

La cartographie mobile au service des communautés urbaines

■ Marc DESPRES

Le référentiel de voirie à très grande échelle est un besoin ancien et toujours présent pour les communautés urbaines. Ce travail de fin d'étude [1], menée au Grand Lyon, montre que la cartographie mobile terrestre a les capacités de répondre à ce besoin en générant une donnée de référence non structurée. Deux critères nécessaires sont remplis. D'une part, la vitesse d'acquisition qui est portée à près de 40 km/h et d'autre part, la précision qui est ici contrôlée comme atteignant des classes de précision totales planimétrique de 5 cm et altimétrique de 2 cm. Répondant de plus aux besoins en modélisation 3D, la cartographie mobile terrestre souffre néanmoins d'un volume de données excessif et d'un manque de fluidité des environnements 3D actuels. Une fois les progrès informatiques atteints sur ce dernier point, la planification des aménagements urbains se déroulera directement depuis une maquette virtuelle texturée.

MOTS-CLÉS

Cartographie mobile, modélisation 3D, espace public de voirie

fonctionnement du levé dynamique terrestre est décrit et quelques offres du marché sont présentées. Dans un deuxième temps, les résultats de l'évaluation des capacités de l'une de ces technologies sont détaillés. Enfin, dans un troisième temps, des propositions de mise en place de ces technologies au sein d'une communauté urbaine comme celle de Lyon sont exposées.

Principe de fonctionnement

■ Levé dynamique terrestre

Appelé "Système Mobile de Cartographie" (MMS : Mobile Mapping System), il a fait son apparition depuis plus d'une dizaine d'années (GOULETTE F., 2009 - [4]). L'idée est simple mais compliquée à mettre en œuvre : plusieurs instruments réalisent des mesures depuis le toit d'un véhicule allant à la vitesse de la circulation.

Deux catégories d'acquisition sont à distinguer : celle lasergrammétrique et celle photogrammétrique (cf. Figure 1). La première utilise un scanner laser 3D

Le territoire de la Communauté Urbaine de Lyon englobe 58 communes étalées sur 500 km². Conscient de l'intérêt d'une connaissance détaillée de son territoire, le Grand Lyon étudie dans ce sens la création d'un référentiel de voirie 3D à très grande échelle. Même simplifié, son intérêt n'est plus à démontrer (BENOIST B., 2005 - [2]). Plusieurs projets et études se succèdent sans parvenir à le mettre en place (MAURY C., 2006 - [3]). Le travail est colossal et malgré son intérêt rien ne semble faisable avec les moyens existants.

En effet, d'un côté, si les acquisitions aériennes permettent de couvrir de grandes surfaces rapidement, leur niveau de détail ne contente cependant pas encore toutes les attentes. D'un autre côté, les levés topographiques, capables d'une grande précision, restent néanmoins bloqués par un temps d'acquisition excessif. De ce fait, une autre solution technologique doit être trouvée. La cartographie mobile terrestre est dans cet objectif expérimentée au Grand Lyon.

Cet article est issu d'un Travail de Fin d'Étude (TFE) [1] sur les capacités des levés dynamiques terrestres existants à atteindre des précisions topographiques. Le champ d'action ciblé par le

Grand Lyon est celui de la modélisation 3D de l'ensemble de la voirie communautaire, avec le niveau de détails du 1:200^e. À cette échelle, la Communauté Urbaine de Lyon demande des classes de précision totales inférieure à 5 cm en planimétrie et inférieure à 2 cm en altimétrie. Les technologies de cartographie mobile terrestre actuelles peuvent-elles parvenir à atteindre ce résultat ? Dans un premier temps, le principe de

