

Cartographie routière précise pour les systèmes d'assistance à la conduite

Pierre-Yves Gilliéron, Hervé Gontran, Bertrand Merminod
Mail : pierre-yves.gillieron@epfl.ch
EPFL - Ecole polytechnique fédérale de Lausanne
Laboratoire de Topométrie, Station 18, 1015 Lausanne

Résumé

Jusqu'à présent, les autorités publiques et l'industrie automobile ont été impliquées dans l'amélioration des conditions de sécurité routière par la prévention des accidents et par la réduction du nombre de blessés sur la route. La plupart des mesures préventives se sont focalisées sur le conducteur, alors que la réduction des conséquences d'un accident s'est concentrée sur la sécurité des véhicules et sur celle de l'infrastructure routière. Aujourd'hui, il est envisageable d'inclure les développements technologiques de la navigation et des télécommunications dans le contexte sécuritaire appliqué au domaine routier. Un nombre croissant d'options sont disponibles pour la sécurité, le confort et le contrôle dans l'automobile. Le recours à ces nouvelles technologies d'assistance à la conduite ne peut pas isolément réduire le nombre d'accidents, mais peut y contribuer de manière significative.

Cette approche globale de la sécurité va impliquer des interactions multiples entre le conducteur, le véhicule et l'environnement routier. Dans ce contexte, la nouvelle génération de systèmes de navigation avec des bases de données routières étendues et plus précises vont offrir un grand potentiel pour le développement de systèmes d'assistance à la conduite (Advanced Driver Assistance Systems – ADAS) [Gilliéron, 2003].

Le contenu actuel de la plupart des bases de données routières ainsi que la qualité de la géométrie routière ne remplissent pas les spécifications des applications ADAS. Pour cette raison, l'acquisition d'une géométrie précise et fiable de la route est indispensable. Ainsi le laboratoire de Topométrie (TOPO) de l'EPFL a développé un système de mobile mapping, appelé *Photobus*, pour la saisie de géométries routières de haute qualité. Ce système, embarqué dans un véhicule, est basé sur une série de capteurs de localisation et d'imagerie permettant l'acquisition et le géoréférencement direct d'images prises le long d'une voie de circulation [Gontran et al, 2004].

Les récentes campagnes de mesures faites avec le *Photobus*, ont fourni des géométries d'axes routiers de haute qualité pour quelques applications de base des ADAS, comme l'alerte sur la vitesse d'approche d'un virage (Curve Speed Warning) et l'alerte de sortie de voie (Lane Departure Warning). Basées sur une géométrie précise, la plupart des caractéristiques de la route (déclivité, dévers, rayons de courbure,...) peuvent être calculées et exploitées dans un système de navigation pour l'automobile.

Cet article se concentre sur l'exploitation d'une cartographie routière précise dans un système de localisation adapté à l'automobile et basé sur l'intégration de GPS avec d'autres capteurs. L'utilisation de la géométrie routière est notamment développée dans les procédés suivants :

- contrôle latéral et longitudinal de la position du véhicule

- applications ADAS pour l'alerte opportune du conducteur

Cet article présente plusieurs tests de localisation du véhicule dans des conditions topographiques variées (trajets sinueux, traversées de villages, forêts,...). Plusieurs trajectoires de véhicules sont comparées à une géométrie de référence afin d'évaluer la performance du système de localisation.

Abstract

Until now, the public authorities and the automotive industry have been involved in improving road safety through accident prevention and injury reduction. Most of the accident prevention measures have focused on the driver, while the ways of reducing the consequences of an accident have focused on the vehicle and on the road infrastructure. It is now time to include the benefits of the new developments of the information society technologies and the navigation community. An increasing number of vehicle control, safety and comfort functions are available on the market. The use of new technologies cannot achieve the target to reduce road fatalities alone, although it can make an important contribution.

An integrated road safety system will use information technologies and intelligent transport systems. This global approach for safety will involve the interaction between the driver, the vehicle and the road environment. In this area, enhanced navigation systems and accurate digital map databases will offer a great potential for improvements, especially when combined with Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) [Gilliéron, 2003].

The present content of most road maps and the quality of the road geometry do not match the specifications of ADAS applications. For this reason, an accurate survey of the road is necessary¹. The Geodetic Engineering Laboratory of the Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne has designed a mobile mapping system for the precise survey of road geometry: the *Photobus*. Its GNSS/INS-based sensors allow georeferencing a picture grabbed by a digital camera. The latter focuses on the centreline and its combination with a feature extraction algorithm enables to map the road in real time [Gontran et al, 2004].

Recent *Photobus* surveys in Switzerland provide high quality road geometry for the development of basic ADAS applications, e.g. Curve Speed Warning, Lane Departure Warning. Based on this precise geometry, main road features (curvature, slope) can be computed to be used in the in-vehicle navigation system.

This paper will investigate the integration of precise road maps in an improved navigation system based on a GNSS receiver and dead reckoning sensors. The use of the road geometry will be available for both processes:

- In-vehicle precise positioning for lateral and longitudinal control
- ADAS application with early warning for safety.

Various tests of vehicle positioning in a rural and forested area are presented. Several trajectories are compared to the precise road geometry in order to evaluate a GPS module.

¹ <http://www.ertico.com/activiti/projects/nextmap/home.htm>

1. Introduction

1.1 Contexte de la sécurité routière

La réduction des accidents de la route est un des objectifs de la politique des transports de l'ensemble des pays européens. Les mesures traditionnelles de prévention se sont focalisées sur le comportement du conducteur et sur l'amélioration de la sécurité passive dans les véhicules. Toutefois, ces mesures conventionnelles atteignent des limites et ce sont de nouvelles technologies associées qui permettront encore de réduire le nombre d'accidents à l'avenir. Ceci sera possible grâce à la combinaison de mesures sécuritaires passives et actives avec des technologies de l'information et de la navigation. Cette approche intégrée s'appuie sur une méthodologie qui tient compte des interactions entre le conducteur, le véhicule et l'infrastructure routière.

Plus de 95% des accidents sont dus à un facteur humain, cas pour lesquels une assistance à la conduite aurait pu s'avérer utile. C'est pour cette raison que l'industrie automobile développe des systèmes d'assistance à la conduite (ADAS) afin d'avertir le conducteur à temps afin qu'il puisse prendre la bonne décision. Un grand nombre d'initiatives privées et publiques sont prises afin de déployer ces mesures intégrées de sécurité routière à des coûts raisonnables.

1.2 Applications ADAS

Une partie des systèmes intégrés de sécurité, dont les ADAS, sont une aide au conducteur afin d'améliorer le contrôle du véhicule. Ces systèmes sont basés sur des capteurs de localisation, un système de cartographie numérique, des moyens de télécommunication et divers détecteurs d'obstacles. L'intégration de ces technologies doit permettre une meilleure détection de dangers potentiels, un avertissement du conducteur et éventuellement un contrôle de certaines fonctions du véhicule.

