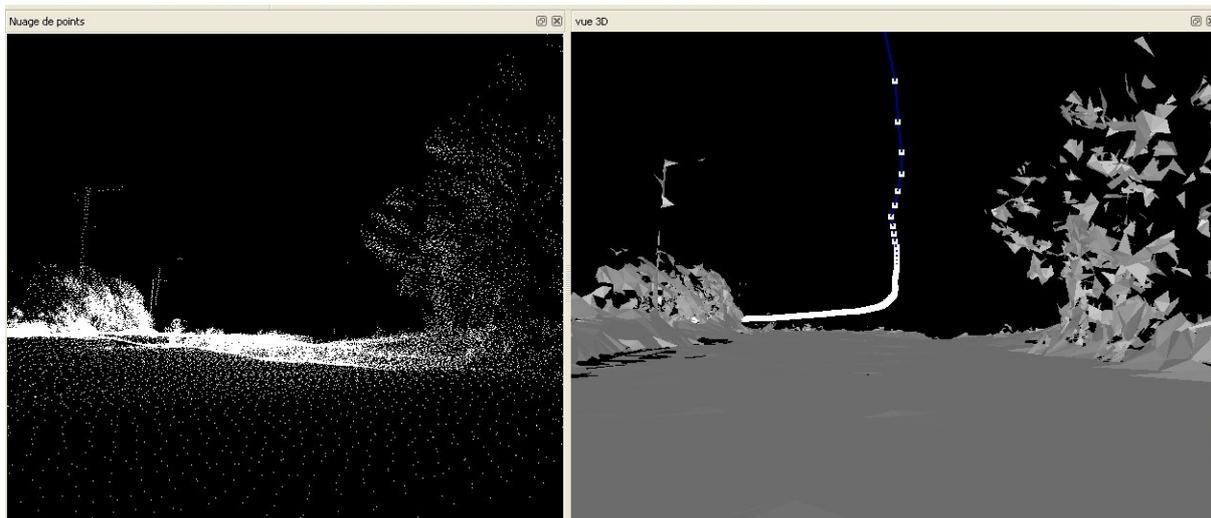
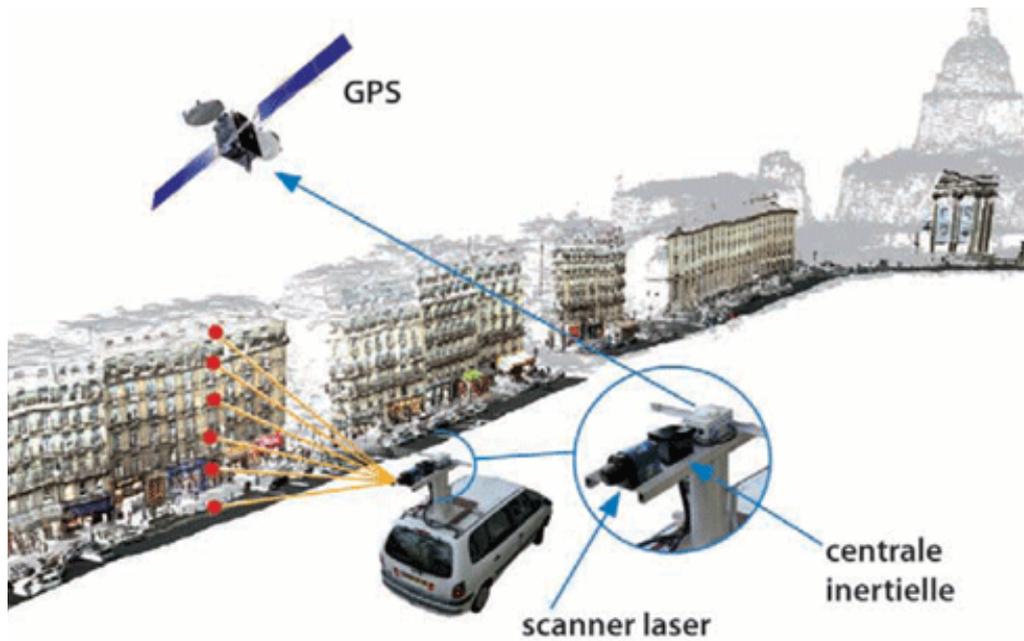


Figure 2 – Le véhicule expérimental LARA-3D du CAOR (Photo Mines ParisTech) avec un exemple de nuage de points 3D obtenu puis maillé.

