

# Etude de l'apport d'un modèle 3D virtuel pour la géo-Localisation et la détection d'obstacles

MAAN EL BADAoui EL NAJJAR , CINDY CAPPELLE, DENIS POMORSKI

Laboratoire d'Automatique, Génie Informatique et Signal

USTL – IUT-A, Cité Scientifique, 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex, France

**Résumé**— Le développement des véhicules urbains autonomes ainsi que des systèmes d'aide à la conduite pour les véhicules non-autonomes impose au véhicule intelligent de remplir plusieurs tâches : la localisation du véhicule, la détection des obstacles, la planification de trajectoire, les systèmes d'alerte de franchissement de ligne ... Dans ce travail, nous présentons nos travaux qui concernent la géo-localisation et la détection d'obstacles dans un environnement d'évolution modélisé par un modèle cartographique 3D. L'approche proposée exploite un modèle 3D géo-référencé et texturé de l'environnement d'évolution du véhicule. Afin de manipuler la base de données du modèle 3D, un système d'information géographique 3D (SIG-3D) a été développé. Pour la géo-localisation nous réalisons la fusion de données multi-capteurs GPS, Odométrie et Gyroscope ainsi que la construction d'une observation de la pose en utilisant la cartographie 3D. Le principe de la méthode de détection d'obstacles est de comparer deux images : l'«image réelle» acquise par une caméra embarquée et l'«image virtuelle» fournie par le SIG-3D. Des résultats expérimentaux obtenus avec des données réelles sont présentés. Afin de valider le calcul de la distance entre le véhicule et l'obstacle, les résultats sont comparés avec la distance délivrée par un télémètre laser.

**Mots clés**— Géo-localisation, Détection d'obstacle, Modèle 3D géo-référencé, SIG-3D, Vision, GPS, Télémètre laser.

## I. INTRODUCTION

La prise en compte de la sécurité routière impose de plus en plus l'intégration de systèmes avancés d'assistance au conducteur (en anglais, ADAS : Advanced Driver Assistance System). De nombreuses applications de sécurité et de confort de la conduite peuvent être citées : régulateur de vitesse adaptatif, contrôle adaptatif des phares, prévention de collision, alerte de sortie de voie, etc. Parmi les éléments des systèmes d'aide à la conduite sécurisée, nous nous intéressons dans cet article à la géo-localisation et à la détection d'obstacle. En particulier, nous illustrons l'apport d'un modèle 3D géo-référencé et texturé pour ces deux problématiques.

Dans la section II, nous présentons le modèle 3D géographique utilisé ainsi que le système d'information géographique 3D (SIG-3D) développé pour manipuler la base de données du modèle 3D. Puis dans la section III, les méthodes mise en œuvre pour la géo-localisation et la détection des obstacles, déterminer la distance entre le véhicule et les obstacles et calculer la géo-position des obstacles est détaillée. Finalement, nous présentons les résultats obtenus dans la section IV.

## II. LES SOURCES D'INFORMATION UTILISEES

La méthode proposée utilise un modèle 3D géo-référencé, géré par un système d'information géographique 3D (SIG-3D) et plusieurs capteurs embarqués : une caméra, un récepteur GPS et un télémètre laser. Cette partie de l'article décrit ces différentes sources d'information.

### A - Modèle 3D géo-référencé et SIG-3D

En plus des cartes en deux dimensions, qui sont communément associées avec un système d'information géographique (SIG), de plus en plus d'applications requièrent des modèles 3D des bâtiments, des villes, des paysages. Ces modèles sont générés automatiquement à partir d'images aériennes, de plans cadastraux, de données télémétriques, de base de données topographique et ortho-photographique ... De tels modèles de l'environnement permettent une meilleure compréhension des relations spatiales et sont par conséquent idéaux à des fins de démonstrations ou de présentations, comme le montre le projet allemand GEIST [5]. Le système développé dans GEIST informe les personnes sur un site historique en offrant une visite personnalisée et animée sans guide touristique humain. Lorsque les utilisateurs s'approchent d'un endroit qui a un lien historique avec une personne ou un fait, ils peuvent interagir avec un personnage virtuel qui raconte les faits. A l'aide d'un système de lunette, l'utilisateur peut voir les objets réels auxquels ont été superposés des éléments virtuels (par exemple des bâtiments) montrant la situation historique. Au travers de multiples applications de ce type, le développement des modèles 3D géographiques texturés (aussi appelé modèle virtuel 3D de villes, dans la littérature) est alors en plein essor. Par exemple, toutes les grandes villes japonaises sont modélisées en trois dimensions depuis 2002 et sont mises à jour tous les 6 mois. Par ailleurs le projet Bati3D de l'IGN (Institut Géographique National) a pour objectif de développer d'ici 2010 une maquette numérique urbaine 3D du territoire français. L'attrait incontestable pour les modèles virtuels 3D urbains [3,4,6,7,9], nous amène à proposer dans cet article une utilisation possible de ceux-ci dans le domaine de l'automobile et des transports : la détection et la géo-localisation d'obstacle.

