

La cartographie mobile et le géoréférencement précis de réseaux souterrains

■ Garance WELLER - Quentin DARTAILH

Depuis une quinzaine d'années, les systèmes de cartographie mobile terrestre se développent, offrant des moyens de collecte d'information géolocalisée à grande échelle et de haute précision. Aujourd'hui de nombreuses solutions existent, la plupart intégrant différents capteurs ou solutions considérés comme complémentaires : lidar et caméras optiques, systèmes de positionnement globaux par satellite, multi-constellations, et stations de base terrestres mobiles ou fixes de forte densité, etc. Les données sont traitées et exploitées au travers de logiciels tiers dédiés, soit directement par l'utilisateur final, soit via des prestations de service. Nous présentons ici et évaluons l'utilisation d'une solution intégrée de cartographie mobile basée sur de l'imagerie optique seule pour les relevés terrain et d'un système d'information géographique associé pour le repérage et la cartographie en 3D des réseaux linéaires enterrés dans le cadre de la réforme anti-endommagement des réseaux sensibles.

Description du système de cartographie mobile

Imaging, société française basée à Toulouse, conçoit et développe un système complet et intégré de cartographie mobile terrestre depuis les premières années de mise sur le marché de ces solutions (2008). L'idée de départ, fil conducteur encore aujourd'hui, étant la simplicité de mise en œuvre et d'utilisation pour répondre à des besoins clients et utilisateurs non experts en solutions techniques de géomesures ou en logiciels de traitement de données ou bien encore en systèmes d'information géographique. Cette solution intégrée a dès le départ été constituée de trois parties intrinsèquement liées, le matériel, le logiciel de production et les services en ligne offrant une solution complète de bout en bout.

Le matériel, outil de terrain d'acquisition des données géoréférencées, se compose d'une caméra avec capteur CCD de 5 mégapixels et d'une optique

grand angle de 5 mm, d'un récepteur GNSS, d'une centrale inertielle, d'un baromètre, d'une batterie et d'une antenne GNSS se fixant sur le boîtier. L'ensemble étant très compact, d'un poids total n'excédant pas 2 kg. Cette caméra se monte à l'aide de pieds articulés équipés de ventouses sur le toit de tout type de véhicule routier, ou derrière le pare-brise pour les applications ferroviaires. Les relevés peuvent se faire à vitesse normale autorisée jusqu'à 130 km/h sans aucune incidence sur la qualité des relevés. La facilité de mise en œuvre, l'autonomie et la capacité de stockage en font un outil permettant de capturer de l'information de terrain sur plusieurs centaines de kilomètres par jour. Les données étant enregistrées sur une clé USB de 64 Go pour un volume moyen de 250 Mo/km.

Le calcul de la position et de l'orientation de chaque image capturée se fait à partir des données brutes enregistrées par l'ensemble des capteurs embarqués. La solution finale de

MOTS-CLÉS

Cartographie mobile, 3D, réseaux linéaires, solution intégrée, SIG

positionnement et d'orientation des images est le résultat de l'hybridation de toutes ces mesures. Un algorithme propriétaire breveté permet de prendre en compte le flux optique comme source supplémentaire d'information sur le déplacement de la caméra entre chaque image et ainsi d'améliorer davantage la solution de navigation finale, en particulier en environnement GNSS difficile.

L'étape ci-dessus se fait en post-traitement et permet de faire des mesures dans les images ou positionner des objets en 3D grâce à des outils photogrammétriques disponibles dans le logiciel développé en parallèle imajview®. Ce logiciel a été conçu comme un véritable système d'information géographique permettant de construire un projet dans sa globalité, de créer des couches de géoinformations décrites grâce à des modèles de données configurables, exportables dans des formats standards.