Ces estimations sont donc différentes des distances de visibilité qui peuvent être calculées lors de la conception d'une route en utilisant des logiciels de conception de tracé routier comme Piste ou Macao. En effet, ce type de calculs est réalisé en supposant une occultation par un masque conventionnel placé à distance constante de la chaussée, tout le long de la route. Au contraire, nous prenons en compte les masquages réels rencontrés le long de l'itinéraire.

Comme l'évaluation de la visibilité de la route par les conducteurs est essentiellement une tâche visuelle, la première approche que nous proposons exploite les images acquises par des caméras montées sur un véhicule d'inspection (Figure 1). L'utilisation d'une seule caméra permettant seulement des mesures 2D, deux caméras sont nécessaires pour prendre en compte, grâce aux techniques de stéréovision, la forme 3D de la route lors de l'estimation de la distance de visibilité. Le système d'acquisition étant réduit à deux caméras couleur et un ordinateur, son coût est assez faible. Des paires stéréo (voir exemple sur la Figure 1) sont acquises tous les 5 mètres le long du parcours, le véhicule roulant à une allure normale, de

façon à s'intégrer dans la circulation. Notons que, dans de telles conditions (éclairage non contrôlé et présence de trafic), la reconstruction 3D demeure une tâche difficile.

Comme alternative, nous avons également étudié l'utilisation des données 3D fournies par un système LIDAR de cartographie mobile terrestre, appelé LARA-3D. Ce prototype est développé par le CAOR (Mines ParisTech) depuis plusieurs années, (Goulette et al., 2006). Son adaptation à la création de modèles 3D de route pour le calcul de la visibilité a été débutée au cours du projet SARI-VIZIR. Lorsque le véhicule se déplace, les points 3D échantillonnés le long de la route sont agglomérés (Figure 2). Le nuage de point ainsi généré est positionné dans un système de référence absolue grâce à l'utilisation de capteurs proprioceptifs (INS) et GPS. Plusieurs algorithmes ont été mis en œuvre afin de générer des modèles 3D comprenant un nombre aussi restreint que possible de facettes triangulaires, à partir des points. Pour supprimer les artefacts de mesure dus à la présence de véhicules, les informations de position du véhicule sur la route et la position approximative des frontières de la route sont utilisées. Pour réduire le nombre de facettes du modèle, un traitement en trois étapes est réalisé : une étape de décimation sur chaque profil scanné, puis une approche basée sur une croissance de région de zones planes obtenues par RANSAC, suivie d'une triangulation BPA, (Bernardini et al., 1999). Ces traitements conduisent à une réduction suffisamment importante du nombre de triangles (facteur 10 ou plus) pour que le modèle 3D puisse être utilisé ultérieurement pour le calcul de la distance de visibilité. Un exemple de modèle de l'environnement de la route est présenté (Figure 2).

Bien que le système d'acquisition soit plus complexe - et, par conséquent, plus coûteux - que dans l'approche par stéréovision, son avantage est que les données 3D sont directement capturées, avec une grande précision.

2. Distance de visibilité par la stéréovision binoculaire

En stéréovision, la distance de visibilité disponible est définie comme la distance maximum des points visibles sur les images de la route. Elle est estimée par trois étapes de traitement de la paire d'images stéréo : segmentation de la chaussée dans chaque vue en utilisant des informations de couleur ; recalage entre les bords des régions correspondant à la chaussée dans les images de gauche et de droite, permettant d'estimer un modèle 3D de la surface de la route ; estimation de la distance maximale 3D de points visibles sur la route.

2.1 Segmentation de la route

La détection de la chaussée étant particulièrement importante pour une estimation correcte de la visibilité, la première étape du traitement consiste à classer chaque pixel, dans les vues gauche et droite, comme appartenant ou non à la route. Cette segmentation repose sur un apprentissage itératif le long de la séquence des caractéristiques de couleur des classes « route » et « non-route ».

Lors de l'étape d'apprentissage, les pixels situés au centre et en bas de chaque image sont considérés comme appartenant à la route tandis que les pixels en haut à gauche et à droite sont utilisés comme échantillons de la classe « non-route » (voir l'image du milieu, figure 3). Les couleurs de la route et de la région « non route » sont collectées sur les images précédentes lorsque le traitement est exécuté en temps réel. Il s'avère cependant plus avantageux de les recueillir sur les images suivantes, lorsque le traitement peut être effectué *hors ligne*. Cette stratégie permet de recueillir des échantillons à différentes distances à l'avant du véhicule.