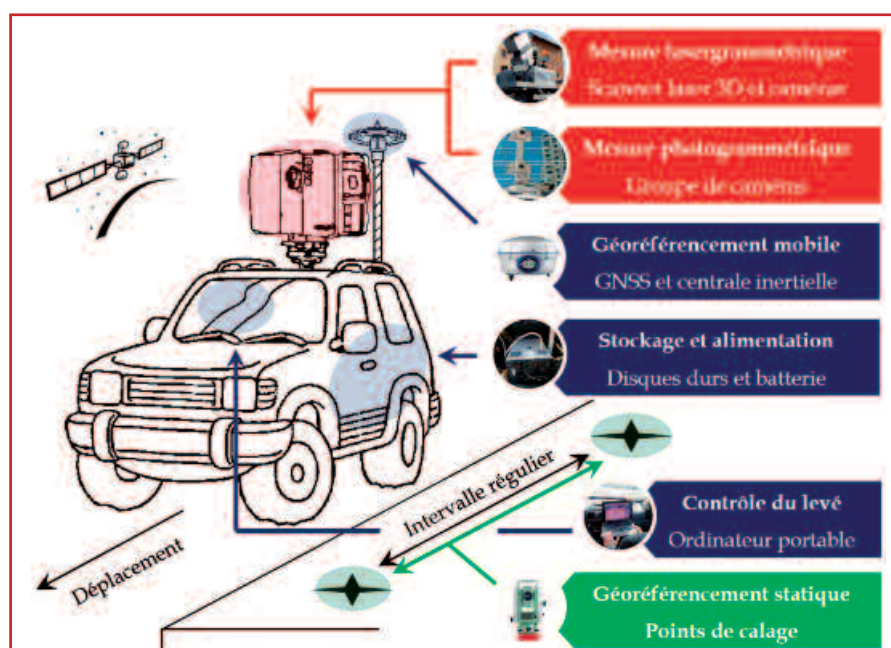


Figure 1. Fonctionnement des systèmes mobiles de cartographie



pour les mesures et des caméras dont les images permettent la visualisation de l'environnement. La seconde exploite davantage de caméras dont le recouvrement d'images permet des mesures stéréoscopiques.

Pour subvenir aux besoins des instruments de mesure, en matière de géoréférencement dynamique, d'alimentation, de stockage et de contrôle, d'autres appareils sont aussi embarqués. Le système de positionnement mobile comprend un récepteur de Géolocalisation et Navigation par un Système de Satellites (GNSS) et une centrale inertielle. Un odomètre, mesurant la distance parcourue par le véhicule, peut être aussi associé à l'ensemble pour améliorer la précision lors des interruptions de réception d'un signal GNSS. Des disques durs et une batterie, quant à eux, assurent respectivement l'enregistrement des mesures et l'alimentation des appareils, alors que le contrôle du levé est effectué par le copilote grâce à un ordinateur portable depuis le véhicule.

Un élément optionnel améliorant le géoréférencement peut être additionné. Il s'agit de points de calage matérialisés au sol qui sont localisables sur les images prises lors du levé mobile. Ils peuvent être positionnés régulièrement ou ponctuellement dans les zones à faible réceptivité du signal GNSS.

■ **Information non structurée**

Comme pour le levé aérien et contrairement au levé topographique classique, le levé dynamique terrestre permet d'obtenir une information géographique non structurée. Le terrain est représenté par un environnement géoréférencé mais sans identification des objets géographiques qui le composent.

Quatre types de représentation existent : le nuage de points 3D, le catalogue d'images 2D, la vue immersive à 360° et le Modèle Numérique de Surface (MNS) texturé. Les deux premières sont obtenues directement des instruments de mesures et géoréférencés par le système de positionnement. Le nuage de points offre un environnement en 3D peu lisible, nécessitant donc un catalogue d'image 2D pour la visualisation. Les deux dernières représentations sont plus travaillées avec la création d'un

environnement réaliste et immersif. Popularisée par Google StreetView, la vue immersive à 360° contraint le déplacement de l'utilisateur à suivre l'axe de circulation mais reste peu gourmand en capacité d'affichage. À l'opposé, le MNS texturé ouvre les portes d'un environnement 3D libre avec cependant des besoins informatiques importants pour la visualisation.

■ **Offres du marché**

Plusieurs entreprises sont déjà présentes sur le marché et trois stratégies se dégagent. Certaines vendent le matériel, d'autres proposent des prestations d'acquisition et de restitution 3D et, pour finir, certaines louent l'accès à une donnée non structurée. Trois entreprises sont arbitrairement choisies ici pour illustrer les différentes offres du marché.