Le modèle 3D géo-référencé utilisé est un produit de la société Tecnomade (<http://www.tecnomade.fr/>) et a une précision métrique selon le constructeur. Il cartographie la place Stanislas à Nancy. Plusieurs vues extraites du modèle sont proposées dans la Figure 1.

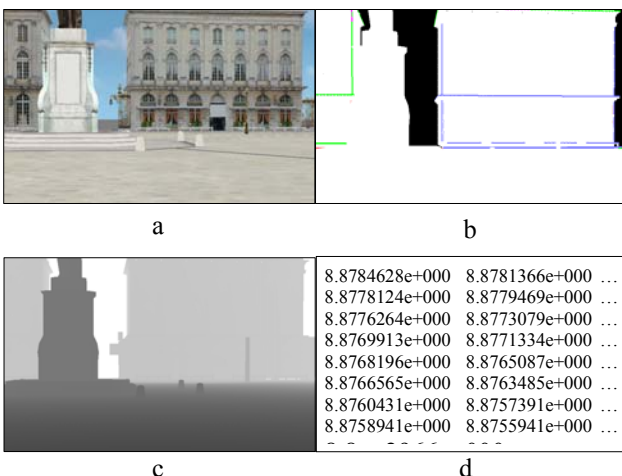


Fig.1 : Captures d'écran du modèle 3D

Afin de manipuler en temps-réel la base de données du modèle 3D géo-référencé, un système d'information géographique trois dimensions (SIG-3D) est requis. Un SIG est un système informatique capable d'intégrer, d'enregistrer, d'éditer, d'analyser, de partager et d'afficher des informations géo-référencées. Nous avons donc développé un SIG-3D, adapté à nos applications en robotique et véhicule intelligent. Une première fonction du SIG-3D est de naviguer dans le modèle 3D à partir de positions fournies par un GPS. Pour cela, la transformation rigide entre le repère local du modèle et le système de coordonnées WGS84 du GPS a été déterminée. On peut alors suivre en temps-réel le panorama vu par un véhicule dont la trajectoire est donnée par un GPS. Les entrées du SIG-3D développé sont les suivantes :

- la base de données du modèle, c'est-à-dire les vertex, les textures, les paramètres de configuration ...
- les paramètres de calibration de la caméra virtuelle

Les paramètres extrinsèques de la caméra virtuelle sont les 6 degrés de liberté par rapport au repère attaché au modèle 3D :  $X_c$ ,  $Y_c$ ,  $Z_c$  pour les translations et  $\varphi$ ,  $\theta$ ,  $\psi$  pour les orientations. Dans notre cas, les paramètres extrinsèques seront déterminés à partir des données GPS. Le paramètre intrinsèque de la caméra virtuelle est l'angle de champ de vision (FOV : Field Of View). Plusieurs autres fonctionnalités ont été développées et intégrées au SIG-3D. La Figure 2 illustre ces fonctions.



```
<Segment>
  <Visible status="hors champ"/>
  <Point numero="1">
    <Coordonnees x="-42.015800" y="-38.909801" z="0.597691"/>
  </Point>
  <Point numero="2">
```

e

Fig.2 : Sorties du SIG-3D

Les cinq sorties disponibles sont :

- l'image virtuelle (Fig.2a) : image au format bitmap qui représente la vue de la scène capturée par la caméra virtuelle placée et paramétrée selon les paramètres d'entrées du SIG-3D,
- l'image bitmap des segments de la base de données qui sont visibles à partir de la position et de l'orientation de la caméra (Fig.2b),
- l'image de profondeur (Fig.2c) correspondant à l'image virtuelle : plus l'objet est loin, plus le pixel est clair et plus l'objet est près, plus le pixel est foncé,
- un fichier binaire (Fig.2d) qui contient l'information de profondeur, en mètre, pour chaque pixel de l'image virtuelle ; cette information de profondeur est extraite par le Z-Buffer de la carte vidéo, c'est la distance entre la caméra virtuelle et les points 3D correspondants aux pixels,
- un fichier XML (Fig.2e) qui contient pour tous les segments 3D de la base de données, les coordonnées des extrémités et le statut de visibilité de ce segment (c'est-à-dire, si le segment est complètement visible, partiellement visible ou invisible par la caméra virtuelle).