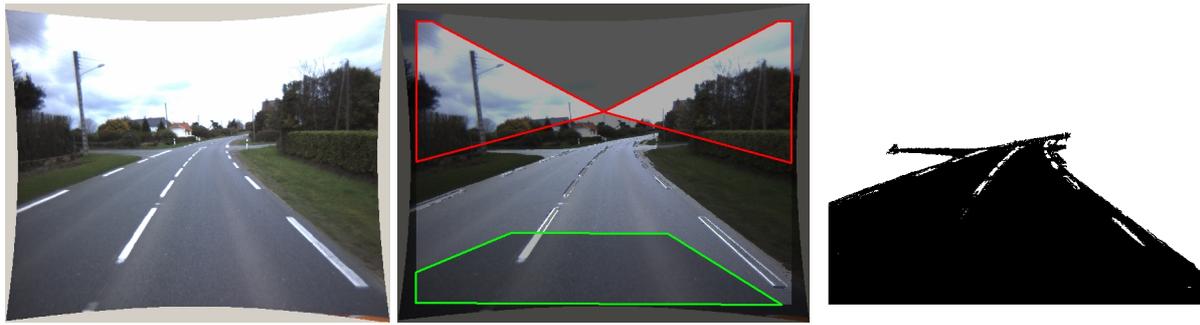


Figure 3 – A gauche : image originale ; au centre : en rouge, zone d'apprentissage de la classe « non route », en vert, *idem* pour la classe « route » ; à droite : résultat de la segmentation. Les pixels de la classe « route » apparaissent en noir.

Cela conduit à une amélioration de la segmentation particulièrement utile en présence de perturbations comme des ombres ou des variations de couleur de la chaussée. Une fois que les modèles de la route et de la région « non route » sont construits, l'image est segmentée en deux classes en utilisant un processus de croissance de la région route à partir de la partie centrale au bas de l'image. La figure 3 à droite présente un résultat de segmentation. Plus de détails sur cet algorithme peuvent être trouvés dans (Tarel et Bigorgne, 2009).

2.2 Recalage des contours et reconstruction du profil de la route

Les contours trouvés dans la région route de l'image gauche et de l'image droite diffèrent en position en raison du changement de point de vue. Cette différence de position est directement liée à la forme de la surface de la route.

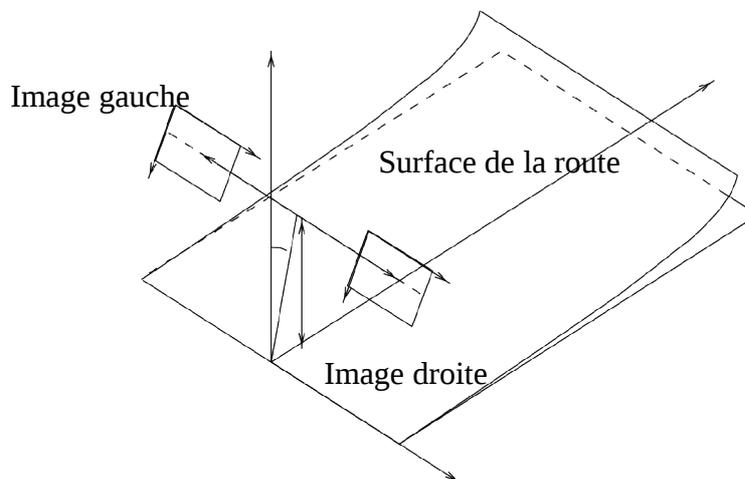


Figure 4 – Configuration géométrique pour l'estimation du profil de la route par stéréovision.

En supposant un modèle paramétrique polynomial de la surface de la route, et plus particulièrement de son profil en long, la deuxième étape consiste à recalibrer les contours extraits de l'image gauche avec ceux de la vue de droite, selon la configuration illustrée sur la figure 4 pour estimer les paramètres du profil. Cet algorithme est décrit en détails dans (Tarel et al., 2007) et se fonde sur un schéma itératif qui alterne entre l'appariement local des pixels de contours sous la forme d'un calcul de pondération et l'estimation proprement dite des paramètres du profil de route.



Figure 5 – Les contours en bleu sont ceux de l’image droite recalés dans l’image de gauche.