Connue pour ses appareils de topographie, la société Leica Geosystems vend sa solution d'acquisition lasergrammétrique. Une précision absolue de 2 cm sans point de calage est annoncée. Un système gardant la précision durant 10 s lors de perte du signal GNSS est de plus intégrée. Avec des images prises depuis 6 caméras et un nuage de points issu du scanner laser, le volume de données créé atteint 1 Go/km. La structuration de l'information se fait sur le nuage de points ou les images par seul pointage et avec une saisie guidée sur les arêtes d'objet. L'ensemble est vendu entre 350 et 400 k€. L'entreprise belge GeoAutomation propose des prestations d'acquisition et de restitution 3D au moyen de son système d'acquisition photogrammétrique. La précision absolue annoncée est de 2 cm avec des points de calage tous les 20 m. Dans son utilisation avec 8 caméras, le volume de données recueilli s'approche de 3 Go/km. La saisie est réalisée par pointage du même point sur au moins trois images ou sur une seule image moyennant une perte de précision. En partenariat, les sociétés Earthmine et Esri mettent en location un accès à la base de données non structurées générée par Earthmine. Une précision absolue est garantie inférieure à 1 m. L'ensemble des données non structurées est stockée sur des serveurs avec un volume d'environ 1 Go/km pour une

image tous les 5 à 10 m depuis 8 caméras. L'environnement de saisie est une vue immersive à 360° intégrée au logiciel ArcGIS. Le Système d'information géographique (SIG) déjà existant est visualisable dans la vue immersive et par simple pointage, un objet peut venir s'y ajouter. Le prix de cette solution clés en main atteint, à titre d'exemple : 18 500 €/an pour 219 km, 45 500 €/an pour 716 km ou 60 000 €/an pour 1 125 km. L'ajout de zones non couvertes par la base de données déjà présente sur les grandes villes de France coûte environ 150 €/km.

Expérimentations menées

■ **Échantillon de données**

Pour expérimenter ces technologies de levé dynamique terrestre, le Grand Lyon a fait appel à la société GeoAutomation. Quatre parcours dans le centre-ville de Lyon ont été levés avec différentes méthodes de rattachement (cf. Figure 2).

Le circuit orange n'a fait l'objet que d'un positionnement dynamique. Sur les 800 m parcourus, 600 souffrent d'une faible réception du signal GNSS due aux masques créés par les bâtiments.

Les circuits rouge et bleu sont géoréférencés par des points extraits de plans topographiques déjà existants et datant parfois de plusieurs années. Un point tous les 100 m pour le rouge et un tous les 50 m pour le bleu.

Le circuit vert profite d'un point de calage tous les 25 m. Ces derniers sont positionnés par des levés topographiques classiques réalisés par la société GeoAutomation.

Au niveau des circuits bleu et vert, quelques parties levées n'ont pas eu les mêmes conditions de levé que celles prévues et n'ont donc pas été utilisées pour le contrôle. Une structuration des objets géographiques a été saisie semi-automatiquement avec l'extension de GeoAutomation pour le logiciel AutoCAD d'Autodesk en interne au Grand Lyon.

■ **Levé de contrôle**

Pour s'assurer de la précision du levé de GeoAutomation, un contrôle selon l'arrêté du 16 septembre 2003 est réalisé. Un levé topographique classique est effectué



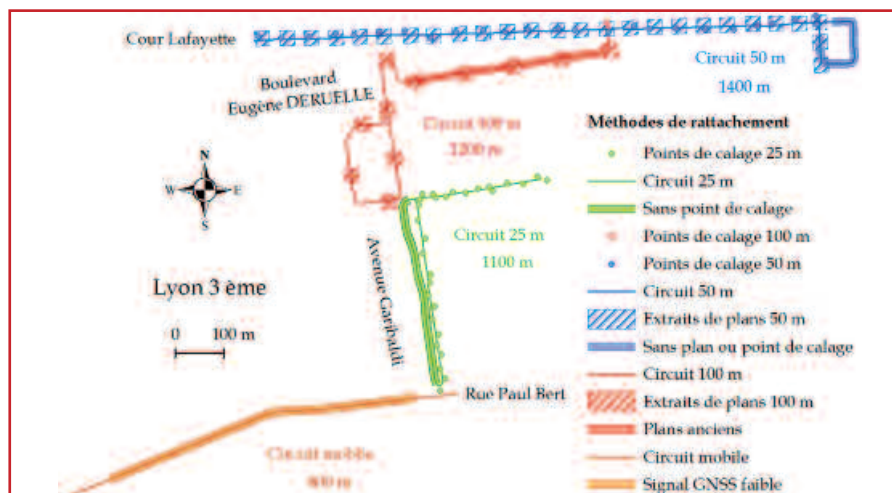


Figure 2. Quatre parcours géoréférencés par différentes méthodes

avec soin pour atteindre des précisions de 2 cm en planimétrie et de 1 cm en altimétrie. Un ensemble de points homogènes et représentatifs d'un plan de corps de rue est levé (CAYOT B., 2007 - [5]) : 245 pts pour le circuit rouge, 193 pts pour le bleu et 253 pts pour le vert. Les classes de précisions totales planimétriques, altimétriques et tridimensionnelles sont ensuite calculées et présentées sous la forme 2D – 1D – 3D cm.