Le système de localisation est un des composants de base d'un ADAS. Il comprend en général un module GPS/IMU, des capteurs de proximité (radar, CCD) et une base de données cartographiques. Selon les applications ADAS, les exigences pour la précision de la localisation peuvent varier considérablement, selon que l'on considère la position du véhicule le long de sa trajectoire (précision longitudinale) ou perpendiculairement à l'axe de route (précision latérale). Ce qui a un impact direct sur la qualité des bases de données routières: la localisation précise de la ligne centrale, respectivement des différentes voies de circulation, est absolument nécessaire pour le déploiement des applications très exigeantes en terme de contrôle latéral, comme l'alerte sur la vitesse d'approche d'un virage, l'évitement de collision et le maintien du véhicule dans sa voie.

L'industrie automobile et les fournisseurs de cartes de navigation ont formulé des exigences de qualité dans le projet européen NextMAP, dans lequel les participants ont évalué la faisabilité technique et économique de l'amélioration des bases de données routières. En fait, c'est une extension du format standard GDF (Geographical Data Files) qui est proposée, dans l'optique d'étendre le champ des applications de la navigation automobile.

Les deux principales sociétés, Navteq et TeleAtlas, ont commencé à faire l'acquisition de nouveaux jeux de données avec une précision métrique et de nouveaux objets

rouitiers, tout en respectant les exigences de certaines applications ADAS. De nouvelles technologies d'acquisition, comme le mobile mapping, ont permis de réduire les coûts de saisie sur le terrain tout en améliorant la qualité de la couverture et du produit final [Pandazis, 2002].

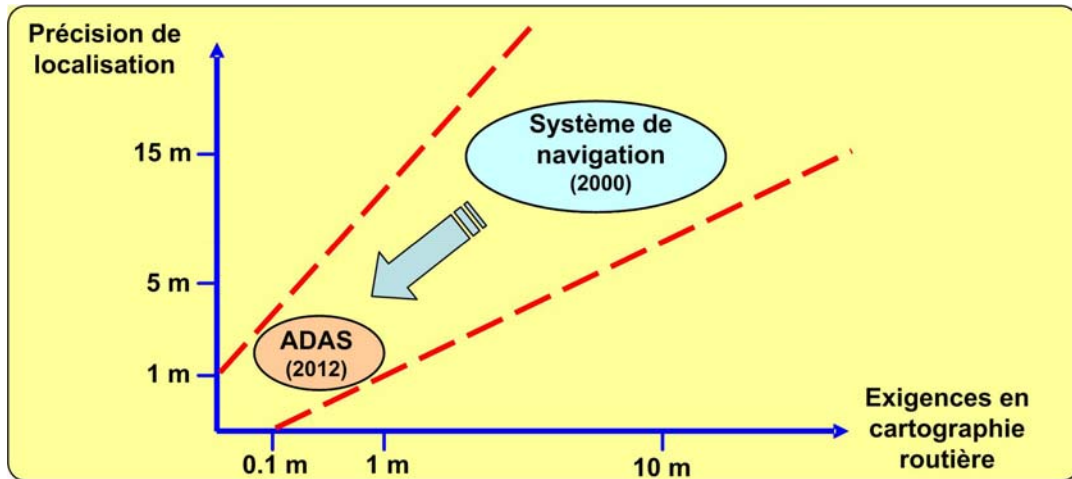


Figure 1 : Exigences de localisation dans les applications ADAS

La figure 1 illustre l'évolution de la qualité des bases de données routières comparées à la performance de la localisation des véhicules. La plupart des futures applications ADAS devront permettre la localisation avec précision et fiabilité d'un véhicule dans une voie de circulation. Le développement des techniques de navigation et la création de base de données routières plus précises devront être coordonnés de manière à satisfaire les exigences de la prochaine génération des systèmes de navigation.

2. Géométrie de la route

Un grand nombre d'applications ADAS exigent la combinaison de techniques de localisation précise et de bases de données routières étendues. Les données géographiques jouent un rôle primordial et le succès de l'introduction des ADAS sera grandement lié à la qualité des données. L'utilisateur perdrait toute confiance dans le système, si les données s'avèrent non fiables ou pas à jour. Dans ce contexte, la géométrie routière est un des éléments fondamentaux de la base de données, qui doit être restitué avec précision et fiabilité.

La qualité de la géométrie routière est composée de la précision planimétrique et altimétrique de l'axe, la topologie et la fréquence de mise à jour des données. La combinaison de ces trois facteurs garantit l'intégrité des données géométriques pour les applications exigeantes des ADAS. Dans ce contexte, le laboratoire de Topométrie de l'EPFL a développé un système de mobile mapping, appelé *Photobus*, pour l'acquisition rapide et précise de géométries routières avec une précision décimétrique et un contrôle qualité en temps réel [Gilliéron, 2003].

2.1 Acquisition des données

La problématique de l'acquisition d'une géométrie précise des axes de route a été traitée dans plusieurs projets de recherche pilotés par l'association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS). Les résultats de ces projets (Syrrou, Agram) ont montré l'importance de l'acquisition d'une géométrie de référence de qualité pour les besoins du système d'information de la route. Plusieurs expériences conduites avec les cantons romands, ont permis d'engager le *Photobus* pour saisir des axes de routes dans des conditions particulières (zones rurales, forêts, régions de montagne) [Golay, 2002], [Merminod, 2003].

2.1.1 Système de mobile mapping

Les systèmes de mobile mapping représentent des techniques avancées de mensuration en mode cinématique appliquées au domaine routier et aux objets d'intérêt situés le long des routes. C'est une méthode qui permet une localisation rapide d'objets routiers, avec un accent particulier pour la géométrie des axes, la signalisation et divers objets linéaires ou ponctuels. Les systèmes de mobile mapping intègrent la plupart des composants moderne de la mensuration : GPS, système inertiel (INS), capteurs d'images (CCD) et laser.

Le système *Photobus* combine un système de localisation précis, basé sur des composants GPS et INS, avec des caméras CCD, dont une est orientée verticalement. Un système informatique embarqué permet la synchronisation exacte des données de localisation avec les images numériques. Ce système effectue l'acquisition précise de la ligne centrale de la route avec un contrôle qualité des données en temps réel [Gontran, 2004].