### B - Capteurs embarqués

#### Caméra :

Le rôle de la caméra dans notre méthode est de fournir la vue réelle du véhicule, c'est-à-dire une vue de la scène avec les éventuels obstacles. Les obstacles pourront alors être détectés en comparant cette vue réelle avec l'image virtuelle extraite du modèle 3D c'est-à-dire la scène sans les obstacles.

La caméra utilisée est une AVT MARLIN F-046C, connectée au port FIREWIRE IEEE 1394. Elle délivre des images 640x480 pixels à la fréquence d'acquisition de 30Hz. Comme tout système de vision, la caméra a été calibrée [1,8], afin d'en déterminer les paramètres intrinsèques (distance focale, point principal, facteur d'échelle) et les paramètres de distorsion.

#### GPS :

Le GPS fournit une estimation de la pose du véhicule au SIG-3D. Une fonction a été développée afin de convertir la position du système de coordonnées du GPS (WGS84) au système de coordonnées local du modèle 3D. Cette position permet de placer la caméra virtuelle dans le modèle 3D, le SIG-3D peut alors extraire la vue virtuelle prise de cette position.

Le récepteur utilisé est le GPS Sagitta02 de Thales Navigation. En mode RTK (Real Time Kinematic), la précision du GPS est centimétrique.

Télémètre laser

Afin de valider notre méthode de détection et de géo-localisation d'obstacle basée sur la vision et le modèle 3D virtuel urbain, les résultats obtenus sont comparés avec les mesures d'un télémètre laser à balayage. Il s'agit du modèle LMS291 de SICK. Le télémètre balaye un angle de 180° avec une résolution angulaire de 1°. Il fournit la distance entre le capteur et l'objet-cible.

Ces trois capteurs sont fixés à l'avant du véhicule comme montré sur la Figure 3.



Fig.3: Capteurs embarqués à bord du véhicule

### III. METHODES DEVELOPPEES

#### A - Géo-localisation

Un problème central de beaucoup d'applications de transport intelligent est la localisation dynamique précise en milieu urbain. Le principal capteur pour la localisation extérieure est le GPS (Global Positioning System). Cependant, le GPS fournit l'information de localisation à basse fréquence et souffre de masquage satellite, de multi-trajet, ..., surtout en environnement urbain. La précision, la robustesse et la disponibilité de l'estimation de la position peut donc décroître significativement. Pour compenser ces faiblesses, les données GPS sont souvent fusionnées avec des mesures de positionnement relatif (odomètre, centrale inertielle ...). La localisation relative est utilisée à fréquence d'échantillonnage élevée pour maintenir à jour la pose (position+orientation) du véhicule. La localisation absolue (GPS) est appliquée périodiquement pour corriger la dérive de la localisation relative. Mais, dans le cas d'absence GPS trop longue, le seul positionnement relatif diverge. De plus, la localisation relative n'est pas suffisante pour corriger le multi-trajet du GPS. Nous proposons donc d'élaborer un nouveau capteur de positionnement absolu afin de fournir une estimation précise et robuste de la pose. La méthode de géo-localisation développée est décrite dans la figure (4).

#### a) Observation cartographique 3D

Une observation cartographique est l'estimation de la pose d'un véhicule qu'on calcul après une mise en correspondance entre l'image virtuelle et l'image 2D d'une camera embarqué. Dans cette section, nous décrivons comment la construction de cette observation cartographique.

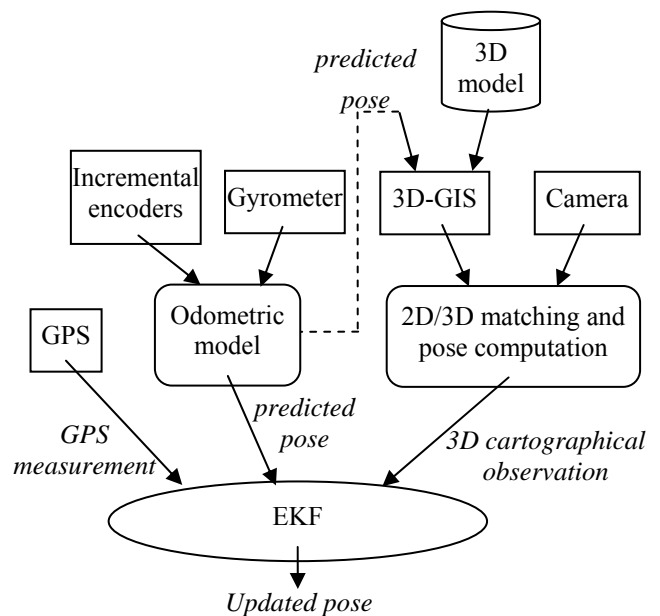


Fig.4: Synoptique de la méthode développée

La méthode est décrite dans la figure 5. La première partie de la méthode consiste en l'extraction des deux images nécessaires à l'algorithme:

- l'image réel capture par la camera embarqué
- L'image virtuelle fournie par SIG-3D

Pour l'extraction d'une image virtuelle, le SIG-3D qui manipule la cartographie 3D doit avoir une initialisation avec une pose qui ne soit pas loin de la vraie position. Nous avons choisi d'utiliser la prédiction avec le modèle odométrique utilisé dans le cadre de ce travail qui utilise les données brutes d'un codeur incrémentale et un gyroscope. Après avoir sélectionner l'image virtuelle. L'étape suivante consiste à effectuer le détecteur des points de Harris de l'image réelle et l'image virtuelle. Une mise en correspondance entre les deux ensembles de points de Harris. Ces points de Harris sont ensuite utilisés pour calculer la géo-position.

Le SIG-3D fourni pas seulement l'image virtuelle mais également le fichier des profondeurs des pixels de l'image. Les profondeurs fournies sont les distances en mètre entre la camera virtuelle et les pixels de l'image virtuelle. Cette distance permet de calculer les coordonnées 3D des pixels dans le modèle 3D.

Considérons  $p$  un point de Harris parmi les points de Harris matché. Supposons que  $(u, v)$  les coordonnées de ce pixel  $p$  dans l'image 2D. Supposons  $P$  le 3D point qui correspond de la projection de ce pixel dans le modèle 3D. Comme nous considérons que le véhicule roule sur une surface plane, nous supposons qu'il n'y a pas ni tangage, ni de roulis. Les coordonnées  $(x_C, y_C, z_C)^T$  du point  $P$  dans le repère de la camera sont calculé de la façon décrite dans la figure 5.

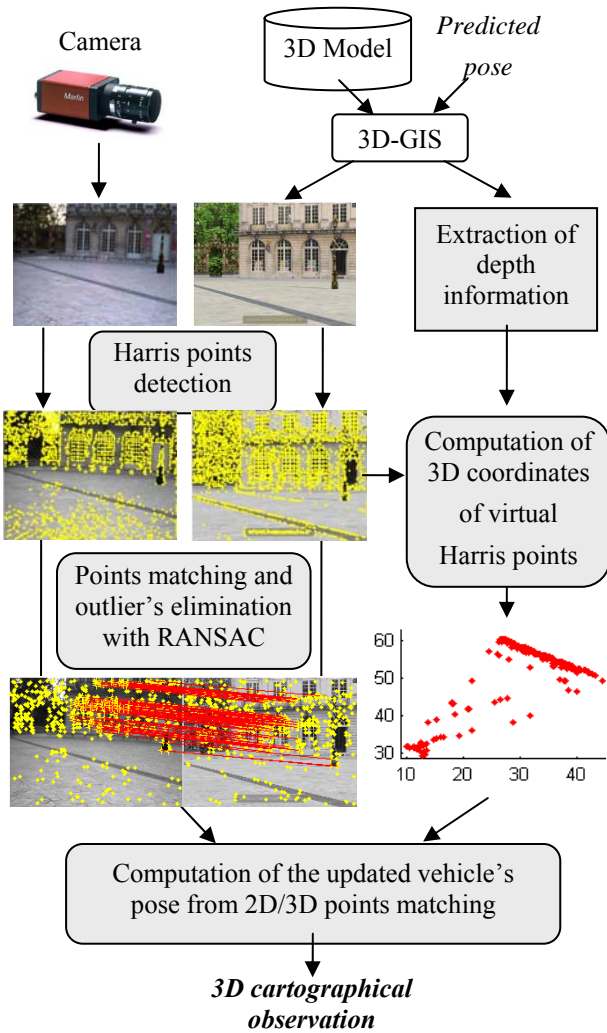


Figure 5: Synoptic de la construction de l'observation cartographique

$$\begin{cases} z_C = -\frac{d \cdot f}{m} \\ x_C = -z_C \cdot \frac{v - v_0}{f} \\ y_C = z_C \cdot \frac{u - u_0}{f} \end{cases} \quad (1)$$