Des développements plus récents (2017) permettent de générer de l'information de profondeur, habituellement fournie par la technologie lidar, grâce à la combinaison de différentes approches algorithmiques et l'expertise multiple des ingénieurs en recherche et développement d'imaging : traitement d'image, navigation et positionnement et optimisation de code. Cette information de profondeur est restituée par une carte de profondeur derrière l'image, permettant de calculer immédiatement les coordonnées en 3D de l'élément pointé dans l'image, tout comme cela se fait dans un relevé mixte imagerie et lidar, mais avec cependant un volume de données à manipuler et à stocker de 4 à 10 fois



Figure 1. Nuages de points générés à partir des images d'un seul passage



inférieur. Des fonctionnalités spécifiques à la manipulation de ces cartes de profondeur sont intégrées dans le logiciel SIG, aux côtés des outils photogrammétriques, pour laisser libre choix à l'utilisateur.

L'information de profondeur permet également de produire des nuages de points géoréférencés, pouvant être utilisés dans les logiciels dédiés pour faire des mesures, de la digitalisation, de la modélisation 3D ou les intégrer dans un modèle numérique de terrain (figure 1). Ils seront exploitables dans le logiciel SIG pour lesquels des fonctionnalités spécifiques sont en cours de développement.

En termes de précision des mesures faites dans les images, les résultats sont identiques, que ce soit en utilisant des outils photogrammétriques ou des outils de mesure en 3D. Les écarts observables ne seront dus qu'à une réduction des erreurs de saisie de l'utilisateur en mode 3D. La technologie et les spécifications techniques de la solution imaging permettent d'annoncer des précisions de mesures (précision relative) de 3 % pour des objets jusqu'à 20 m de la caméra.

La précision absolue de référencement est fortement liée à la solution de positionnement utilisée. La précision augmente sensiblement en utilisant en complément un récepteur RTK appliquant les corrections D-RTK. Bien qu'annoncée comme décimétrique, l'expérimentation terrain a démontré une précision absolue comprise entre 5 et 10 cm dans de bonnes conditions.



Figure 2. Configuration du montage spécifique de l'imajbox®

Le géoréférencement de réseaux enterrés

C'est dans ce cas de figure que nous présentons ici plus en détails l'utilisation de la solution imaging pour le référencement des réseaux souterrains, dans le cadre de la mise en application de la loi anti-endommagement des réseaux sensibles par le décret DT-DICT. La solution de cartographie mobile est utilisée à la



Figures 3 et 4. Visualisation sur les images des marquages au sol

suite de la détection sur le terrain par méthodes traditionnelles (détecteurs de boucles magnétiques, détecteurs de réseaux), et repérages visuels.

Le besoin exprimé étant de pouvoir visualiser et digitaliser, avec une précision élevée, les éléments affleurants et visibles des réseaux enterrés sur des images géoréférencées prises par la caméra : bouches à clé, plaques et marquages au sol.