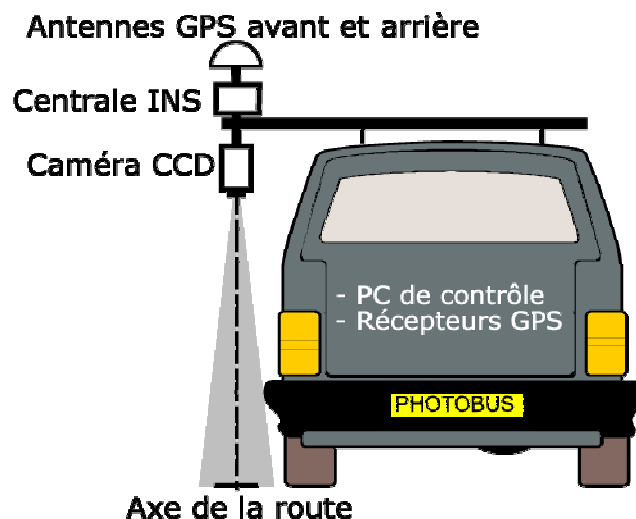


Figure 2 : Le système *Photobus* avec ses composants principaux (localisation GPS/INS et images CCD)

2.1.2 Cartographie routière précise

La plupart des bases de données routières actuelles sont dérivées des cartes nationales dont la saisie est basée sur un procédé photogrammétrique. Ainsi la précision des bases de données routières est de quelques mètres (figure 1), ce qui

n'est pas suffisant pour les applications à venir de l'industrie automobile. La plupart des agences cartographiques nationales, comme swisstopo, et des fournisseurs de données pour la navigation (TeleAtlas et Navteq) ont prévu de fournir des données de meilleure qualité : amélioration des modèles topologiques, plus grande précision planimétrique, extension du catalogue d'objets). Ces acteurs travaillent dans le but d'améliorer les produits géographiques dans les années à venir afin de satisfaire un plus grand nombre d'utilisateurs ayant des besoins spécifiques.

Dans cette perspective, le système *Photobus* est la plateforme idéale pour l'évaluation de la qualité des données d'une géométrie routière saisie dans des conditions réelles. Plusieurs tests ont été réalisés sur les routes de suisse romande, en particulier dans le Canton de Vaud où le système a permis la saisie d'une centaine de kilomètres de routes rurales et de région de montagne avec des caractéristiques topographiques variables présentées sur la figure 3 (routes sinueuses, traversées de villages, falaises, forêts, déclivité importante,...).

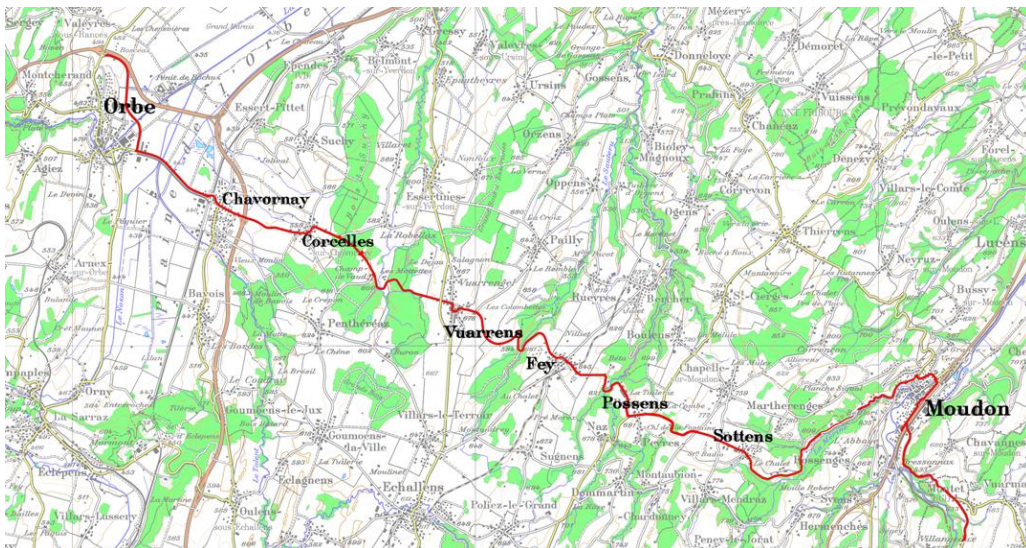


Figure 3 : Test de cartographie routière sur une portion de route (Orbe – Moudon) du Canton de Vaud.

La plupart des portions de routes ont été mesurées plusieurs fois (passage du *Photobus* à des moments différents de la journée) sous des conditions GPS différentes, ce qui a permis une comparaison de trajectoires indépendantes. Ce procédé, appliqué dans le cadre d'un test, est un bon estimateur de la qualité de la localisation de la ligne centrale. De plus quelques points de l'axe ont été déterminés avec grande précision (2 à 3 cm) par des méthodes classiques (GPS RTK). Ces moyens d'analyse ont permis de qualifier des tronçons de route de 250 m avec un certain niveau de tolérance planimétrique.

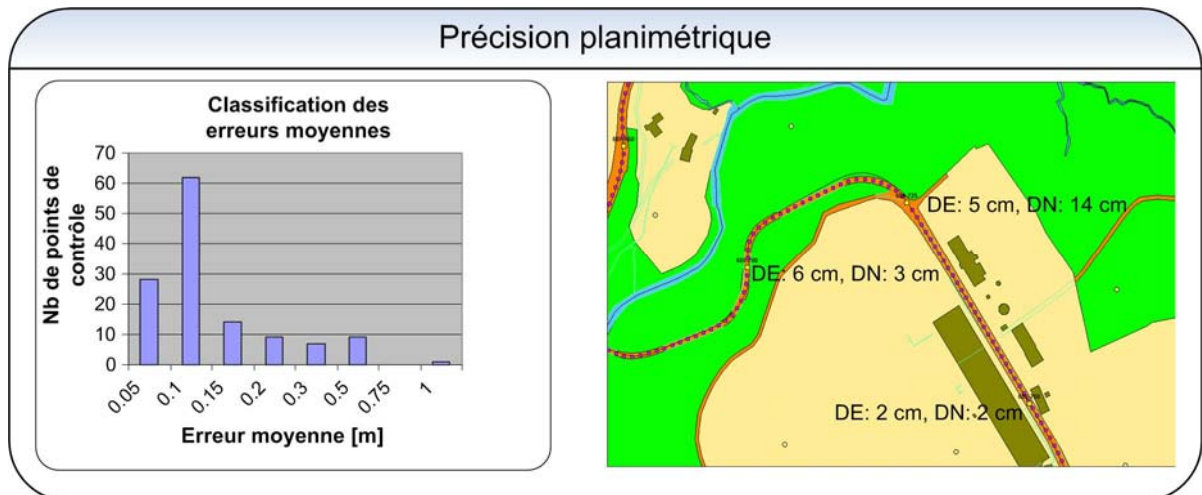


Figure 4 : Analyse de la précision planimétrique de l'axe de route Orbe-Moudon

La figure 4 (gauche) présente les erreurs moyennes quadratiques le long du trajet Orbe-Moudon. La plupart des valeurs sont inférieures à 50 cm, ce qui est tout à fait acceptable, compte tenu des exigences de qualité pour une région rurale et forestière. De plus, la valeur moyenne de la précision est de l'ordre de 12 cm (1 sigma). Ceci est très prometteur compte tenu des exigences des applications multiples qui auront recours à une telle géométrie de référence. Les valeurs plus grandes que 50 cm s'expliquent par des importantes lacunes GPS et par les limites du système inertiel utilisé dans le *Photobus*. Il faut donc être attentif à la qualité des données dans certaines régions.