Avec

- $(u_0, v_0)^T$ : coordonnées du pixel dans le repère dont le centre est le centre de la caméra
- $f$ : la distance focale en pixel
- $d$ : distance en mètre entre la caméra  $C$  (i.e. la pose prédite) et le point 3D  $P$ , extraite du modèle 3D
- $m$ : distance en pixels entre la caméra virtuelle  $C$  et le pixel  $p$

$$m = \sqrt{f^2 + (u - u_0)^2 + (v - v_0)^2} \quad (2)$$

Les relations suivantes permettent de déterminer les coordonnées  $(x_M, y_M, z_M)^T$  du point  $P$  dans le repère attaché au modèle 3D:

$$\begin{pmatrix} x_M \\ y_M \\ z_M \end{pmatrix} = R \cdot \begin{pmatrix} x_C \\ y_C \\ z_C \end{pmatrix} + T \quad (3)$$

avec  $(R, T)$  la matrice de rotation et le vecteur de translation du repère de la caméra dans le repère du modèle 3D.

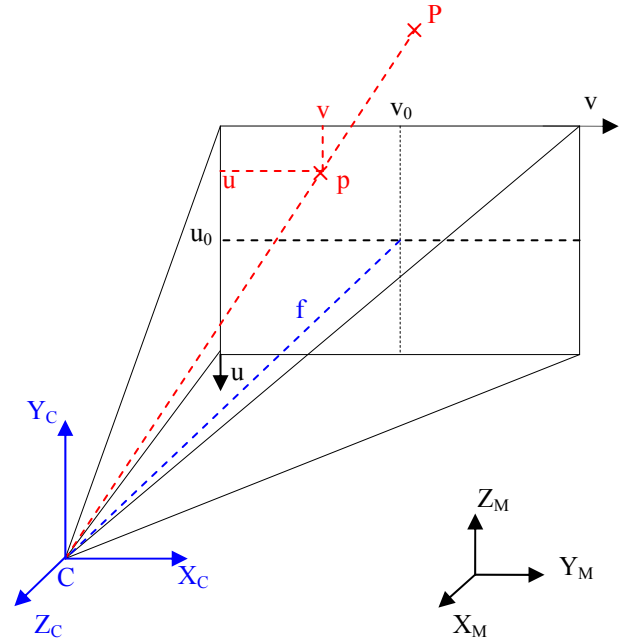


Figure 6: Calcul des coordonnées 3D du point d'Harris en utilisant le profondeur des pixels

Pour chaque pixel apparié, nous déterminons leurs coordonnées 3D. Avec cet appariement 2D/3D, la pose de la caméra réelle pourrait être calculé en utilisant une méthode itérative.

#### B - Détection d'obstacle

La Figure 7 décrit la méthode utilisée pour détecter et géolocaliser les obstacles. Le GPS RTK centimétrique délivre la longitude, la latitude et le cap du véhicule. Ces informations sont fournies au SIG-3D, qui en manipulant la base de données du modèle 3D, retourne la prise de vue de la caméra virtuelle. L'image virtuelle ainsi obtenue et l'image réelle acquise par une caméra embarquée sont ensuite traitées afin de détecter les obstacles visibles de la scène. L'intégration, dans le processus de traitement d'images, de l'information de profondeur produite par le SIG-3D permet ensuite de calculer la distance entre le véhicule et l'obstacle. Finalement, les obstacles détectés sont géo-localisés.



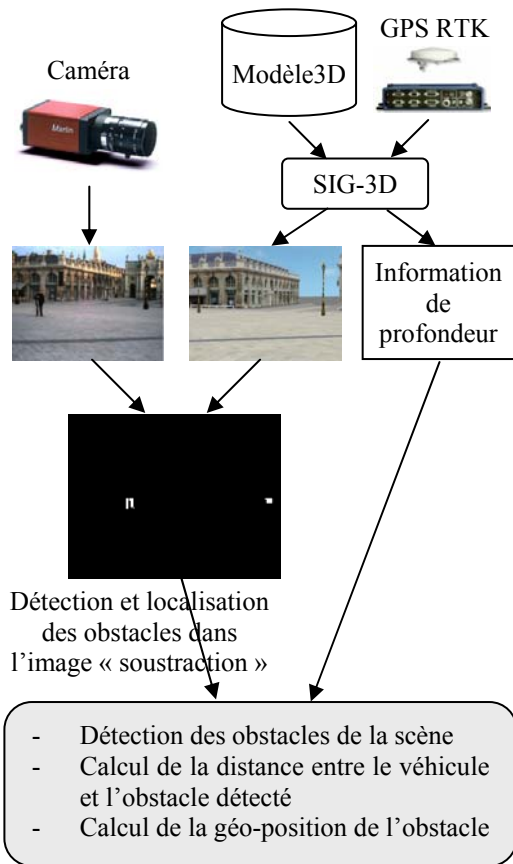


Fig.7: Synoptique de la méthode développée

a) Détection des obstacles

A chaque instant  $k$ , deux images sont disponibles (Fig.8) :

- l'image capturée par la caméra embarquée, appelée image réelle,
- l'image produite par le SIG-3D, appelée image virtuelle.

