Zeitschrift: Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement = Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire = Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio

Herausgeber: geosuisse : Schweizerischer Verband für Geomatik und Landmanagement

Band: 109 (2011)

Heft: 5

Artikel: Cadastration d'ouvrage d'art en 3D (ponts, passerelles) en complément à la cadastration 2D traditionnelle

Autor: Couderq, N. / Bizouard, G. / Niggeler, L.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-236786

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Cadastration d'ouvrage d'art en 3D (ponts, passerelles) en complément à la cadastration 2D traditionnelle

Pour la République et canton de Genève, le saut technologique que représente l'apport de la 3D en matière d'information du territoire permet de bénéficier d'un formidable outil, incroyablement précis et fiable. Il ouvre quantité de perspectives, en matière de projection à la fois dans le temps et dans l'espace, de manière facilement compréhensible pour l'œil humain. Le canton de Genève dispose d'un «socle 3D» – base d'une nouvelle vision – qui intègre la représentation de plus de 72 000 bâtiments et les principaux aménagements routiers lourds du territoire. Le service de la mensuration officielle s'engage maintenant dans la saisie des ouvrages d'art en 3D et fait appel aux bureaux de géomètres qui répondent à ce nouvel enjeu en développant de nouvelles méthodes d'acquisition et de modélisation; c'est le cas des ouvrages d'art de la nouvelle ligne de tram Cornavin-Meyrin-CERN relevés par la société MBC ingéo.

Der Technologiesprung zum dreidimensionalen geografischen Informationssystem bietet dem Kanton Genf den Vorteil eines genauen und zuverlässigen Werkzeugs. Er eröffnet unzählige Möglichkeiten in Bezug auf die zeitliche und die räumliche Projektion in einer für das menschliche Auge leicht verständlichen Art. Der Kanton Genf verfügt über einen «3D-Sockel», der mehr als 72 000 Gebäude und die hauptsächlichsten grossen Strassenverkehrsanlagen des Kantonsgebietes umfasst. Das Vermessungsamt ist zurzeit an der 3D-Erfassung der Kunstbauten und beauftragt damit die Geometerbüros, die dieser neuen Herausforderung mit der Entwicklung neuer Aufnahme- und Modellierungsmethoden begegnen; dies ist auch der Fall für die Kunstbauten der neuen Tramlinie Cornavin-Meyrin-CERN durch die Firma MBC ingéo.

Il salto tecnologico verso i sistemi d'informazione geografici 3D offre al canton Ginevra il vantaggio di disporre di uno strumento preciso e affidabile. In aggiunta, apre innumerevoli possibilità, affinché la proiezione temporale e spaziale sia percepita in un modo facilmente comprensibile dall'occhio umano. Il canton Ginevra dispone di uno banca dati 3D che racchiude oltre 72 000 edifici e i principali dispositivi stradali del territorio cantonale. L'ufficio del catasto si sta al momento occupando del rilevamento 3D degli edifici artistici e ha invitato gli uffici dei geometri ad aiutarlo ad affrontare questa nuova sfida, sviluppando nuovi metodi di ripresa e modellizzazione. La ditta MBC ingéo si occupa degli edifici artistici della nuova linea del tram Cornavin-Meyrin-CERN.

N. Couderq, G. Bizouard, L. Niggeler

Madame Michèle Künzler, conseillère d'Etat chargée du département de l'intérieur et de la mobilité, a présenté en mai 2010 «Genève en 3D», le cadastre en trois dimensions du canton de Genève. Accessible sur internet par le système d'information du territoire genevois (www.sitg.ch), le cadastre en trois dimensions «GEO 3D» constitue pour les collectivités publiques un formidable moyen technique d'analyse, de compréhension et de communication. Cela facilite la compréhension des projets en vue d'un meilleur niveau de concertation avec la population et les élus, notamment afin d'éviter les recours. Cela permet aussi d'améliorer la prise de décisions dans les différents projets d'aménagement en cours, dans le domaine des grands projets, tels que le développement du réseau de trams – notamment la ligne Cornavin-Meyrin-CERN (TCMC) –, le futur CEVA ou encore le développement du quartier Praille-Acacias-Vernets.

En mettant en place le cadastre tridimensionnel de son territoire, le canton de Genève fait figure de pionnier au niveau suisse, voire même européen. Cette importante innovation repose sur un «socle de données 3D» dont l'exactitude des mensurations est avérée et dont l'Etat de Genève se porte garant, à l'instar des données 2D de la mensuration officielle.