La figure 4 (droite) présente les différences (DE, DN) des coordonnées planimétriques entre des points de contrôle bien identifiables sur la route et des points homologues levés par le *Photobus*. La géométrie routière est également importée dans un système d'information géographique et superposée aux données de la mensuration officielle. Cette combinaison est également un bon moyen de contrôler la qualité des données lorsque les bords de chaussée sont levés dans la mensuration.

2.2 Modélisation géométrique

2.2.1. Modèle géométrique de base

L'acquisition de l'axe central de la route passe par la collecte de points déterminés dans un système de référence global, par exemple WGS84 pour GPS. Les coordonnées sous-jacentes sont transformées dans un système de référence local, associé à un système de coordonnées nationales (E, N). Cela autorise une séparation des composantes horizontales et verticales de la géométrie routière, pour une comparaison aisée avec les projets de tracé routier qui modélisent l'axe central de la route à l'aide de primitives géométriques bidimensionnelles (de la ligne au cercle en passant par des clothoïdes).

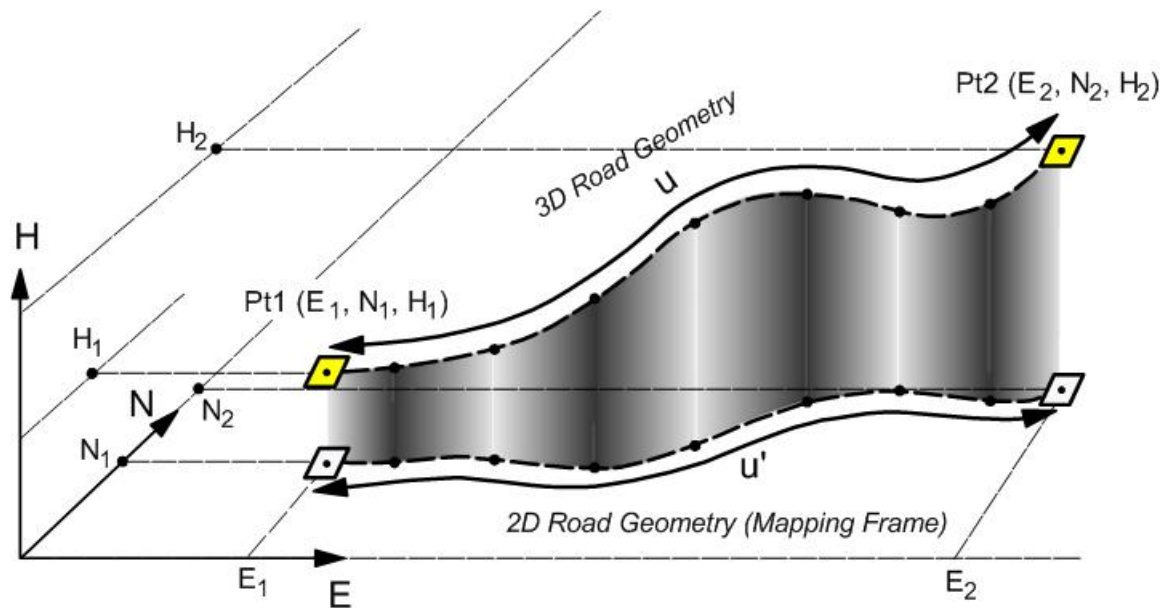


Figure 5 : Vue tridimensionnelle de la route avec la projection sur la carte (mapping frame).

La figure 5 montre la liaison entre les géométries routières 2D et 3D. Les techniques de lever moderne impliquent l'acquisition tridimensionnelle des points d'intérêt, puis une transformation dans le plan de la carte. Par conséquent, il est nécessaire de calculer des paramètres de calage qui définissent la transformation le long de l'axe routier entre les espaces 2D et 3D.

$$Cal = \frac{u_{3D}}{u_{2D}}$$

Où: Cal est le paramètre de calage
 u_{3D} est l'abscisse curviligne en 3D
 u_{2D} est l'abscisse curviligne en 2D

2.2.2. Modélisation de l'axe central de la route par des splines par morceaux

Photobus fournit les coordonnées de l'axe central de la route dans le système de coordonnées nationales (E, N, H). Pour modéliser la géométrie routière et en réaliser une analyse pertinente, nous devons représenter l'axe de la route par des fonctions interpolatrices dont les points d'ajustement sont les points discrets levés par *Photobus*.

Du point de vue mathématique, une courbe tridimensionnelle est une fonction différentiable c de R dans R^3 telle que :

$$c(t) = (E(t), N(t), H(t)) \quad \forall t \in R$$

Où $E(t) = c_1(t)$
 $N(t) = c_2(t)$
 $H(t) = c_3(t)$ sont les fonctions décrivant les coordonnées euclidiennes de c

Nous avons choisi des splines cubiques pour définir les interpolants $E(t)$, $N(t)$, $H(t)$. Les splines cubiques constituent une interpolation par morceaux via des polynômes de

degré 3, entre n points d'ajustement. Par conséquent, elles respectent la trajectoire décrite par Photobus sur chaque intervalle, tout en respectant des conditions de continuité sur la position, la vitesse et l'accélération pour chaque point d'ajustement. Atkinson (2002) démontre que les splines cubiques minimisent, parmi toutes les fonctions interpolatrices, l'accélération sur la courbe. En vertu de leur spécificité, de telles courbes sont particulièrement bien adaptées à la modélisation d'axes routiers lors de levés cinématiques rapides. Finalement, on peut décrire le polynôme comme suit:

$$c(t) = \bigcup_{i=1}^n \{E_i(t), N_i(t), H_i(t)\} = \bigcup_{i=1}^n \{a_i t^3 + b_i t^2 + c_i t + d_i, e_i t^3 + f_i t^2 + g_i t + h_i, j_i t^3 + k_i t^2 + l_i t + m_i\}$$

Où t est le temps GPS,
 a_i, b_i, c_i, d_i sont les i -èmes coefficients des splines cubiques dans la direction Est.
 Similairement, e_i, f_i, g_i, h_i et j_i, k_i, l_i, m_i sont les i -èmes coefficients respectifs des directions Nord et verticale.
 n est le nombre de points d'ajustement.