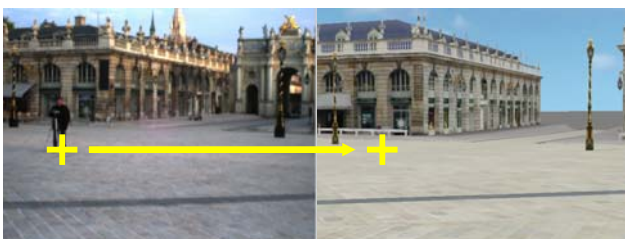


Fig.8: images réelle (gauche) et virtuelle (droite) à l'instant  $k$

La méthode de détection d'obstacle a été développée pour être implémentable en temps-réel. Donc un algorithme de traitement d'image simple est requis. Après une étape de pré-traitement, un module de traitement d'images basé sur le calcul de la différence entre l'image virtuelle binarisée et l'image réelle binarisée est mis en œuvre. Afin d'éviter de détecter des obstacles contenus dans le modèle 3D mais absents de la scène réelle, un ordre dans la soustraction doit être respecté. Finalement, un post-traitement est réalisé afin d'éliminer le bruit. Le résultat de ces différentes étapes est illustré sur un exemple dans la Figure 9.

Comme nous considérons que les obstacles sont au contact du sol, le pixel le plus bas de chaque obstacle détecté dans l'image « soustraction » est l'intersection entre le sol et l'obstacle.



Fig.9: Résultat de la détection d'obstacle

b) Distance entre le véhicule et l'obstacle détecté

Une fois l'obstacle détecté, la distance entre le véhicule et l'obstacle peut être calculée en utilisant l'information de profondeur extraite par le SIG-3D. Le SIG-3D fournit en effet un fichier binaire contenant la profondeur de chaque pixel de l'image virtuelle, c'est-à-dire la distance entre la caméra virtuelle et le point 3D correspondant au pixel considéré. La profondeur (notée  $l$ ) du pixel correspondant à l'obstacle détecté est alors recherchée dans ce fichier binaire des profondeurs et donne donc la distance entre la caméra et l'obstacle.

La caméra est installée sur le véhicule comme indiqué sur la Figure 10. La distance (notée  $d$ ) entre l'avant du véhicule et l'obstacle est alors définie comme suit :

$$d = \sqrt{l^2 - 0.7^2}$$

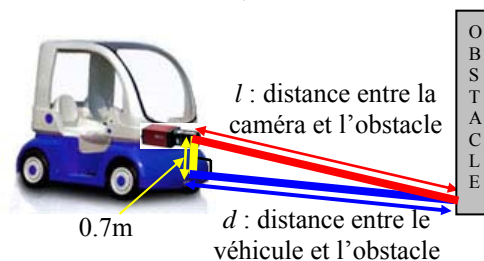


Fig.10: Calcul de la distance entre le véhicule et l'obstacle

c) Géolocalisation de l'obstacle détecté

La distance entre le véhicule et la caméra étant connue, l'obstacle peut être géolocalisé. Dans la mesure où la hauteur de l'obstacle n'est pas nécessaire, la scène peut être projetée sur le plan  $XY$ , qui est supposé être le plan du sol.

L'obstacle appartient alors à la droite passant par la caméra et d'équation :

$$y = \cotan(\beta).(x - X_C) + Y_C$$

avec :

- $X_C$  et  $Y_C$ , les coordonnées de la caméra dans le système Lambert93 (donné par le GPS RTK),

- $\beta$ , l'orientation de l'obstacle dans le système de coordonnées Lambert93, c'est-à-dire l'angle entre l'obstacle et l'axe Nord.

Puisque la distance entre la caméra et l'obstacle est connue, l'obstacle est géo-localisé.