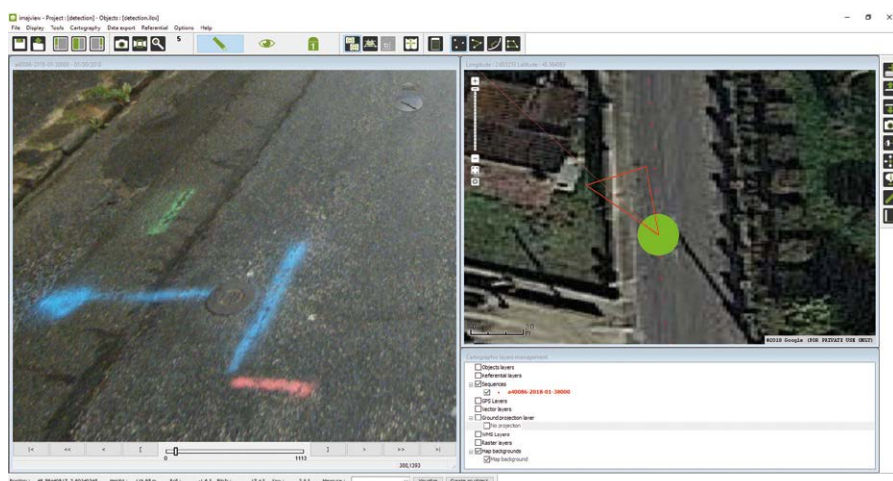


Figure 5. Saisie d'un point sur une première image

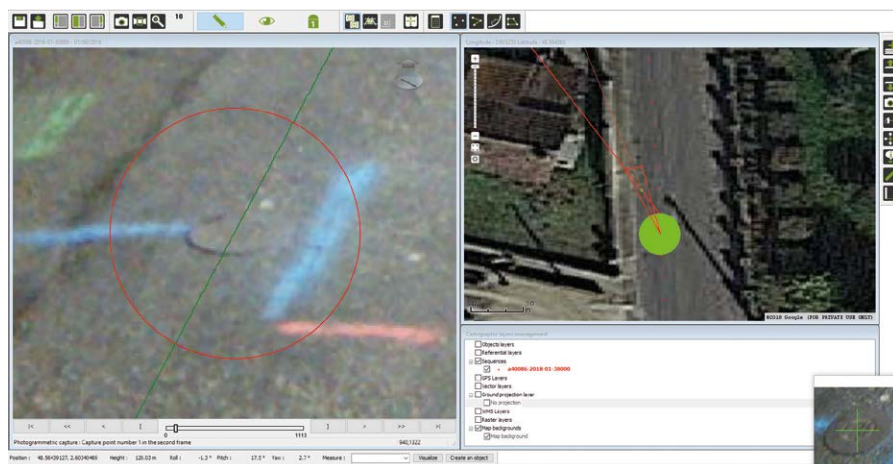


Figure 6. Saisie du même point sur l'image précédente, qui doit se trouver sur la ligne indicatrice