2.3 Estimation de la distance de visibilité géométrique

La surface 3D de la route ayant été estimée lors de la deuxième étape du traitement, la distance maximale à laquelle les bords gauche et droit ont pu être mis en correspondance fournit une estimation de la distance de la visibilité de la route. Des exemples de résultats sont présentés sur la Figure 5, où les contours bleus sont ceux de l’image droite après recalage sur l’image gauche qui est affichée, et où la ligne rouge correspond à la hauteur de visibilité estimée dans chaque image. Comme expliqué en détail dans (Bigorgne et al., 2008), l’écart-type de l’estimateur est également calculé, afin de qualifier la valeur estimée de la distance de visibilité.

3. Distance de visibilité à partir d’un modèle 3D de la route et de ses environs

Dans cette approche, nous exploitons les données 3D triangulées fournies par le système LIDAR et la trajectoire obtenue par intégration GPS/INS pour estimer la distance de visibilité.

3.1 Estimation de la distance de visibilité à partir d’un modèle 3D

La définition de la distance de visibilité disponible que nous utilisons dans cette approche est purement géométrique et ne tient compte d’aucune considération photométrique ou météorologique. Elle implique seulement une cible et un observateur. La cible peut, soit être placée à une distance fixe du point d’observation, afin d’évaluer la disponibilité d’une certaine

distance prescrite, ou s'éloigner d'elle jusqu'à ce qu'elle devienne invisible, pour estimer la distance de visibilité maximale sur le modèle 3D.

Des valeurs conventionnelles peuvent être trouvées dans la littérature concernant la conception des routes (SETRA, 2000) (SETRA, 1994), à la fois pour l'emplacement de l'observateur et pour la géométrie et la position de la cible. Le point de vue et la cible sont centrés sur l'axe des voies. Typiquement, le point de vue est situé à 1 mètre de haut, ce qui correspond approximativement à la hauteur d'œil moyenne des conducteurs. La cible conventionnelle est une paire de points représentant les feux arrière d'un véhicule. La cible est considérée visible aussi longtemps qu'au moins un point est visible, c'est à dire tant qu'il est possible de tracer une ligne droite entre le point de vue et l'un des points cible sans rencontrer aucun obstacle. De toute évidence, les algorithmes de lancer de rayon sont bien adaptés à cette tâche. Dans un souci de réalisme, nous avons également envisagé un parallélépipède ($1,5 \times 4 \times 1,3$ m) pour modéliser un véhicule. Dans ce cas, nous avons constaté qu'une bonne règle de base est de considérer une telle cible comme visible si 5% de sa surface est visible. Le seuil a été fixé expérimentalement, de telle sorte que les résultats de l'essai soient comparables à ceux obtenus lors de l'utilisation de la cible ponctuelle conventionnelle.

3.2 Qt-Ballad: un outil pour l'estimation de la visibilité

Nous avons développé un logiciel spécifique, appelé Qt-Ballad dans le cadre du projet SARI-VIZIR du PREDIT. Il permet la navigation dans le modèle 3D (qui peut être visualisé comme un nuage de points ou comme une surface maillée). La trajectoire de la route peut être visualisée dans le modèle 3D. Des cibles volumétriques ou ponctuelles peuvent être placées à différentes distances du point de vue. Afin de rendre plus facile l'interprétation de la scène routière, les images associées peuvent également être visualisées. Naturellement, toutes les vues sont synchronisées et l'interface est entièrement reconfigurable.

Qt-Ballad implémente les calculs de distance de visibilité requise et disponible. Dans le cas d'une cible ponctuelle, conventionnelle, nous utilisons un algorithme de lancer de rayon. Lorsqu'une cible volumétrique est considérée, nous exploitons les capacités de la carte graphique de l'ordinateur. Plus précisément, la cible est d'abord dessinée dans la mémoire graphique, puis la scène est rendue au moyen du Z-buffer et enfin, une requête d'évaluation des parties occultées (standard dans les implémentations actuelles d'OpenGL) fournit le pourcentage de la surface de cible visible. La distance de visibilité peut être calculée à chaque point de la trajectoire (chaque mètre) ou selon un pas fixe (généralement, 5 ou 10 mètres), afin d'accélérer les calculs. Deux façons différentes de calculer la visibilité sont mises en œuvre. Dans le premier cas, une distance constante est maintenue entre le point d'observation et la cible. La sortie est une fonction binaire qui indique en chaque position de l'itinéraire si la distance prescrite est disponible ou non. Dans le second cas, pour toute position du point d'observation, la cible est éloignée jusqu'à ce qu'on ne la voit plus et la distance maximum de visibilité disponible ainsi déterminée est alors enregistrée.