2.3. Caractéristiques de la route

2.3.1. Rayon de courbure

Il est communément admis que de longues lignes droites sont source d'accidents, car elles lassent le conducteur ou le poussent à accélérer. Pour cette raison, les tracés routiers modernes alternent des lignes droites avec des clothoïdes et des portions de cercle de grand rayon. Néanmoins, la majorité des virages induit une décélération qui peut surprendre le conducteur en cas de mauvaise visibilité. Une fonction ADAS, l'alerte sur la vitesse d'approche d'un virage (CSW²), signale à l'utilisateur une vitesse trop élevée pour négocier un virage sans risque. Dans la mesure où les normes routières lient un rayon de courbure à une vitesse maximale, seule une connaissance précise de ces rayons de courbure peut rendre les alertes CSW fiables. La combinaison d'une géométrie routière précise avec une modélisation par splines aboutit à des résultats satisfaisants. Avec notre paramétrisation par splines, le rayon bidimensionnel de courbure ρ est donné par :

$$\rho(t) = \frac{(\dot{E}^2 + \dot{N}^2)^{3/2}}{\dot{E}\ddot{N} - \dot{N}\ddot{E}}$$

Où \dot{E}, \dot{N} et \ddot{E}, \ddot{N} sont respectivement les dérivées premières et secondes de $E(t), N(t)$ par rapport au temps

² CSW : Curve Speed Warning

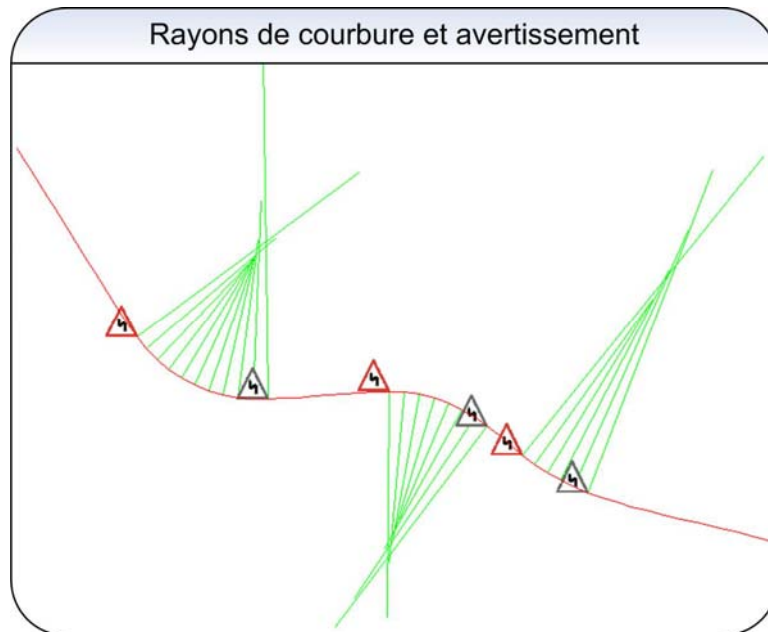


Figure 6 : Classification de sections de route par rayon de courbure.

La figure 6 illustre une classification de portions de route en fonction de leur rayon de courbure. Elle correspond aux recommandations suisses pour le dévers le plus sûr (7%). Ces recommandations lient directement le rayon de courbure à la vitesse de croisière, si bien que les ADAS peuvent efficacement exploiter cette modélisation analytique en avertissant le conducteur qui emprunte un virage trop rapidement. La vitesse de croisière recommandée est donnée par :

$$V_{recommandée}^2 = g(p + f_t)\rho$$

Où:

p : dévers

f_t : coefficient de frottement

ρ : rayon de courbure

g : constante de gravité

Cette analyse de la géométrie routière permet la détection des virages dangereux pour lesquels la vitesse du véhicule doit être réduite.

3. Concept pour des applications de sécurité

3.1. Prérequis des applications ADAS

Nous présentons deux applications ; la première traite de la prévention des situations potentiellement dangereuses, la seconde concerne le suivi de voie, hautement contraignant en termes de contrôle latéral.

3.2. Système d'alerte préventive

Le concept d'alerte préventive implique souvent un radar couplé à un Signal Routier Variable (SRV) qui incite le conducteur à modérer sa vitesse. Des systèmes d'alerte dynamique sur la vitesse d'approche d'un virage sont plus efficaces pour encourager les conducteurs à respecter les limites de vitesse. Ils déterminent la vélocité du véhicule approchant le virage et affichent un message clignotant sur le SRV afin que le conducteur ralentisse avant d'aborder le prochain virage. Des fonctions d'alerte préventive à bord du véhicule, en raison de leur interaction de proximité, sont susceptibles d'avoir un meilleur impact sur la sécurité routière. Gallet et al. (2000) recommandent de déclencher un avertissement si la décélération nécessaire pour atteindre la vitesse de croisière déduite du rayon de courbure est supérieure à 0.5g. La distance minimale d'alerte séparant le véhicule du début du virage est donnée par :

$$d = \frac{(v - v_{cruise})^2}{2\gamma} + \tau v$$

Où v est la vitesse effective du véhicule
 v_{cruise} est la vitesse recommandée, déduite du rayon de courbure
 γ est la décélération (valeur de confort : $2m.s^{-2}$)
 τ est le temps de réaction (valeur de confort : 1.2s)

Pour illustrer le procédé, si la valeur actuelle de la vitesse vaut 80 km/h alors que le prochain virage requiert $v_{cruise} = 60$ km/h, le conducteur devrait être averti à une distance d'au moins 34 m du début du dit virage.

3.3. Contrôle latéral du véhicule

La fatigue ou l'inattention menacent le conducteur, particulièrement lors de trajets longs et monotones. L'alerte de sortie de voie (LDW³) constitue une lutte efficace contre ces causes d'accident, en déclenchant une alerte dès que le véhicule s'écarte de la voie empruntée. Une caméra haut débit montée à l'intérieur du véhicule, scrutant les marques de la route, permet de définir une zone d'alerte relative à une voie. Si le véhicule pénètre dans cette zone, une alerte est générée, ce qui permet au conducteur de réagir avant que la situation ne devienne dangereuse. La plupart des systèmes de suivi de voie s'activent lorsque le véhicule atteint une vitesse prédéfinie pour éviter des fausses alertes agaçantes lors de manœuvres.

La figure 7 illustre ce concept. Une caméra miniature, placée au niveau du pare-brise, scrute la voie face au véhicule. Une algorithmique de traitement d'image définit continûment la position du véhicule. Finalement, un signal d'alerte (acoustique ou visuel) est produit au moment de quitter la voie, offrant au conducteur l'opportunité d'éviter une situation risquée.

³ LDW : Lane Departure Warning

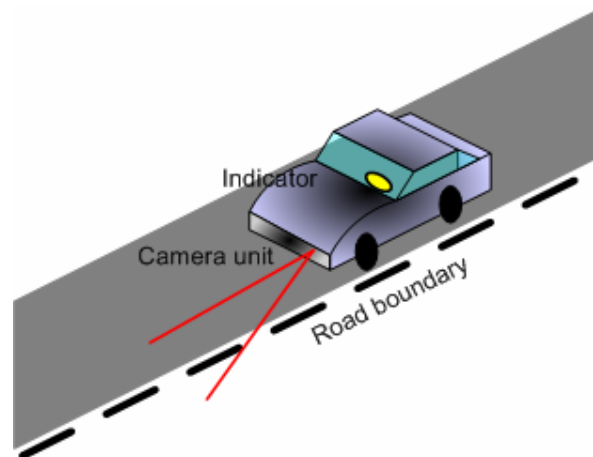


Figure 7 : Illustration classique d'un système de suivi de voie.

Cependant, un tel dispositif repose uniquement sur des capteurs de proximité et l'imagerie pour activer des alertes de sortie de voie. Ce qui signifie qu'un temps défavorable ou l'absence de marquage au sol rend inopérant les systèmes de suivi de voie basés sur des caméras.