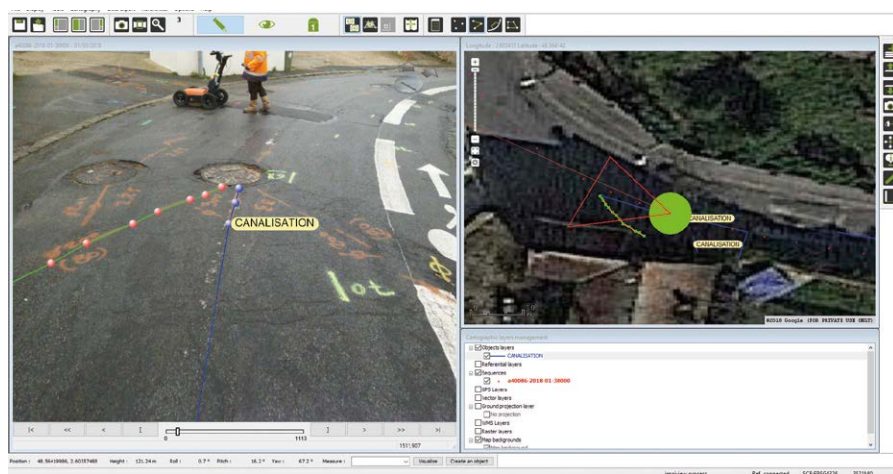


Figure 7. Digitalisation des canalisations et étiquetage

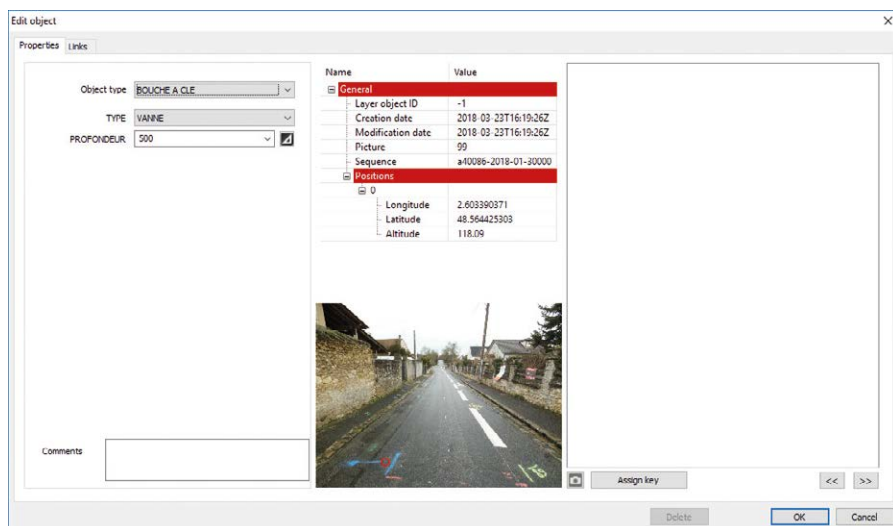


Figure 8. Création de l'objet "Bouche à clé" et ses attributs

Afin d'obtenir la meilleure précision possible, un récepteur externe RTK, dans ce cas précis le modèle AsteRx-U de Septentrio, est utilisé pour les relevés images. La caméra est installée sur le toit d'un véhicule professionnel, inclinée vers le sol à 30° environ

(figure 2), le récepteur externe étant à l'intérieur. Les rues sont parcourues à vitesse constante de 50 km/h, dans un sens puis dans l'autre. Les images géoréférencées prises par la caméra permettent d'identifier clairement les marquages au sol faits lors

des relevés terrain et par conséquent les objets et zones à digitaliser (figures 3 et 4).

La saisie des bouches à clé, des plaques et des marquages au sol matérialisant les canalisations se fait en mode photogramétrique pour une meilleure précision de positionnement et de mesure. Pour ce faire, il faut saisir une première fois le point ou la ligne sur une image dans laquelle ils sont bien apparents, puis refaire exactement la même saisie dans l'image précédente enregistrée par la caméra lors du relevé (figures 5 et 6). Le logiciel SIG proposant automatiquement cette image à l'opérateur.

Les objets d'intérêt et leurs attributs, type, sous type et profondeur dans l'exemple ci-dessous, sont enregistrés en base de données dans des couches géographiques (figures 7 et 8). Le modèle de données est entièrement configurable en fonction de la nature du projet.

Les couches géographiques créées sont exportables dans différents formats standard (shapefile, CSV, kml) ainsi que les traces GPS et les images au format JPEG.

Cette approche nouvelle dans le domaine, à la demande de bureaux d'études, présente des avantages certains en termes de gain de temps et de mise en œuvre par rapport à l'approche traditionnelle. Les relevés images étant extrêmement rapides, et se faisant dans le trafic normal routier, sans besoin de l'interrompre. Les précisions centimétriques des relevés topographiques ne seront jamais atteintes, mais nous avons constaté que 5 à 10 cm de précision absolue sont réalistes en utilisant un récepteur externe RTK. Le modèle haut de gamme de la prochaine version de l'ImaBox® intégrera directement cette technologie dans la solution de positionnement.

Nous avons constaté également que l'utilisation de technologie de cartographie mobile requiert un temps de prise en main et d'intégration dans des outils ou dans des méthodes de travail déjà en place qui ne doit pas être négligé.



Plus généralement

Depuis le lancement de la commercialisation de la première solution en 2010, la technologie est utilisée pour des usages de plus en plus nombreux et variés à travers le monde. Sa simplicité de mise en œuvre, les faibles volumes de données par km et la rapidité de traitement en font une solution de cartographie mobile abordable.

Les contraintes réglementaires et financières des gestionnaires d'infrastructures les amènent à utiliser des technologies performantes afin d'optimiser les opérations, de réduire les coûts et d'accroître la récurrence des contrôles. La digitalisation permet par ailleurs plus d'interopérabilité entre les parties prenantes, améliore la fiabilité et la sécurité des données.