Résultats obtenus

Le premier résultat est la comparaison des classes de précisions entre les circuits rouge, bleu et vert (cf. Figure 3). Le circuit vert dont l'intervalle est le plus court obtient, comme attendu, le meilleur résultat. Cependant, les circuits rouge et bleu sont proches avec seulement 1,2 cm de plus en planimétrie et de surcroît leur altimétrie est meilleure. L'explication vient du levé topographique classique de GeoAutomation pour les points de calage du circuit vert. Il est en effet moins précis que celui des cabinets de Géomètres-Experts réalisé pour les plans topographiques dont sont extraits les points de calage des autres circuits. Avec des classes de précision planimétrique de 5 cm et altimétrique de 2 cm attendues, ces trois circuits obtiennent des résultats satisfaisants. En effet, ils mon-

trouvent que des levés de précision topographique peuvent être réalisés. Les contraintes de levé GNSS en milieu urbain dense sont compensées par l'utilisation accrue de points de calage. De plus, ces derniers peuvent être issus de plans topographiques anciens où seule une infime partie de points correspondent encore avec la situation actuelle. Le deuxième résultat porte sur la comparaison des deux méthodes de saisies proposées par la société GeoAutomation. Une, nécessite un pointage sur trois images et l'autre, profite d'une saisie semi-automatique avec un seul pointage. Sur 168 pts levés, elles obtiennent en précision 4,0 – 2,2 – 5,0 cm pour la première et 4,4 – 2,6 – 5,7 cm pour la seconde. Quelques millimètres de précision peuvent donc être gagnés mais la rapidité de la saisie semi-automatique peut être aussi conservée. Le troisième et dernier résultat présenté concerne la portée des mesures stéréoscopiques réalisées par la société GeoAutomation (cf. Figure 4). La classe de précision est nettement détériorée lorsque la distance au véhicule est entre 10 et 15 m. Une amélioration peut être portée sur ce point en plaçant si possible les points de calage dans cette zone. Résultat remarquable, la précision est souvent meilleure de 5 à 10 m que dans les 5 m. L'explication provient ici de l'angle de saisie favorisé sur cette zone par

rapport à celle dans les 5 m. En effet, les points trop proches du véhicule, dont les instruments de mesure sont sur le toit, sont saisis avec moins d'images que ceux plus éloignés du véhicule. Pour comparaison, le contrôle de la classe de précision du plan topographique réalisé par des cabinets de Géomètres-Experts sur la zone du circuit vert donne le résultat suivant : 4,5 – 1,8 – 5,1 cm. Un résultat qui est équivalent à celui du circuit vert et proche des circuits rouge et bleu.

Contraintes d'exploitation

Avec une vitesse de circulation allant de 30 à 40 km/h pour des levés de précision, de grandes surfaces peuvent être couvertes rapidement. Cependant, de par l'encombrement de la voiture utilisée, seules les voies carrossables sont accessibles. Là où un levé topographique classique de corps de rue met plusieurs heures de terrain, l'acquisition par levé dynamique ne nécessite que quelques minutes.

Comme indiqué précédemment, le levé dynamique terrestre crée de l'information géographique non structurée qui possède plusieurs particularités dont il est nécessaire de tenir compte.

Bien que rapide lors de la phase d'acquisition par les systèmes mobiles de cartographie, la donnée non structurée nécessite une saisie chronophage. Ces travaux peuvent être cependant répartis entre plusieurs opérateurs et/ou reportés suivant les besoins prioritaires. Il est même possible de les externaliser dans d'autres structures.

Exhaustive de par son contenu, la donnée non structurée présente néanmoins souvent des masques du champ de vision. En effet, principalement les voitures garées, cachent potentiellement des objets géographiques situés juste derrière ou sous elles. Cette contrainte est aussi présente pour les levés topographiques classiques mais dans une moindre mesure.