L'interface du logiciel est présentée sur la figure 6. Le panneau en haut à gauche affiche le nuage de point original. Le panneau en haut à droite montre le modèle triangulé (en gris), la trajectoire du véhicule (en bleu), ainsi qu'un parallélépipède figurant une cible volumique placée à 100 m à l'avant du véhicule (en vert). En bas à droite est affichée une image de la scène routière correspondante, acquise lors du relevé des données 3D. Notons que la vue 3D est affichée selon le point de vue du conducteur, tandis que l'image de la scène est prise depuis le mât placé sur le toit du véhicule. Finalement, le panneau en bas à gauche affiche la courbe de visibilité requise (en noir) et celle de la visibilité offerte estimée (en magenta), en

fonction de l'abscisse curviligne. La ligne verticale indique la position courante le long de l'itinéraire. Les courbes montrent que la visibilité offerte est insuffisante dans cette situation. En effet, autour de la position indiquée par le curseur vertical, la visibilité requise est de l'ordre de 125 m, tandis que la visibilité offerte est de 120 m environ. Ainsi, la cible verte est visible lorsqu'elle est placée à 100 m dans le modèle 3D, comme dans l'exemple proposé. Elle ne l'est plus au-delà des 120 m. Ce défaut de visibilité est lié à la présence du talus.