L'inventaire des actifs et du mobilier urbain est bien sûr une des applications importantes : candélabres, panneaux de signalisation, places de parkings, panneaux publicitaires, panneaux d'adressage, poteaux électriques, arbres, etc. Tous ces objets sont positionnables et mesurables dans les images pour être répertoriés et décrits précisément dans des couches géographiques, permettant de créer, compléter ou modifier des états des lieux.

De ces inventaires découlent naturellement les projets de gestion, de maintenance, de planification des opérations : réfection des marquages au sol, entretien de la chaussée, réparation de glissières de sécurité, élagage des arbres, entretien de pistes cyclables, et bien d'autres.

Conclusions

Les mises en œuvre de réglementations sont souvent des leviers pour le développement de l'usage de nouvelles technologies. ETCS dans le domaine ferroviaire en Europe, loi MAPAM, loi NOTRe, réforme anti-endommagement des réseaux sensibles en France et de nombreuses autres en Europe et dans le monde. De plus, la digitalisation des métiers de la construction et de la maintenance d'infrastructures est en route et ne

fait que commencer. S'équiper d'un système de cartographie mobile est un investissement financier direct, mais également indirect en temps de formation et d'intégration dans des méthodes de travail existantes, parfois très éloignées des fonctionnements des systèmes d'information géographique. Cependant le virage DAO vers les SIG est amorcé. Il peut et va permettre la diversification des activités de service et une approche plus globale de la gestion des infrastructures. ●

Contacts

Garance WELLER

Directeur des ventes
gweller@imaging.org

Quentin DARTAILH

Ingénieur d'application terrain
Responsable support et formation
qdartailh@imaging.eu

ABSTRACT

For fifteen years, terrestrial mobile mapping systems have been developing and improving, offering great means for massive and precise georeferenced data collection. Today there are many solutions available on the market. Most of them integrate different sensors or technical solutions, considered as complementary: lidar and optical cameras, global satellite positioning systems, multi constellations, and high density total positioning stations, fixed or mobile, etc. The data is processed and used through dedicated third parties software, either directly by the end users or with a service provider company. We are presenting and evaluating here the usage of an integrated solution of mobile mapping based on a single optical camera for field data acquisition and its associated geographic information system for detection and 3D models of linear underground networks in the framework of the French reform relative to anti damage of sensitive networks.

COMITÉ DE LECTURE D'XYZ

BAILLY André,
ingénieur, Paris

BOTTON Serge,
ingénieur, ENSG Marne-la-Vallée

CHRISMAN Nicholas,
rédacteur, sciences géographiques
(États-Unis)

CLÉDAT Emmanuel,
doctorant, EPFL (Suisse)

DUQUENNE Françoise,
ingénieur général des ponts, des eaux
et forêts honoraire, Saint-Contest

DURAND Stéphane,
maître de conférences, ESGT Le Mans

GRUSSENMEYER Pierre,
professeur des universités,
INSA Strasbourg

HULLO Jean-François,
Dr.-Ing., ingénieur de recherche,
EDF R&D, Clamart

KASSER Michel,
professeur des universités,
HEIG-VD (Suisse)

KOEHL Mathieu,
maître de conférences, INSA Strasbourg

LANDES Tania,
maître de conférences, INSA Strasbourg

MAILLARD Jean-Pierre,
géomètre-expert foncier,
Marne-la-Vallée

MAINAUD DURAND Hélène,
ingénieur topographe, CERN Genève

MISSIAEN Dominique,
ingénieur topographe, CERN Genève

MOREL Laurent,
maître de conférences, ESGT Le Mans

NATCHITZ Emmanuel,
ingénieur, EIVP Paris

PANTAZIS N. Dimos,
professeur, TEI Athènes

POLIDORI Laurent,
directeur du CESBIO, Toulouse

REIS Olivier, ingénieur,
traducteur Sarreguemines

ROCHE Stéphane,
professeur, Université Laval (Québec)

TROUILLET Michel,
ingénieur topographe, Lyon

VIGUIER Flavien,
ingénieur topographe, ALTAMETRIS, Paris