Dans un futur proche, la localisation par satellites fournira une précision submétrique grâce à la nouvelle génération de satellites américains GPS ou au futur système européen Galileo (Global Navigation Satellites System GNSS). Une telle localisation, combinée à des bases de données routières de précision compatible (par exemple, issues d'un lever par Photobus) représente une approche prometteuse qui étend la disponibilité et la fiabilité des alertes de sortie de voie. Dans des conditions normales, le traitement d'image peut détecter une tendance à quitter la voie, et une telle tendance peut être confirmée par la localisation satellitaire. En outre, la future localisation par satellites rendra possible le calcul du décalage latéral du véhicule par rapport à l'axe de la route, de telle sorte que les alertes de sortie de voie seront disponibles même en cas de visibilité réduite du marquage routier.

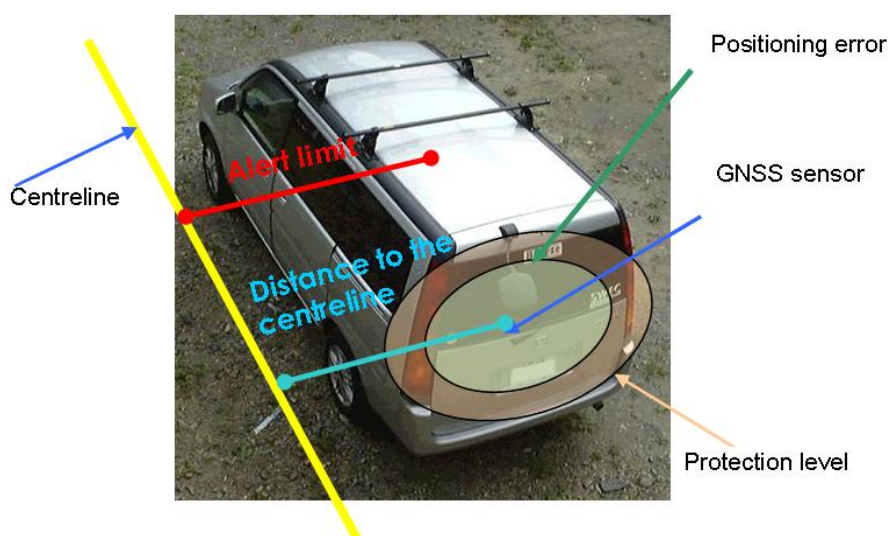


Figure 8 : Concept d'un système LDW faisant appel à la localisation satellitaire.

La figure 8 illustre brièvement un concept général d'utilisation de récepteurs GNSS pour améliorer la détection d'une sortie de voie. Ce concept est basé sur l'évaluation de la

distance séparant le récepteur de l'axe de la route. La position courante du véhicule, issue de la localisation satellitaire, est fournie avec un certain niveau de protection (erreur de localisation multipliée par un facteur de sécurité) [Gilliéron, 2005].

4. Test de quelques applications ADAS

4.1 Estimation de la position du véhicule

Dans la plupart des applications ADAS, il est nécessaire de localiser le véhicule avec une précision métrique compatible avec le référentiel utilisé par la base de données routière. Ainsi, il s'est avéré nécessaire d'estimer la qualité du positionnement absolu obtenu à l'aide d'un module de localisation (GPS + capteurs) bon marché, ceci dans les conditions réelles du terrain.

Le système d'évaluation choisi est le module ANTARIS[®] de la société ublox⁴ qui a été développé pour les applications de navigation automobile. Il est composé d'un récepteur GPS (TIM-LC), d'un gyroscope (Murata ENV-05F-3) et d'un odomètre (capteur placé sur la roue du véhicule). La combinaison des signaux du gyroscope (détection des changements de direction) et de l'odomètre (distance parcourue) permet, dans une certaine mesure, de calculer une position lorsque la réception des signaux GPS est faible ou perturbée. Ce mode de localisation, bien connu des navigateurs, est appelé navigation à l'estime (Dead Reckoning – DR) : il consiste à reporter la distance parcourue selon la direction prise par le véhicule. Il est donc indispensable de retrouver une position absolue (faire le point, en navigation) après un certain laps de temps, car la dérive des capteurs DR est importante et les erreurs s'accumulent au cours du temps.

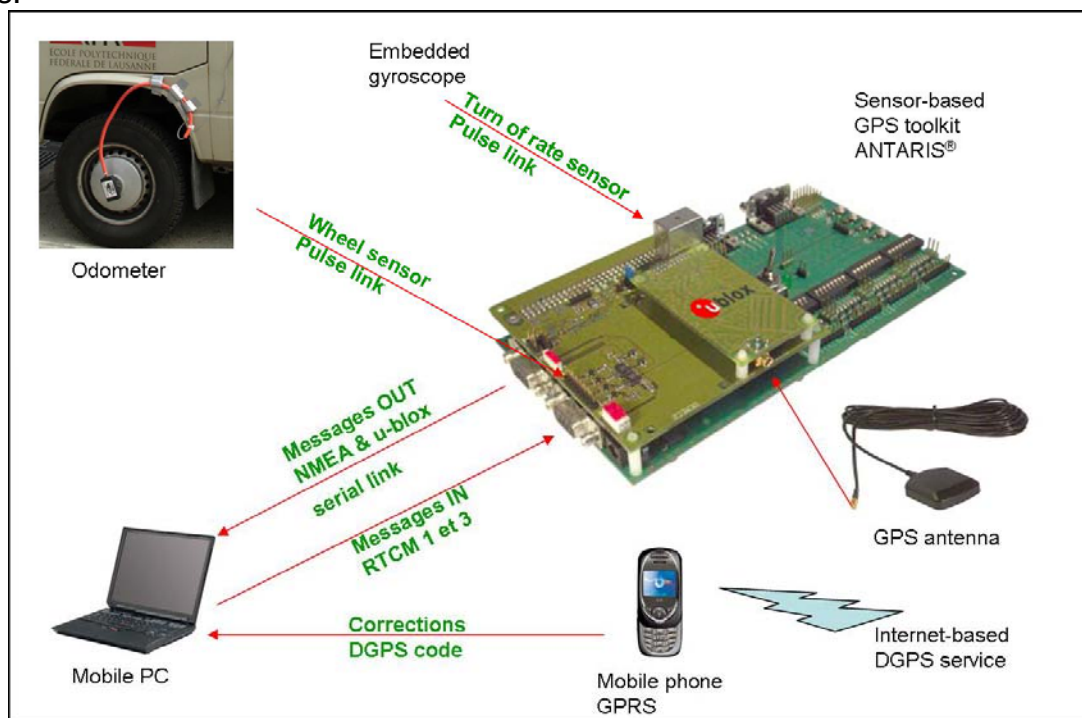


Figure 9 : Architecture du système de localisation (GPS + gyroscope + odomètre)

⁴ <http://www.u-blox.de/products/sbekit.html>

Le système de localisation a été utilisé pour l'enregistrement d'une série de trajectoires mesurées depuis un véhicule dans des conditions réelles. La zone de test choisie correspond à la section de route qui a été préalablement cartographiée (figure 3) avec le système *Photobus*. On dispose ainsi d'une référence géométrique absolue qui permet une estimation efficace de la qualité du système de localisation utilisé pour ce test. Ces essais ont été réalisés avec un véhicule équipé d'une antenne GPS montée sur le toit et le conducteur a suivi la ligne centrale de la route en minimisant les déplacements latéraux. La localisation GPS a été améliorée à l'aide de corrections différentielles code fournies (DGPS) par le service swipos[®] de swisstopo via un téléphone GPRS.

