HAL
open science

Relevés laser urbains par Systèmes Mobiles de Cartographie

François Goulette

To cite this version:

François Goulette. Relevés laser urbains par Systèmes Mobiles de Cartographie. Revue XYZ, 2009, 119, pp.15-19. hal-01259665

HAL Id: hal-01259665

https://hal.science/hal-01259665v1

Submitted on 20 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.

Relevés laser urbains
par Systèmes Mobiles de Cartographie

François Goulette

Centre de Robotique - CAOR, Mathématiques et Systèmes
Mines ParisTech, 60 boulevard Saint Michel, 75272 PARIS Cedex 06
francois.goulette@mines-paristech.fr

Retranscription pour la revue XYZ de la conférence prononcée le 18 mars 2009 à l'occasion du « Forum de la Topographie 2009 » (Association Française de Topographie).

Résumé : Les Systèmes Mobiles de Cartographie sont apparus pour répondre au besoin grandissant de collecte d'informations géographiques. Ils sont constitués d'un dispositif mobile équipé de capteurs de localisation et de perception. Parmi eux, les systèmes terrestres à laser permettent d'effectuer des relevés laser mobiles en environnement urbain, à une vitesse beaucoup plus importante que les systèmes fixes. Dans cet article, nous en présentons les principes et quelques systèmes existants puis discutons de leur intérêt comparé.

Mots-clés : relevé laser, numérisation 3D, système mobile, environnement urbain, prototype, localisation, GPS-INS.

Summary: Mobile Mapping Systems address the current growing demand for geographical information acquisition. They consist of a mobile apparatus equipped with localisation and perception sensors. Among them, laser terrestrial systems permit to produce laser surveys in urban environments, at a faster speed than fixed systems. In this paper, we present their paradigms and some existing systems, and then we discuss and compare their interests.

Keywords: laser survey, 3D digitizing, Mobile System, urban environment, prototype, localisation, GPS-INS.

1) Introduction : SIG et Systèmes Mobiles de Cartographie

On observe depuis quelques années un fort développement des « Systèmes d'Information Géographique » (SIG), popularisés auprès du grand public par les bases de données routières embarquées ou la navigation virtuelle dans des villes en 3D, mais aussi tirés par d'autres usages. Rappelons qu'une base de données cartographiques collecte des informations structurées de façon géographique, et qu'un SIG est un système informatique permettant de gérer ces informations : interrogation, visualisation, renseignement de la base, etc. De fait, ce type de bases de données apporte des avantages pour de nombreuses applications [DEN04].

Le relief et la troisième dimension ont fait leur apparition dans les SIG depuis plusieurs années : modèles ajoutant l'information d'altitude, dits « 2D et demi », comme les

Modèles Numérique de Terrain (MNT), de Surface (MNS) ou d'Elévation (MNE) ; modèles 3D avec surfaces et volumes. Le développement très rapide et grand public du rendu virtuel de villes en 3D, avec par exemple Virtual Earth (Microsoft) [Web VirtualEarth], le Géoportail (IGN) [Web Géoportail] ou Google Earth (Figure 1) [Web GoogleEarth], en a démontré l'intérêt. On peut également citer d'autres applications des SIG, trouvant un avantage à l'information 3D : aménagement urbain, architecture et planification urbaine, voirie, génie civil ; choix de tracés routiers ou ferroviaires, transport ; protection civile ; protection environnementale, gestion de ressources naturelles (les forêts par exemple), géologie ; guidage et localisation par systèmes de navigation personnels (automobilistes) ou directement sur téléphone mobile (piétons) ; applications militaires ; simulation, jeux virtuels ; tourisme virtuel.

Figure 1 : Musée du Louvre en 3D (Google Earth©)