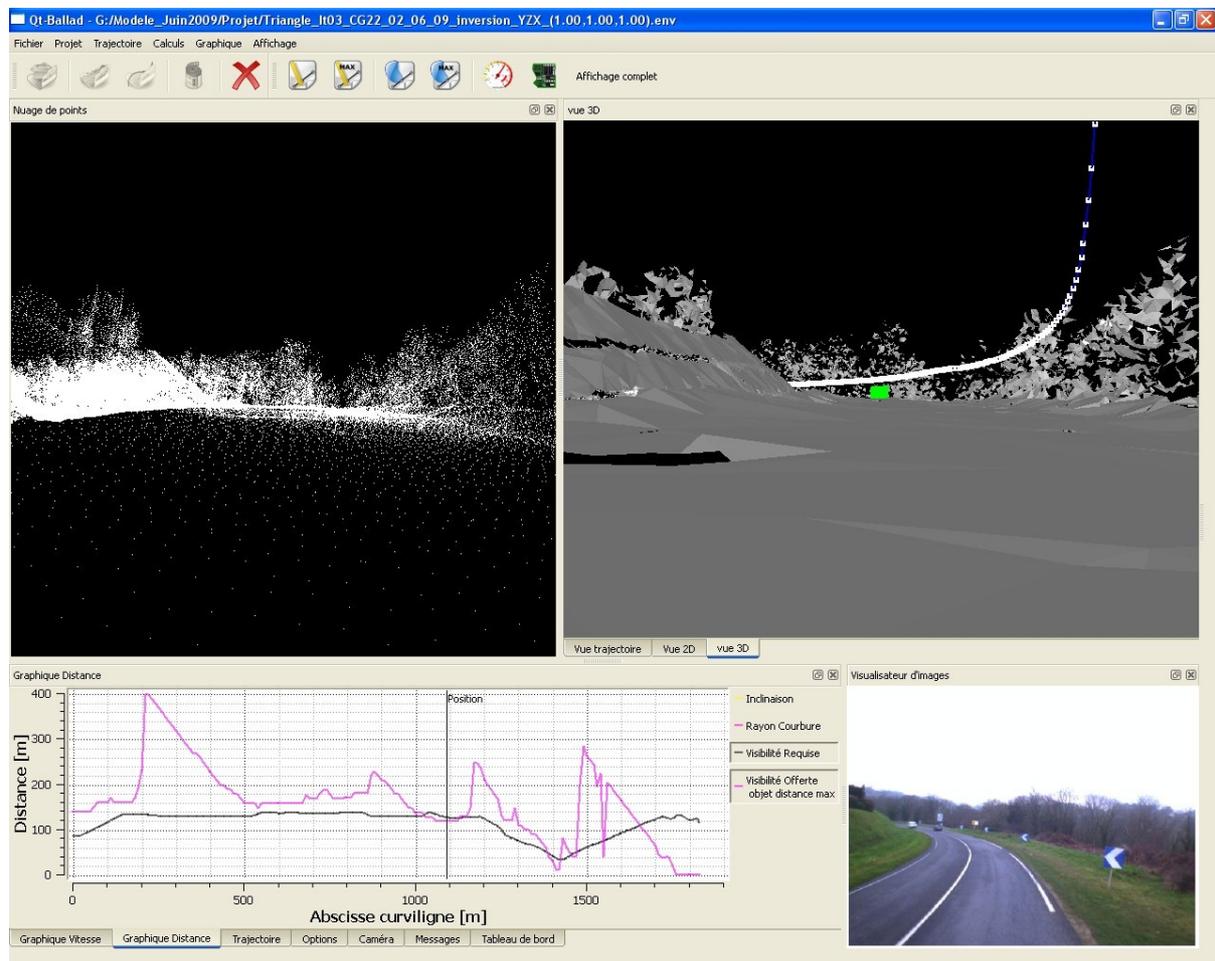


Figure 6 – Interface du logiciel Qt-Ballad.

3.3 Discussion

Dans le cadre du projet SARI-VIZIR du PREDIT, différents types d'itinéraires ont été sélectionnés pour effectuer une étude comparative, détaillée dans (Tarel et al., 2009). Trois approches ont été testées: en utilisant la stéréovision, en utilisant un modèle en 3D et à l'aide d'un système de véhicule suiveur. Cette dernière méthode, appelée VISULINE voir (Kerdudo et al., 2008), est utilisé comme référence. Le système se compose de deux véhicules reliés par radio, qui restent à une distance fixe donnée. L'observateur, dans le second véhicule, vérifie visuellement si le premier véhicule est visible ou non. Pour estimer la distance de visibilité maximale, ce protocole doit être répété pour plusieurs intervalles: 50, 65, 85, 105, 130, 160, 200, 250 et 280 mètres. Le résultat est montré sur la route RD768 (CG22), section de 2 kms, sous la forme d'une courbe verte discontinue, voir Figure 7. Sur la même figure, la distance de visibilité requise, calculée à partir des caractéristiques de la route apparaît en trait continu rouge. Les estimations de la visibilité disponible obtenues par stéréovision sont affichées sous

la forme d'une courbe bleue avec des croix, et la courbe en noir avec des étoiles représente les résultats de l'approche basée sur la modélisation 3D.

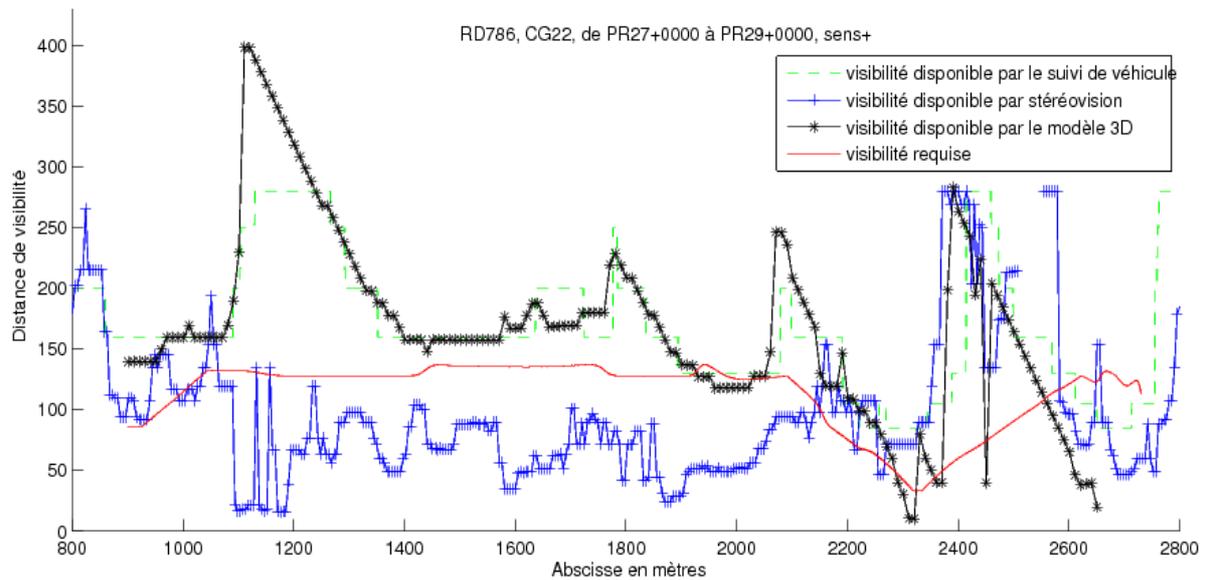


Figure 7 – Comparaison expérimentale des estimations obtenues par les trois approches.