Les trajectoires enregistrées par le module de localisation ont été comparées à la projection de chaque position sur la géométrie de référence (précision 10 à 20 cm). Les distances horizontales à la trajectoire de référence donnent ainsi directement une estimation de la qualité de la localisation. Pour chaque position, le système permet de distinguer les mesures GPS des mesures de navigation à l'estime (DR).

	RMS global	RMS DR only	%	RMS GPS only	%	% < 1.5 m
Traj. 1: 2373 points	4.53	6.31	10.3	4.28	89.7	20.0
Traj. 2: 831 points	6.19	8.20	17.2	5.69	82.8	28.7
Traj. 3: 1013 points	2.68	5.53	10.8	2.08	89.2	50.2
Traj. 4: 768 points	6.83	16.63	11.2	4.21	88.8	32.8

Tableau 1 : Analyse de la qualité des trajectoires horizontales comparées à la géométrie de référence.

Le tableau 1 présente l'analyse de 4 trajectoires reflétant des situations topographiques différentes (présence ou absence de végétation, traversées de villages, zone dégagée, falaises). L'erreur moyenne quadratique (RMS) est calculée pour chaque jeu de données pour les modes de localisation : GPS seul ou navigation à l'estime (DR). On calcule également le pourcentage des positions obtenues dans les modes GPS et DR.

D'une manière générale, on constate que la disponibilité des signaux GPS dans ce type de région est relativement bonne (environ 85%), compte tenu de la topographie et de la couverture forestière. Toutefois la qualité de la localisation n'est pas toujours optimale car le signal GPS est régulièrement perturbé. Dans les meilleures conditions, avec une bonne réception des corrections DGPS, l'erreur moyenne est de l'ordre de 2 m, ce qui serait juste suffisant pour une localisation du véhicule sur sa voie de circulation.

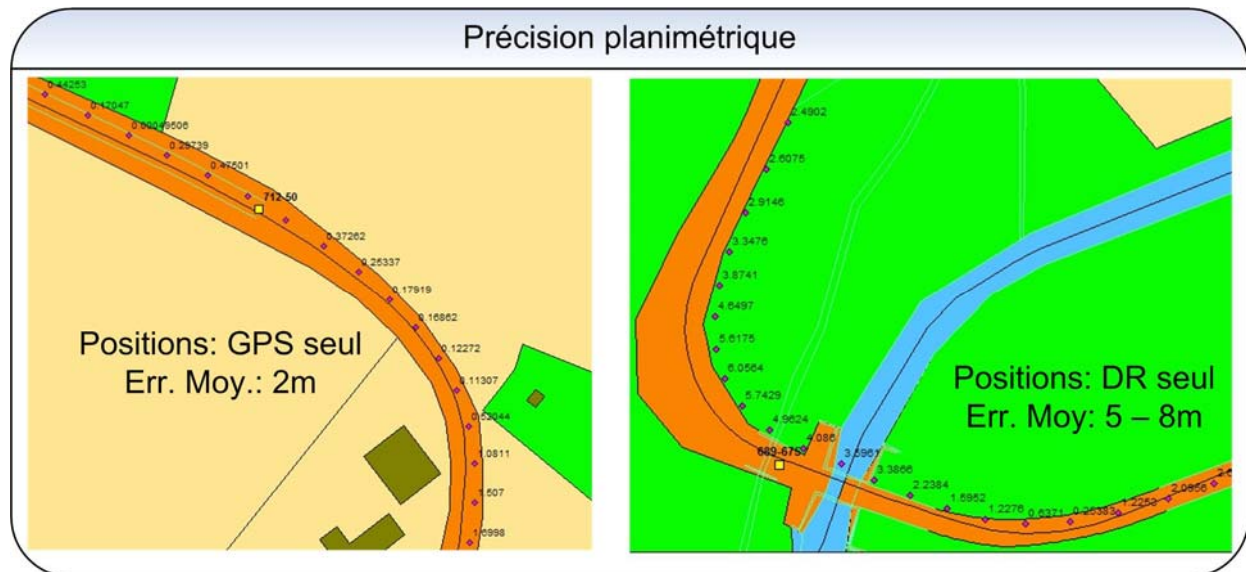


Figure 10 : Report des positions comparées à la géométrie de référence

Globalement, l'erreur moyenne est de l'ordre de 3 à 5 m, ce qui est suffisant pour certaines applications ADAS d'alerte. Toutefois, il faut rester attentif dans les zones de lacunes GPS où la navigation à l'estime fournit une position qui peut très vite se dégrader avec le temps, plus particulièrement dans des trajets sinueux (figure 10).

4.2 Alerte et contrôle du véhicule dans les courbes

Cette partie est consacrée à l'évaluation de quelques fonctions ADAS pour l'avertissement du conducteur lorsque la route présente une forte sinuosité, notamment avant des virages dangereux. Pour évaluer ces fonctions, le laboratoire de Topométrie a développé une application [Frank, 2005] pour l'interfaçage de la position et de la vitesse d'un véhicule avec une géométrie de référence. L'interface du programme permet de visualiser la trajectoire et fournit à temps les messages d'avertissement lorsque le véhicule va pénétrer dans une zone dangereuse où une réduction de la vitesse s'impose (figure 11).

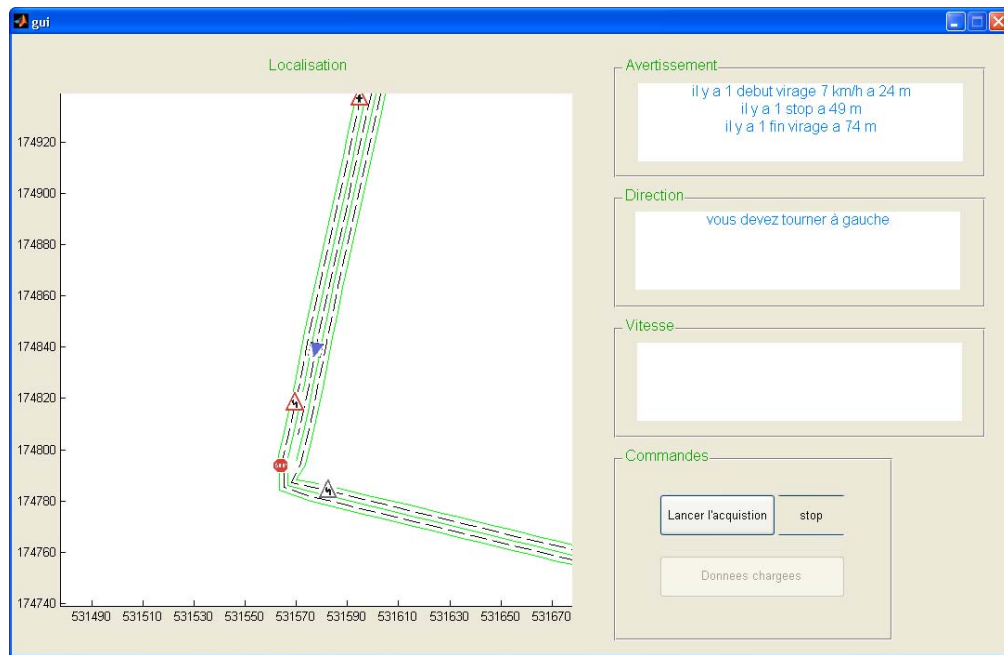


Figure 11 : Interface utilisateur de l'application d'alerte sur la vitesse à l'approche de virage.