Du point de vue juridique, les images prises par levé dynamique terrestre peuvent être des données nominatives indirectes. C'est le cas lorsqu'une plaque d'immatriculation ou le visage d'une personne se trouve sur le cliché. Des précautions sont donc nécessaires. Une déclaration auprès de la Commis-

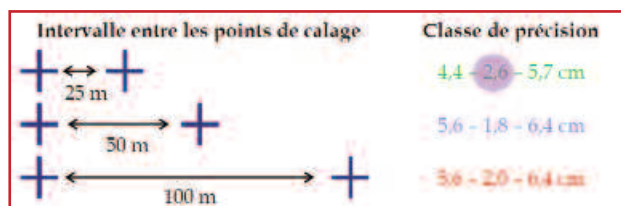


Figure 3. Influence de la largeur de l'intervalle entre les points de calage



Distance	Circuit 25 m	Circuit 50 m	Circuit 100 m
10 à 15 m	6,7 - 2,8 - 7,5 cm	5,9 - 2,0 - 6,5 cm	8,4 - 2,7 - 9,4 cm
5 à 10 m	3,8 - 2,6 - 5,0 cm	5,4 - 1,7 - 5,8 cm	6,3 - 2,0 - 8,4 cm
0 à 5 m	4,2 - 2,2 - 4,9 cm	5,8 - 1,2 - 6,4 cm	3,6 - 1,9 - 6,4 cm

Trajet du véhicule

Figure 4.
Impact de la distance au trajet du véhicule

sion Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL) doit être réalisée pour la détention de ces données. Des procédures juridiques supplémentaires sont à mettre en place si ces données sont diffusées, notamment sur internet dans le cadre de l'open data.

Enfin, l'information géographique non structurée issue des levés dynamiques terrestres représente des volumes de données importants pouvant aller de 1 à 3 Go/km. Ils nécessitent donc des capacités de stockage bien supérieures aux quelques mégaoctets des plans topographiques dessinés.

Proposition d'exploitation

■ Grands axes d'application

L'information géographique non structurée permet tout d'abord de mesurer l'environnement visible en saisissant par exemple la hauteur d'un arbre ou les coordonnées d'un panneau de signalisation. Il est aussi possible de renseigner la nature du panneau de signalisation et d'ensuite visualiser l'information déjà structurée pour la corriger si nécessaire. Enfin, elle peut assurer la projection des futurs aménagements pour visualiser leur intégration et présenter ces projets dans des environnements en 3D réalistes et attractifs.

Dans une utilisation structurée, les deux grandes applications possibles sont le plan de corps de rue et la maquette virtuelle. Du fait des contraintes liées aux masques du champ de vision et à la saisie, les systèmes mobiles de cartographie correspondent mieux à la réalisation de versions non exhaustives. La production d'un plan de corps de rue simplifié convient donc davantage tout en gardant un grand intérêt (BENOIST B., 2005 – [2]). De la même manière pour une maquette virtuelle, il n'est pas pertinent de vouloir texturer le sol qui présente la plus grosse quantité de masques. La texturation des façades est l'application principale.

De ces deux grandes applications en

découlent bien d'autres. Les bases de données des SIG peuvent par exemple être mises à jour et complétées. Il est aussi possible de positionner les réseaux enterrés comme prévu par la loi.

■ Mise en œuvre

La longueur de voirie carrossable gérée par la Communauté Urbaine de Lyon est d'environ 2 650 km. Avec une vitesse d'acquisition de 30 à 40 km/h, il est possible de faire entre 120 à 150 km/j d'acquisition. Il faut alors environ 1 mois de levé pour les couvrir, sans compter le temps de calcul. Pour les levés photogrammétriques, une journée de levé implique généralement une journée de calcul.

La quantité d'octets a été évaluée ici à 2,9 Go/km pour un cliché tous les mètres depuis huit caméras. Cela représenterait donc un total de 7,5 To d'images numériques pour une couverture globale à minima. Les mises à jour suppriment et remplacent les anciennes données. À l'heure actuelle, la vue immersive à 360° est la plus ergonomique et opérationnelle des représentations. Le MNS texturé peut être réservé aux projections et présentations des aménagements futurs.