Pour répondre à la demande de développement des SIG, il est nécessaire d'être en mesure de collecter de grandes quantités d'informations géo-référencées et d'avoir accès aux informations pertinentes aux nouveaux usages. Actuellement, le procédé le plus couramment employé utilise des images aéroportées. Ce procédé permet un relevé à grand rendement d'une zone terrestre étendue, et la génération de Modèles Numériques d'Elévation par des méthodes de stéréoscopie. Il est également possible d'utiliser des clichés d'origine satellitaire. Enfin, l'utilisation de scanners laser (LIDAR) embarqués sur les avions se développe pour la réalisation de MNE. Ces différentes méthodes sont exploitées pour générer des modèles 3D de zones. La réalisation de modèles de grande précision de bâtiments peut être faite par des procédés de photogrammétrie ou de relevés laser au sol (fixe). Ces méthodes sont employées par les géomètres et topographes, ainsi que par les architectes. Les systèmes de relevés de données terrestres mobiles, appelés « Systèmes Mobiles de Cartographie » (*Mobile Mapping Systems*), ont fait leur apparition depuis une dizaine d'années. Ils présentent l'avantage d'assurer des couvertures de larges zones en un temps court, avec une précision plus grande et plus près du détail souhaité que les systèmes aéroportés. Développés à l'origine comme prototypes dans des laboratoires universitaires, certains systèmes commerciaux ont fait leur apparition sur le marché des fournisseurs de données géographiques. Intermédiaires entre les dispositifs aéroportés et les relevés terrestres fixes, ils ont initialement concerné la prise de photographies embarquée, et cette application est encore très demandée : par exemple,

informations collectées pour Google StreetView [Web StreetView], ou relevé de données routières comme les panneaux et marquages. Plus récemment, en ajoutant des scanners laser sur ces systèmes, ils ont permis de répondre à de nouveaux usages de relevés laser mobiles. Par rapport aux relevés laser fixes, les relevés mobiles permettent une plus grande vitesse d'acquisition et rendent techniquement et économiquement accessibles des chantiers qui ne l'étaient pas auparavant.

Dans la suite de cet article, nous présentons tout d'abord le principe des relevés laser par Système Mobile de Cartographie, et quelques systèmes existants. Ensuite, nous proposons une discussion sur l'intérêt de ces systèmes. Enfin nous concluons et présentons des perspectives.

2) Relevés laser fixes et mobiles

Le principe des scanners laser pour le relevé d'informations tridimensionnelles est connu depuis plusieurs années et de nombreux systèmes commerciaux sont disponibles. Un rayon laser, projeté en direction d'une surface, va mesurer la distance entre sa source lumineuse et la surface. Plusieurs solutions techniques sont utilisées pour cela, dont principalement la triangulation, la mesure du temps de vol impulsionnel, et la mesure du temps de vol modulé (mesure de phase) [GOU02]. Connaissant la direction d'émission du rayon laser et la distance, il est possible de calculer les coordonnées tridimensionnelles du point ainsi relevé. Un balayage (*scan*) du laser suivant différentes directions permet de mesurer un ensemble important de points 3D dans l'espace environnant. Cet ensemble de points 3D, généralement appelé « nuage de points », constitue le *scan laser* ou relevé laser.