Les résultats montrent que l'approche par stéréovision sous-estime la distance de visibilité sur la majeure partie de la section. Un examen attentif des résultats permet de constater que l'algorithme est très sensible à la présence de véhicules sur la route. En outre, la classification « route » - « non route » des parties lointaines de l'image devient plus difficile lorsque les couleurs sont fades, ce qui se produit dans certaines conditions météorologiques ou pendant l'hiver. Les résultats de la méthode fondée sur le modèle 3D sont en bon accord avec ceux de la méthode de référence. Toutefois, nous rappelons que le système à deux véhicules nécessite plusieurs passages afin d'obtenir ce résultat. En outre, elle est limitée à 280 m, tandis que la distance disponible maximale semble atteindre 400 m environ à l'abscisse 1150 mètres.

En conclusion, cette expérience a montré que, dès lors qu'un modèle 3D précis de la route et de ses environs est disponible, des algorithmes de visualisation bien connus tels que le lancer de rayon ou le *z-buffering* peuvent être mis en œuvre pour estimer la distance de visibilité disponible. Toutefois, l'obtention de tels modèles nécessite des technologies coûteuses et des précautions doivent être prises au cours du traitement du nuage de points. En particulier, le modèle triangulé doit être suffisamment simplifié pour permettre le traitement en vraie grandeur d'itinéraires routiers, sans toutefois y perdre trop d'information utile. D'autre part, la méthode basée sur le traitement de l'image par stéréovision tend à sous-estimer la distance de visibilité en raison des difficultés inhérentes à la tâche de segmentation lointaine de la chaussée. Toutefois, la stéréovision est bon marché et peut s'avérer très précise en champ proche. Nous pensons donc qu'elle pourrait constituer une alternative intéressante aux capteurs LIDAR et nous avons l'intention d'étudier cela dans un avenir proche.

Remerciements

Les auteurs sont reconnaissants au projet SARI-VIZIR du PREDIT pour le financement de ces recherches. Les données VISULINE ont été fournies par le LRPC de St-Brieuc (ERA 33 LCPC).

Références

- Bernardini F., Mittleman J., Rushmeier H. et Silva C. (1999), « The Ball Pivoting Algorithm for surface reconstruction », IEEE Trans. On Visual and Computer Graphics, vol. 5, no. 4, pp. 349-359.
- Bigorgne E., Charbonnier P. & Tarel J.-P. (2008), « Méthodes de mesure de la visibilité géométrique », projet SARI-VIZIR du PREDIT, action 1.2 – Livrable n° 1.2.4.
- 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.
- Kerdudo K., Le Mestre V., Charbonnier P., Tarel J.P. & Le Potier G., « La visibilité géométrique : quels outils de diagnostic ? », Revue Générale des Routes et Autoroutes, n°865, mars 2008.
- SETRA (1994), « ARP : Aménagement de Routes Principales (sauf les autoroutes et routes express à deux chaussées) », 08/1994. Chapitre 4 and Annexes 3.
- SETRA (2000), « ICTAAL : Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison », circulaire du 12/12/2000.
- Tarel J.-P. & Bigorgne E. (2009), « Long-Range Road Detection for Off-line Scene Analysis », Actes IEEE Intelligent Vehicle Symposium (IV'09), Chine, pp. 15-20.
- Tarel J.-P., Charbonnier P., Désiré L., Bill D. & Goulette F. (2009), « Evaluation comparative des méthodes de mesure de la distance de visibilité géométrique », projet SARI-VIZIR du PREDIT, action 3.1 – Livrable n° 3.1.2.
- Tarel J.-P., Ieng S.-S. & Charbonnier P. (2007), « Accurate and Robust Image Alignment for Road Profile Reconstruction », Actes International Conference on Image Processing (ICIP'07), USA, pp. 365-368.