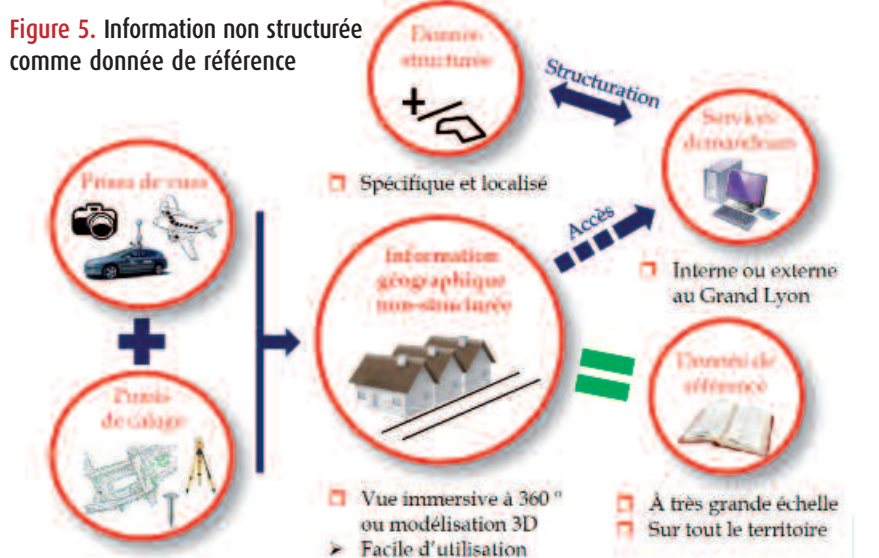
L'expérimentation de la technologie de

GeoAutomation a mis en relief une optimisation de la classe de précision totale des points saisis en milieu urbain à une distance de 5 à 10 m et des résultats satisfaisants dans les 5 m. Au Grand Lyon, les voies communautaires inférieures à ces demi-largeurs représentent respectivement 42 % et 49 % des 2 650 km de voies. Solution à utiliser pour le rattachement si les autres ne sont pas disponibles, un levé de rattachement pour la cartographie mobile coûte entre 100 et 150 €/km. Cependant, 6 756 pts de canevas sont déjà exploitables sur le territoire du Grand Lyon. Plus importante source encore de points de calage, les plans topographiques couvrent 58 % des voies carrossables communautaires. De plus, les nouveaux plans réalisés viennent généralement augmenter ce pourcentage.

■ Organisation générale

Le rôle du service de l'Information Géographique au Grand Lyon est de mettre à disposition des données géographiques de référence. L'information géographique non structurée peut à terme parfaitement s'intégrer dans ce rôle en devenant une source de données géographiques à très grande échelle sur tout le territoire.

Deux éléments constituant l'acquisition sont nécessaires. D'une part, des campagnes de prises de vues qui sont réalisées avec des mesures lasergrammétriques ou photogrammétriques terrestres ou aériennes. Elles peuvent être également globales ou localisées et





de précisions différentes. L'important est d'obtenir des images générant de l'information géographique. D'autre part, des points de rattachement sont nécessaires pour le géoréférencement de la plupart des levés. Trois origines sont possibles, les points de canevas et les plans topographiques gérés par l'unité Topographie du Grand Lyon ainsi que les levés spécifiques pour combler les manques. Une information géographique non structurée est ainsi obtenue en regroupant plusieurs sources de données. Quatre représentations sont possibles. Les deux premières : le nuage de points 3D et le catalogue d'images 2D découlent quasiment directement de l'acquisition. Les deux autres : la vue immersive à 360° et le MNS texturé nécessitent des traitements plus importants mais proposent des environnements plus aboutis. L'ergonomie et les possibilités de l'environnement de saisie doivent permettre de mesurer, renseigner, vérifier, visualiser, projeter et présenter de l'information géographique sans difficulté.

L'intérêt est de faire de l'information géographique non structurée une donnée de référence à très grande échelle et sur tout le territoire. Ainsi les services demandeurs y auraient accès pour la structurer, de façon spécifique et localisée, les données géographiques dont ils ont besoin. Qu'ils y aient accès en interne à la communauté urbaine ou en externe par l'intermédiaire de conventions d'échange, les services demandeurs posséderont une donnée géographique de référence à applications multiples.

Conclusion

Pour conclure, cette étude montre la faisabilité de l'utilisation de systèmes mobiles de cartographies pour la création d'un référentiel de voirie 3D à très grandes échelles.

D'une part, quelques contraintes principales sont à prendre en compte. Il y a tout d'abord, les points de calage nécessaires pour garantir une précision absolue centimétrique. Ils réduisent ici le caractère dynamique du levé.