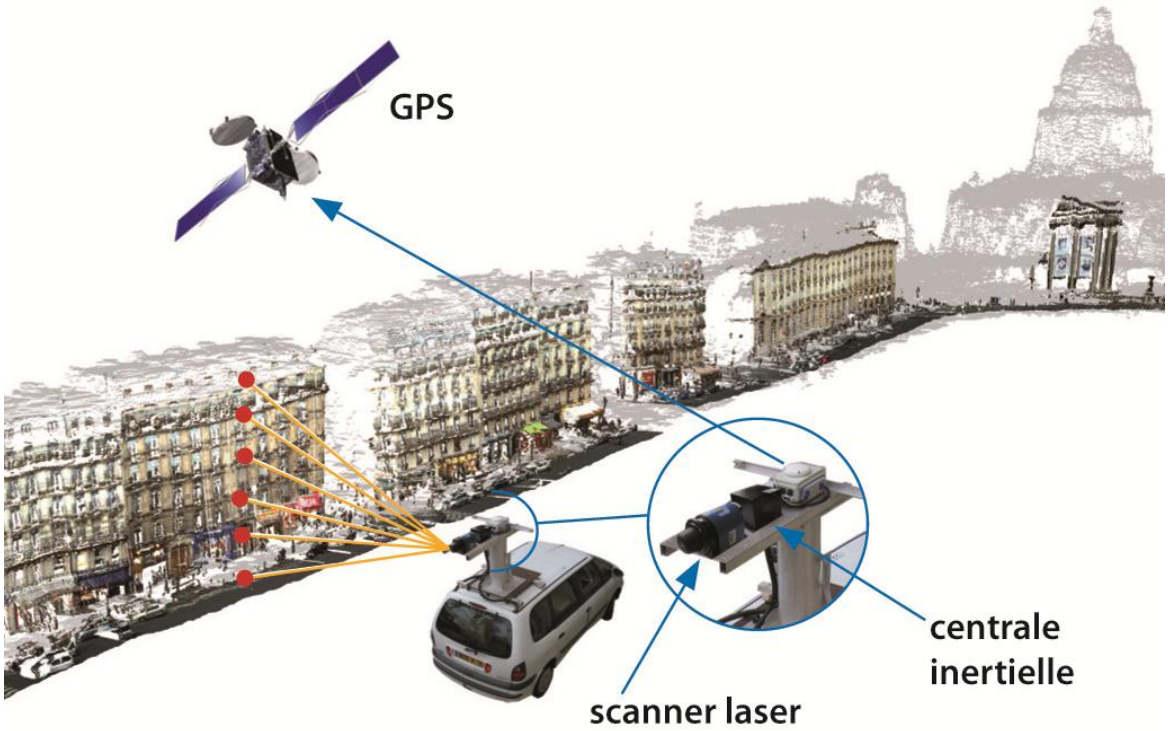


Figure 2 : Cartographie 3D de la rue Soufflot (Paris)
et principe de relevé laser mobile

De façon classique, le balayage se fait selon deux directions perpendiculaires de rotation et l'ensemble du système est placé en un point donné d'observation. C'est le principe des relevés laser fixes. Le procédé est maintenant bien connu et maîtrisé. Il permet de numériser une zone observable d'un point particulier, de façon simple, rapide et précise. Les distances couvertes, résolutions entre points, précisions et vitesses d'acquisition, sont variables selon les systèmes. En ordres de grandeur, les distances couvertes sont de l'ordre de la centaine de mètres, les résolutions entre points de l'ordre de la dizaine de centimètres, les précisions de l'ordre du centimètre, les vitesses d'acquisition entre la dizaine et la centaine de milliers de points par seconde. Lorsque l'on souhaite numériser une zone importante, il est nécessaire de faire plusieurs acquisitions à des points d'observation différents, puis de mettre dans un référentiel commun (recaler / consolider) les différents relevés. L'opération de recalage se fait de plusieurs façons possibles, par des mires de recalage positionnées dans la scène, ou par l'identification précise des différents points de prise de vue (relative ou absolue, avec théodolites ou GPS par exemple).

De façon différente, les relevés laser mobiles utilisent des véhicules porteurs pour se déplacer plus rapidement. Deux approches existent, appelées « *Stop-and-Go* » et « *On-Drive* ». L'approche « *Stop-and-Go* » est assez similaire à l'approche décrite ci-dessus pour les relevés fixes, la différence étant que le scanner laser est monté sur un véhicule et qu'il se déplace plus rapidement de point d'observation en point d'observation. L'approche « *On-Drive* » est en revanche différente, puisque l'acquisition se fait au cours du déplacement du véhicule, et que ce déplacement constitue lui-même l'une des directions de scanning.

Nous développons depuis 2002 une plateforme expérimentale de Système Mobile de Cartographie appelée LARA-3D [GOU06]. Il s'agit d'une plateforme d'étude et d'appui aux travaux scientifiques, ayant déjà connu plusieurs versions, et qui effectue notamment des relevés laser du type « *On-Drive* ». La Figure 2 présente une illustration du principe de relevé laser par système mobile, avec le prototype LARA-3D (version 2008). Les points 3D couleur sont des points relevés par le scanner laser, et colorisés par des caméras [DES09]. Ces données sont ici superposées à un Modèle Numérique de Surface (MNS) obtenu par des prises de vue aériennes, fourni par l'IGN (points gris). L'approche choisie pour notre plateforme, qui en fait son originalité et son intérêt, repose sur les points suivants : il s'agit d'une part d'un système intégré d'acquisition et de traitement de données « temps réel » ; d'autre part, d'un système générique par rapport aux applications, à la fois urbaines et routières et déclinées avec différentes variantes ; enfin, nous cherchons à avoir un système « bas coût », ayant choisi d'une part de conserver des capteurs de localisation de moyenne gamme, et d'autre part compte tenu de l'approche intégrée et temps réel.