L'orientation  $\beta$  est telle que :

$$\beta = head - \alpha$$

avec  $head$ , l'orientation du véhicule c'est-à-dire l'angle entre l'axe de la caméra et l'axe  $Y$  (Nord) du repère Lambert93 et  $\alpha$ , l'angle entre l'axe de la caméra et l'obstacle. L'angle  $\alpha$  est donc l'angle formé par l'axe orthogonal au plan de l'image et au centre de l'image (segment  $D$  dans la Figure 11) et le segment  $d_{ob}$  reliant la caméra à l'obstacle. Dans le même plan de profondeur, l'angle  $\alpha$  peut être calculé avec l'équation trigonométrique suivante :

$$\tan \alpha = \frac{A}{width/2} \tan(O_h/2)$$

où :

- $O_h$  est le FOV horizontal (Field Of View),
- $width$  est le nombre de pixels dans la largeur de l'image,
- $A$  représente le nombre de pixels entre le pixel du centre de l'image et la projection  $P_{ob}$  de l'obstacle dans le plan  $P$  dont la profondeur est la profondeur du pixel central de l'image.

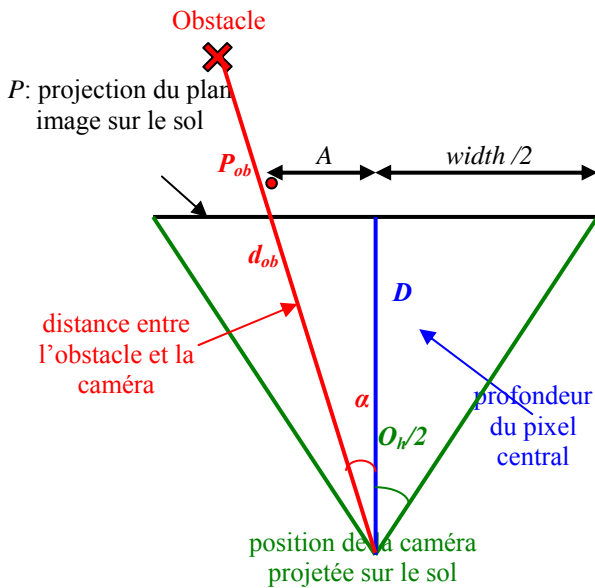


Fig.11: Calcul de la géo-position de l'obstacle détecté

#### IV. RESULTATS

Afin de tester et valider notre approche avec des données réelles, une plateforme d'acquisition a été développée. Celle-ci a été intégrée à notre véhicule expérimental, un CyCab produit par la société Robosoft (<http://www.robosoft.fr/>). Cette plateforme d'acquisition permet d'acquérir, de dater et d'enregistrer les mesures des capteurs embarqués.

Afin de valider la distance entre le véhicule et l'obstacle calculée par notre approche, les résultats sont comparés avec la distance mesurée par un télémètre laser. La Figure 11 présente

cette comparaison. L'obstacle détecté est une personne passant devant le véhicule pendant 40 secondes. Dans la Figure 11a, la distance entre le véhicule et l'obstacle est tracée en bleu pour notre méthode, et en rouge pour la distance donnée par le télémètre laser. La différence entre ces deux distances est tracée en vert dans la Figure 11b. Pour un obstacle se trouvant entre 1,50m et 4,50m devant le véhicule, l'erreur maximale est de 0,8m. L'erreur moyenne est de 0,35m.

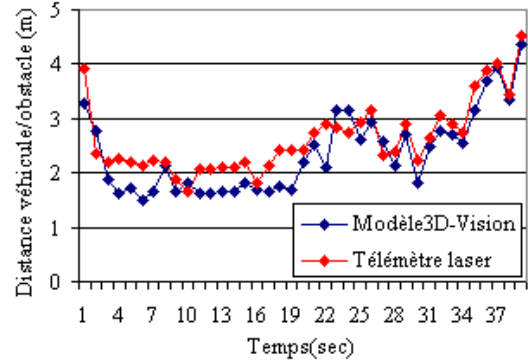


Fig.11a

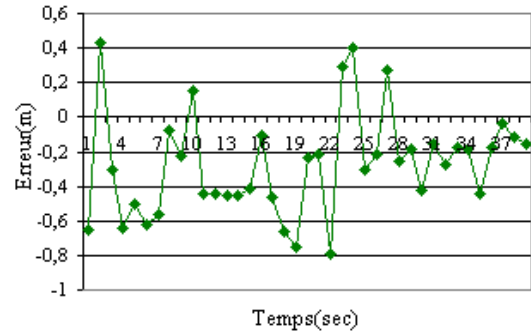


Fig.11b

Fig.11: Validation de la distance calculée entre le véhicule et l'obstacle par comparaison avec un télémètre laser