Il faut avoir ensuite connaissance des pertes d'informations dues aux masques du champ de vision et aux longueurs du processus de restitution. La dernière et la

plus importante des contraintes est le volume des données recueillies. Il peut aller de 1 à 3 Go/km pour le nuage de points et/ou les images créées. Une faible quantité d'octets est à ajouter pour les données de la restitution. D'autre part, plusieurs avantages principaux sont à retenir. Tout d'abord, la vitesse d'acquisition qui atteint 30 à 40 km/h. De plus, se déroulant entièrement depuis un véhicule, la sécurité des opérateurs est optimale, réduisant ainsi les pertes matérielles et surtout humaines.

Ensuite, les contrôles selon l'arrêté de 2003 réalisés ici prouvent que des classes de précision totales planimétrique de 5 cm et altimétrique de 2 cm attendues peuvent être atteintes. Il est pour cela nécessaire d'utiliser, avec la technologie de GeoAutomation, des points de calage placés au moins tous les 25 m en milieu urbain dense.

Par ailleurs, les images recueillies forment une information géographique non structurée. Elle offre une exhaustivité de l'information dans tout le champ de vision du véhicule. Une structuration est à ajouter si nécessaire.

Enfin, il est possible de créer des environnements virtuels de saisie réalistes et pratiques d'utilisation comme la vue immersive à 360°. Il s'agit aujourd'hui de l'environnement fonctionnant le mieux. Un MNS texturé est aussi modélisable. Il est cependant à réserver pour la projection et la présentation d'aménagements futurs. En effet, ces besoins en capacité informatique le rendent aujourd'hui inapproprié à la saisie.

Un réel intérêt est porté par les communautés urbaines sur les systèmes mobiles de cartographie. La Communauté Urbaine de Bordeaux (CUB) a récemment expérimenté avec la société Siradel ce procédé d'acquisition à des fins de maquettes virtuelles.

Les perspectives d'évolution sont nombreuses. Pour commencer, la précision du géoréférencement dynamique, principalement dans les zones masquées, est à améliorer pour réduire le nombre de points de calage utilisés. Les capacités de stockage sont à augmenter pour faciliter l'utilisation de ces données. La puissance des ordinateurs en matière d'affichage permettrait aussi une utilisation plus aisée des modélisations 3D.

Enfin, si l'information non structurée

peut être exploitée en tant que telle, sa structuration est souvent nécessaire. La création de logiciel de reconnaissance d'objets assurerait une automatisation de la saisie pour plus de rapidité. ●

Contact

Marc DESPRES

Ingénieur Topographe 3D
marc.despres@gmail.com

Références

- [1] DESPRES M., *Étude sur la modélisation 3D de l'espace public de voirie du Grand Lyon à l'aide des technologies laser ou image*, 50 pages, Travail de fin d'étude, ESGT, France, 2012
 - [2] MAURY C., *Étude sur l'élaboration d'un plan de voirie grande échelle sur le territoire du Grand Lyon*, 63 pages, Travail de fin d'étude, ESGT, France, 2006
 - [3] BENOIST B., *Le référentiel topographique régulier simplifié au 1/200 : étude de faisabilité*, 63 pages, Travail de fin d'étude, ESGT, France, 2005
 - [4] GOULETTE F., *Relevés laser urbains par Systèmes Mobiles de Cartographie*, 5 pages, revue XYZ n°119, 2009
 - [5] CAYOT B., *L'arrêté du 16 septembre 2003 sur les classes de précision : contrainte nouvelle ou opportunité du passage au contrôle du résultat ?*, 82 pages, Travail de fin d'étude, ESGT, France, 2007
- Site Internet GeoAutomation
www.geoautomation.be

ABSTRACT

The very large-scale highway referential is a long-standing need still present for urban communities. This study [1] shows, realised at the Grand Lyon, that mobile mapping has the capacity to meet this need by generating an unstructured master data.

Two essential criteria are met. On the one hand, the acquisition speed is increased to nearly 40 km/h. On the other hand, the accuracy is checked. It has to achieve a planimetric absolute accuracy classes of 5 cm and an altimetric absolute accuracy class of 2 cm.

Meeting the needs of 3D modeling, mobile mapping nevertheless suffers from an excessive amount of data and a lack of fluidity in the current 3D environments. Thanks to computing advances, urban planning will directly result from the virtual model.