Figure 3 : StreetMapper (3DLM) – exemple de système commercial

Bien que le principe des systèmes mobiles de cartographie soit apparu il y a moins d'une dizaine d'années, de nombreux prototypes existent déjà de par le monde ainsi que des premiers systèmes commerciaux. Parmi les prototypes, nous pouvons par exemple citer VLMS (Univ. Tokyo), Stereopolis-2 de l'IGN. Parmi les systèmes commerciaux, StreetMapper (3DLM) (Figure 3), Optech, DAVIDE (GIOVE) [BAR08, ELL02].

3) Structure technique des Systèmes Mobiles

Pour un système mobile « *On-Drive* », les fonctions techniques principales à assurer sont : un relevé laser embarqué selon une première direction de balayage ; le déplacement du véhicule ; l'identification précise de la position et de l'orientation du scanner au moment du relevé ; la combinaison de toutes ces informations provenant de différents capteurs. Ceci implique la structuration que l'on trouve actuellement dans tous les systèmes existants, en quatre sous-systèmes : scanner laser ; véhicule ; Système de Position et d'Orientation (*Position and Orientation System, POS*) ; informatique embarquée.

En effet, deux grandes fonctions sont essentielles à la production d'un relevé laser : (1) le relevé d'une distance à une surface le long du rayon laser ; (2) le balayage de l'espace par le laser en même temps que la mesure de la position et de l'orientation de balayage. La première fonction est réalisée, selon les différents procédés mentionnés ci-dessus, par un EDM (*Electronic Distance Meter*). La combinaison de cette fonction avec la fonction de balayage et de mesure, permet d'avoir un « Scanner ». Dans le cas des systèmes fixes, il est nécessaire d'avoir un double balayage. Pour les systèmes mobiles, un balayage selon une seule direction peut suffire, le deuxième balayage étant assuré par le déplacement du véhicule. En revanche, il est nécessaire d'identifier précisément la position et l'orientation du scanner (géo-référencement) au moment du relevé, sans quoi la mesure effectuée est incomplète pour calculer des points 3D.

Le POS (Système de Position et d'Orientation) permet de connaître la position et l'orientation du véhicule en tout point de sa trajectoire. Pour cela, il utilise généralement plusieurs capteurs de localisation dont les informations sont combinées (fusionnées), et en particulier un GPS et une Centrale Inertielle. Le GPS permet de mesurer la position sur la Terre du véhicule mais n'est pas suffisant pour connaître l'orientation. C'est la Centrale Inertielle (*Inertial Measurement Unit, IMU*) qui permet d'obtenir cette information. Une Centrale Inertielle est un capteur constitué de trois accéléromètres et trois gyromètres. Seule, elle ne permet que d'avoir des informations dérivées de la position et de l'orientation. Ces informations doivent être intégrées (*Inertial Navigation System, INS*), et combinées par une fusion d'information du type « filtrage de Kalman », dans un système couplé de type GPS-INS dont le principe est désormais bien connu. On peut compléter ces informations par d'autres capteurs, comme par exemple des odomètres, qui mesurent la position ou la vitesse des roues du véhicule. Il existe plusieurs POS commerciaux adaptés aux Systèmes Mobiles de Cartographie, par exemple Applanix POS-LV (qui équipe de nombreux systèmes), ou IGI (qui semble équiper de façon exclusive StreetMapper).

Le POS est un élément critique pour un Système Mobile de Cartographie. En effet, la production de points 3D précis exige un géo-référencement également précis du véhicule. Idéalement, pour que les systèmes mobiles puissent concurrencer la précision fournie par les systèmes fixes, les ordres de grandeur attendus en termes de précision du POS sont de l'ordre du centimètre en position et du degré en orientation. Or les informations INS sont soumises à dérive au cours du temps (intégration de données dérivées), ce qui est normalement compensé par l'information GPS mais pas toujours de façon correcte : cette information peut être

manquante (tunnels, masquages par les arbres, corridors urbains) ou altérée, particulièrement en milieu urbain (multi-trajets à cause des réflexions sur les façades). Ainsi, les POS ont actuellement du mal à garantir en toute situation la qualité de service attendue par les utilisateurs.

Les scanners laser utilisés sont également des pièces importantes, dont les caractéristiques demandent à être adaptées à celles de l'ensemble du système. Ces caractéristiques sont notamment la vitesse d'acquisition et la résolution de balayage, la précision de mesure, la portée. En réponse à une demande croissante et aux besoins techniques spécifiques sur ce segment, plusieurs constructeurs ont commencé à proposer des scanners dédiés aux applications de relevé mobile, avec par exemple : Lynx (Optech), VQ-250 (Riegl), Photon (Faro).