La géométrie de référence permet de calculer une vitesse théorique recommandée selon le rayon de courbure de la route. Une classe de vitesse est donc associée à chaque tronçon de route le long du parcours. Le programme permet de comparer a posteriori la vitesse réelle enregistrée lors du parcours à la vitesse recommandée. Un tel graphique est particulièrement utile lorsqu'il s'agit d'analyser le comportement du conducteur dans certaines conditions. On détecte notamment les zones où le conducteur a dépassé la limite de vitesse recommandée (figure 12).

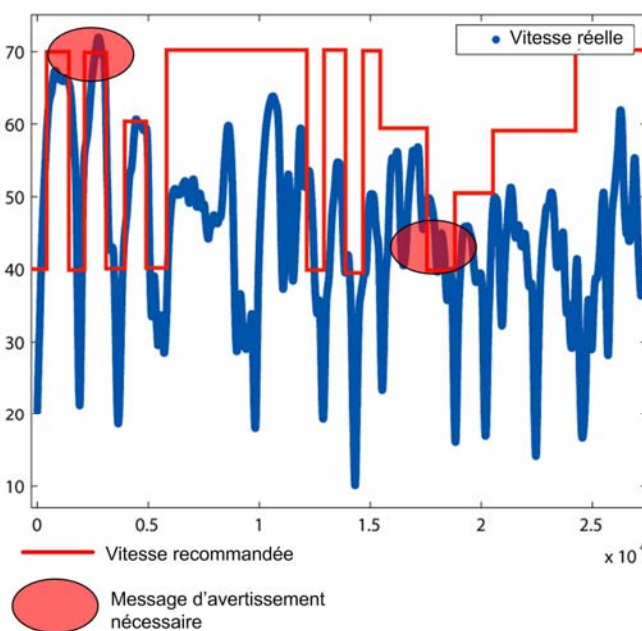


Figure 12 : Vitesse réelle comparée à la vitesse recommandée issue de la géométrie de référence.

Un tel graphique s'avère très utile pour la définition de la stratégie d'avertissement et permet l'évaluation de la conduite sous différentes conditions (météo, conduite nocturne,...). Cependant cette application est pour l'instant limitée à l'alerte du conducteur à l'entrée de courbes importantes et d'autres paramètres (dévers, déclivité, revêtement, condition météo,...) pourraient être ajoutés à l'avenir afin d'évaluer ce type de situation d'une manière plus globale.

5. Conclusions

Cet article a présenté le grand potentiel des applications d'assistance à la conduite pour le développement de solutions innovantes en localisation de véhicules et pour l'amélioration du contenu et de la qualité des bases de données routières. Les solutions actuelles de mobile mapping, comme le *Photobus*, vont certainement jouer un rôle clé dans les processus d'acquisition et de gestion de la cartographie pour les systèmes de navigation automobile. La gestion de la qualité dans les bases de données routières est un élément fondamental pour l'implémentation des futures applications ADAS qui intégreront des systèmes de localisation précis.

La conduite de tests de navigation dans des conditions réelles a permis d'illustrer le potentiel des applications d'alerte du conducteur, en particulier lors de virages dangereux. Le développement d'une interface utilisateur adaptée a grandement aidé l'analyse du comportement du conducteur dans certaines conditions. Ceci a confirmé la nécessité de recourir à une géométrie précise et fiable des axes de route.

Le recours à des capteurs de localisation bon marché dans une étude de faisabilité est une première étape dans l'intégration de composants de positionnement par satellites dans les applications ADAS. Cette évaluation de la qualité de localisation dans des conditions réelles et difficiles a montré des résultats prometteurs, en particulier dans la perspective des projets européens de navigation par satellites (EGNOS, Galileo). Toutefois, une telle étude illustre les limites d'un système de localisation basé uniquement sur des satellites. Ceci renforce donc l'idée que la localisation pour des applications exigeantes doit comporter plusieurs sources d'information que sont les capteurs inertiels ainsi que des cartes de navigation de haute qualité.

Le véritable challenge pour le déploiement d'application ADAS touchant la sécurité résidera dans la certification des données et des systèmes de navigation. Même si la technologie est presque disponible, il reste encore du chemin à parcourir avant que de tels systèmes d'assistance ne fassent partie du monde de l'automobile.

Remerciements

Nous tenons à remercier le Service des routes de l'Etat de Vaud qui nous a permis d'engager notre système *Photobus* sur les routes vaudoises afin d'acquérir une géométrie de référence de certains axes.

Bibliographie

Gilliéron P.-Y., Konnen J. (2003) Enhanced Navigation System for Road Telematics, 3rd Swiss Transport Research Conference, Ascona

Golay F., Oggier R., Gilgen M. (2000) SYRROU: Systèmes de repérage spatial des données routières, mandat de recherche 10/99 de la VSS, rapport No 452

Merminod B., Gilliéron P.-Y., Oggier R., Gilgen M., (2003) AGRAM: Etude de l'acquisition d'une géométrie de référence des axes de maintenance, mandat de recherche VSS 2000/362, rapport No 1047

Pandazis J.-Ch. (2002) NextMAP for Transport Telematics Applications, project IST-1999-11206, final report

Gontran H., Skaloud J., Gilliéron P.-Y. (2004) Photobus: Towards Real-time Mobile Mapping. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Istanbul, Vol. XXXV, Part B, Commission 5.

Atkinson, K., 2002 Modelling a road using spline interpolation. Reports of Computational Mathematics #145, Department of Mathematics, the University of Iowa, Iowa City, USA.

Gallet, A., 2000 Use of Vehicle Navigation in Driver Assistance Systems. Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2000, Dearborn (MI), USA.

Frank J. (2005) Modélisation de la géométrie routière et assistance à la conduite, travail de fin d'étude, ESGT, le Mans France, réalisé au Laboratoire de Topométrie, EPFL 2005

Gilliéron P.-Y., Waegli A. (2005) Galileo et le prix de la mobilité, journal route et trafic, éditeur VSS, mars 2005