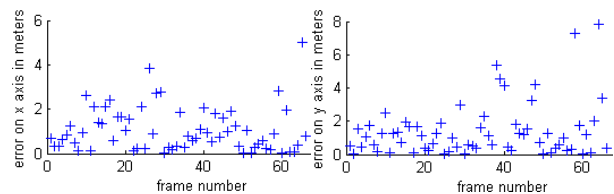
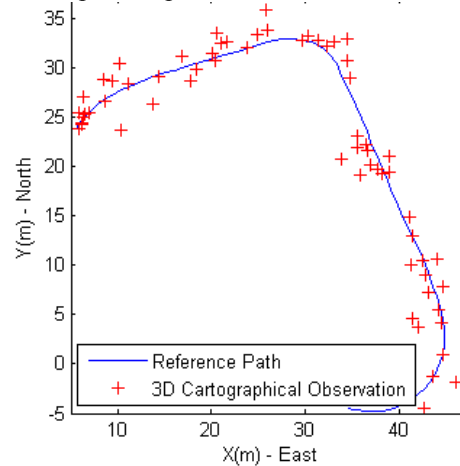


Fig.12: Validation de la distance calculée entre le véhicule et l'obstacle par comparaison avec un télémètre laser

Sur la figure 12, nous pouvons voir les résultats de la géo-localisation avec la méthode du calcul de l'observation cartographique. Nous pouvons remarquer que l'erreur en moyenne sur l'axe des x et des y est de l'ordre de 1.35 mètre. Cette précision est bien acceptable en comparaison avec un GPS naturel où l'erreur peut atteindre facilement les 10 mètres. L'ordre de grandeur de l'erreur obtenu par la méthode proposée est plutôt comparable avec un DGPS de type EGNOS ou OMNISTAR qui est de l'ordre de 1 à 3 mètres.

## V. CONCLUSION

Deux méthodes, une pour la géo-localisation et une autre pour la détection et de géo-localisation d'obstacle ont été présentées. Ces méthodes intègrent des données provenant d'un GPS RTK centimétrique, d'une caméra et d'un modèle 3D géo-référencé. Les approches ont été testées et validées sur des données expérimentales. La distance entre le véhicule et l'obstacle calculée par notre méthode a été comparée avec la distance mesurée par un télémètre laser à balayage.

La qualité des résultats de notre méthode dépend beaucoup de la précision du GPS. Or il est bien connu qu'en milieu urbain, la précision et la disponibilité du GPS sont dégradées. C'est pourquoi, la deuxième méthode proposée pour le calcul d'une information de géo-localisation est très utile. Une estimation de la pose du véhicule est construite en apparant l'image réelle avec le modèle 3D.

D'autre part, une implémentation en temps-réel de ce détecteur d'obstacle est en cours de développement.

## VI. REFERENCES

- [1] Calibration Camera Toolbox for Matlab, [http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib\\_doc/index.html](http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/index.html)
- [2] C. Cappelle, M. El Badaoui El Najjar, D. Pomorski and F. Charpillet, "Localisation in urban environment using GPS and INS aided by monocular vision system and 3D geographical model", in *Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium, IV'07*, Istanbul, Turquie, 13 - 15 Juin, 2007.
- [3] R. Malaka, K. Schneider, U. Kretschmer, "Stage-based augmented edutainment", *Proceedings of Smart Graphics: 4th International Symposium, SG 2004*, Banff, Canada, May 23-25, 2004.
- [4] S. Persa and P. Jonker, "Real-time Computer Vision System for Mobile Robot", *Procs. SPIE Intelligent Robots and Computer Vision XX : Algorithms, Techniques, and Active Vision*, David P. Casasent, Ernest L. Hall, Eds., vol. 4572, pp. 105-114, October 2001.
- [5] A. Schilling and D. Holweg, 3D GIS for virtual City Models, Exploring foreign Cities and reconstructed Buildings, 2004
- [6] K. Sung-Soo, K. Kyong-Ho, L. Seong-Ho and L. Jong-Hun, "High Resolution Earth Imaging for Geospatial Information", *Video Navigation System using the Geographic Hypermedia*, ISPRS Hannover Workshop, 2005.
- [7] Y. Takase, N. Sho, A. Sone, K. Shimiya, "Generation of Digital City Model", *Journal of the Visualization Society of Japan*, vol. 23, n°88, pp. 21-27, 2003.

- [8] Z. Zhang, "A flexible new technique for camera calibration", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 22, N°11, pp 1330-1334, 2000.
- [9] S. Zlatanova, A. Rahman and M. Pilouk, "Present status of 3D GIS", *GIM International*, vol. 16, n°6, pp. 41-43, June 2002.