4) Comparaison et discussion

Les systèmes mobiles suscitent actuellement un engouement important pour les relevés laser. Pour autant, vont-ils remplacer les systèmes fixes ou simplement offrir une nouvelle modalité d'acquisition ? Pour éclairer cette question, nous reprenons une comparaison réalisée sur la base de deux tests de relevés laser, effectués sur une même portion urbaine avec des systèmes fixe et mobile (Rue Soufflot, Paris 5e ; largeur : 140 m, hauteur : 30 m) [YOO09]. Le scanner fixe est un système commercial (VX Trimble). Le relevé a demandé 6 stations (points d'acquisition) et un recalage des scans entre eux. Le scanner mobile est la plateforme LARA-3D. La Figure 4 présente les relevés obtenus selon les deux procédés.

Si l'on compare les temps de calcul, on observe sur cette portion de rue un gain de temps considérable, d'environ un facteur 10. En effet, le relevé par scanner fixe (VX Trimble) a demandé un temps total d'acquisition et de génération du nuage de points consolidé d'environ 6 heures. Le relevé par système mobile (scanner IBEO LD monté sur LARA-3D), avec une vitesse de véhicule d'environ 9 km/h, a demandé un temps total d'acquisition et de génération du nuage de points d'environ 40 minutes. De plus, le système mobile a numérisé les deux côtés de la rue (contre un seul côté avec le système fixe), et enfin les temps de génération du nuage de points sont appelés, à terme, à être réduits voire intégrés au moment du parcours. Il est toutefois à noter que les conditions opératoires n'ont pas été optimisées et que le test effectué n'a qu'une valeur indicative.

Un deuxième critère de comparaison est la qualité du relevé laser. Plusieurs éléments sont à prendre en considération que l'on peut catégoriser ainsi : précision, résolution et homogénéité, complétude. La précision des points 3D est une question qui se pose de façon spécifique dans les systèmes mobiles par rapport aux systèmes fixes car elle dépend du système de localisation (POS). Actuellement les POS ne garantissent pas la qualité de service en termes de précision. Par ailleurs, la caractérisation de la précision de données issues des systèmes mobiles est un domaine sur lequel peu de travaux existent actuellement [BAR08]. La résolution, latérale et horizontale, est un paramètre adaptable à configurer en fonction des besoins. Lorsque le balayage est angulaire, la résolution des points mesurés dépend de la distance d'observation, ce qui peut amener des résolutions non homogènes. Ceci présente plusieurs inconvénients, que ce soit de sous-densité ou inversement de sur-densité. Ce problème n'est pas spécifique aux systèmes mobiles mais se pose différemment des systèmes fixes. La complétude concerne le problème des zones occultés, produites par les « ombres »

d'objets indésirables au moment du relevé, comme les véhicules, piétons, arbres, etc. Ce problème n'est pas non plus spécifique aux relevés mobiles mais ils offrent probablement moins de liberté qu'avec les stations fixes pour choisir un point de vue adapté. En conclusion, les systèmes mobiles ne répondent actuellement que partiellement aux besoins sur la qualité des relevés, en particulier sur la précision des données. L'analyse des critères de qualité permet toutefois de travailler sur la conception de ces systèmes pour mieux répondre aux besoins [YOO09].