Après avoir modélisé l'ensemble des bâtiments – quelques 72 000 unités – le socle 3D doit être enrichi des ouvrages d'art tels que les ponts, tunnels, passerelles. Pas moins de 350 ouvrages d'art ponctuent le territoire cantonal et les travaux de développement des infrastructures de mobilité ajoutent régulièrement de nouvelles constructions. Le service de la mensuration officielle, responsable de ce socle 3D, a prévu de faire saisir l'ensemble de ces ouvrages sur une période de 4 ans et pour les nouveaux ouvrages de les faire modéliser directement en 3D lors de la cadastration «traditionnelle 2D», obligatoire selon la législation en matière de MO.

La suite de cet article vous permet de découvrir comment la société MBC ingéo SA a répondu à cette opération de cadastration tridimensionnelle des ouvrages liés à une nouvelle infrastructure de tramways: ses spécificités, ses exigences, ses contraintes et ses résultats seront détaillés au travers du processus menant du relevé terrain à la livraison des données 3D.

Ouvrages d'art du TCMC

La société MBC ingéo SA est en charge de la réalisation de l'ensemble des prestations géométriques (des études jusqu'à la réalisation) pour la construction du tronçon Avanchets-Meyrin Cité du TCMC. Ce tronçon comporte 3350 mètres de doubles voies, soit 13 400 mètres de rails posés et représente 40% de la totalité du projet TCMC (fig. 1).

Il est sans aucun doute le plus complexe des trois tronçons du TCMC du fait du

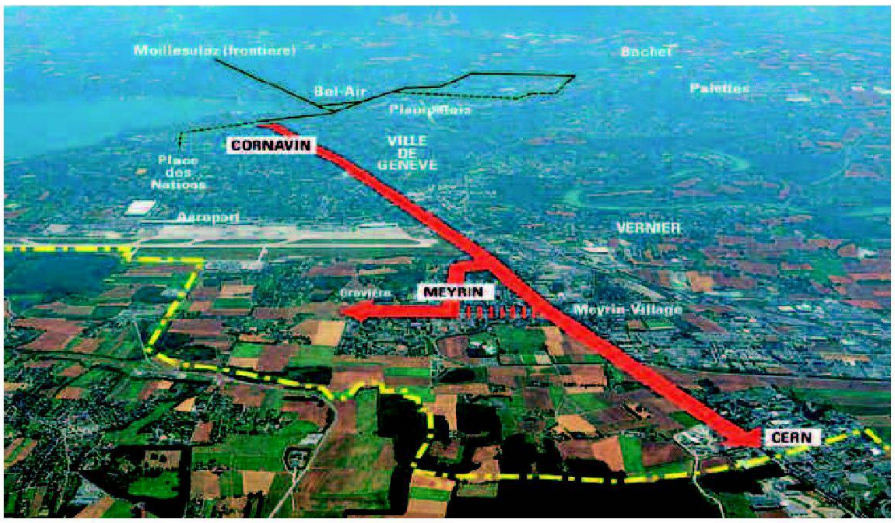

Fig. 1: Tracé du TCMC, Etat de Genève.

nombre d'ouvrages d'art qu'il a fallu adapter, démonter ou construire. Cette portion du tracé comporte en effet plusieurs points névralgiques: le franchissement de l'autoroute, un cheminement perpendiculaire à la piste d'atterrissage de l'Aéroport International de Genève et un axe de circulation très fréquenté, la route de Meyrin.

La société MBC ingéo SA est ainsi en charge de la cadastration 2D des ouvrages d'art de ce tronçon du TCMC, à savoir:

- les 2 nouveaux ponts de Pré-Bois Nord et Pré-Bois Sud ainsi que l'adaptation du pont de Pré-Bois existant (figure 2),
- le nouveau viaduc Lect (d'une longueur de 330 mètres),
- les passerelles des Coquelicots et de Blandonnet qui ont été démolies et reconstruites,
- la passerelle des Avanchets.

Cadastration 2D/3D

L'objectif de ce projet est donc de combiner les deux travaux jusqu'à présent dissociés: la cadastration 2D et la cadastration 3D. Il s'agit plus exactement de profiter de la nécessité de cadastration 2D d'un nouvel ouvrage d'art pour réaliser, dans le même temps, son relevé et sa modélisation en trois dimensions de manière exhaustive.