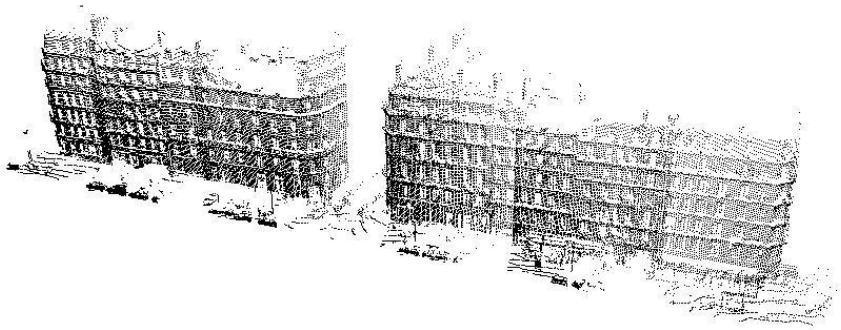
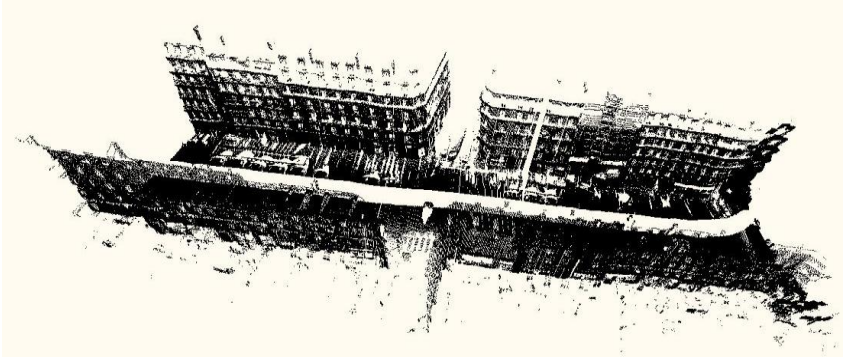
Scanner fixe VX Trimble 	
Scanner mobile LARA-3D 	

Figure 4 : Rue Soufflot, Paris 5ème – relevés par scanner fixe et mobile

5) Conclusion

Les systèmes mobiles de cartographie à scanner laser ouvrent de nouvelles possibilités aux relevés laser en environnement urbain. Cet article en a présenté le contexte de développement, les principes, quelques prototypes et systèmes commerciaux, et une comparaison entre relevé fixe et mobile. En conclusion les systèmes mobiles vont probablement concurrencer sur certains domaines les systèmes fixes. En offrant une plus grande vitesse d'acquisition, les relevés mobiles rendent techniquement et économiquement accessibles des chantiers qui ne l'étaient pas auparavant. Des améliorations sont toutefois attendues sur la garantie de précision des points 3D mesurés. De plus, les spécificités des systèmes fixes leur conserveront un intérêt pour certains besoins. Il semble plus probable d'imaginer que les systèmes mobiles complèteront l'offre technique de collecte d'informations géographiques, avec les systèmes fixes mais aussi les systèmes aériens, comme l'illustre la Figure 2 (combinaison de relevé laser mobile et de Modèle Numérique de Surface obtenu à partir de prises de vues aériennes).

Remerciements

Les travaux réalisés à Mines ParisTech mentionnés dans ce document ont été partiellement financés par le projet TerraNumerica du pôle de compétitivité Cap Digital.

Références

[BAR08] Barber D., Mills J. and Smith-Voisey S. (2008). *Geometric validation of a ground-based mobile laser scanning system*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing n. 63, pp.128-141.

[DEN04] Denègre J. et Salgé F. (2004). *Les Systèmes d'Information Géographique*. Série « Que sais-je ? », Presses Universitaires de France.

[DES09] Deschaud J.-E., Brun X., Goulette F. (2009). *Colorisation et texturation d'environnements urbains par système mobile avec scanner laser et caméra.* Revue Française de Photogrammétrie et Télédétection, à paraître.

[ELL02] Ellum, C., El-Sheimy, N. (2002). *Land-based mobile mapping systems*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 68 (1), 13–17 (and 28).

[GOU02] Goulette F. et Laurgeau C. (2002). *Capteurs et Numérisation 3D*, chapitre 1 du livre « Images de Profondeur », sous la direction de Jean Gallice, Editions Hermès.

[GOU06] Goulette F., Nashashibi F., Abuhadrous I., Ammoun S., Laurgeau C. (2006). *An Integrated On-Board Laser Range Sensing System for On-The-Way City and Road Modelling.* Proc. ISPRS – Commission I (Sensors), Marne-la-Vallée (France), July 2006. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 34, Part A.

[YOO09] Yoo H.-J., Goulette F., Senpauroca J., Lepère G. et Gruyer D. (2009). *Aide à la conception par simulation de systèmes de cartographie mobiles à scanner laser.* Revue Française de Photogrammétrie et Télédétection, à paraître.

[Web GoogleEarth] http://earth.google.com/

[Web Géoportail] http://www.geoportail.fr/

[Web VirtualEarth] http://www.microsoft.com/virtualearth/

[Web StreetView] http://maps.google.fr/help/maps/streetview/