Certaines opérations sont effectivement redondantes pour ces deux types de travaux comme la reconnaissance, la mise en place d'une polygonale géoréférencée, son calcul ou la construction des lignes caractéristiques de l'ouvrage. Un autre avantage de cette association est que le mandataire qui doit cadastrer l'ouvrage est bien souvent celui qui a participé au chantier. Il dispose ainsi de points de base planimétriques et de points de références altimétriques relativement proches de l'ouvrage et déjà rattachés aux cadres de référence, respectivement MN03-GE et NF02. On y trouve donc un certain intérêt économique qui permet de surcroît d'enrichir la base de données 3D du canton de Genève.

Phase de terrain

La première étape des travaux consiste à réaliser l'acquisition de l'ouvrage in situ. On effectue dans un premier temps une polygonale au tachéomètre dans le respect des règles de la mensuration.

Elle permet la mise en place de points de calage pour le relevé lasergrammétrique

Fig. 2: Les ponts de Pré-Bois, des ouvrages complexes avec des escaliers, passages inférieurs et ascenseurs intégrés aux culées.

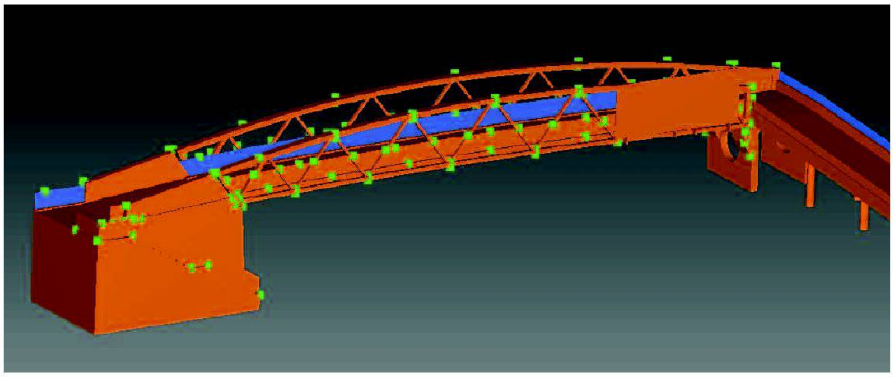

Fig. 3: Répartition des points de contrôle (en vert) sur un ouvrage modélisé (Passerelle des Coquelicots, communes de Meyrin/Vernier GE).

ainsi que la mesure de points caractéristiques répartis sur l'ensemble de l'ouvrage. Ces points permettront de contrôler le modèle 3D par la suite, en plus de servir à monter la cadastration 2D. Cette opération demande tout de même un peu plus de temps qu'une cadastration classique car les points de calage doivent être placés de manière à encadrer l'ouvrage pour assurer la cohérence des relevés. Dans un second temps, l'ouvrage est relevé par laser scanner fixe sous tous ses angles avec une densité de points d'environ 2 cm sur son ensemble.

Phase de calculs

Le calcul de la polygonale, des points de calage et des points de contrôle est effectué à l'aide de programmes permettant le respect des critères de précision et de fiabilité définis dans l'Ordonnance Technique sur la Mensuration Officielle (OTEMO). Le calage des différentes stations de scans est assuré pour sa part avec des logiciels spécifiques. La fiabilité du nuage recalé est assurée par les résultats de compensation fournis par le logiciel ainsi que par la comparaison avec les points de contrôle relevés par tachéométrie et donc issus d'une méthode de mesure indépendante du scan laser (fig. 3).

Phase de modélisation: exigences du mandat

La modélisation 3D de l'ouvrage s'effectue selon le processus habituel: extraction du modèle filaire, maillage / facettage et texturage. Elle représente la majorité du travail à accomplir, les travaux de terrain se révélant être anecdotiques en comparaison.

La cadastration 3D requiert cependant le respect de certaines règles de modélisation. Parmi les plus importantes, la précision absolue du modèle doit être inférieure à ±10 cm. En considérant que le nuage de points se situe dans la précision globale de la mensuration officielle, soit ±3.5 cm, on peut ainsi s'accorder une tolérance de ±6 cm lors de la construction. Cette précision est facilement atteinte sur des objets relativement «cubiques» grâce à l'extraction de plans, de lignes caractéristiques et leurs intersections. Par contre, les éléments courbes demandent plus d'attention. Typiquement, pour un tablier intégrant des virages, il s'agit de le découper en profils équidistants de manière à ce que la flèche entre les cordes générées entre 2 profils et la courbe réelle de l'ouvrage respecte la tolérance (fig. 4). Ce critère de précision suggère également un certain niveau de détail à atteindre: tout élément supérieur à 10 cm doit être modélisé. Cependant la philosophie générale demandée est d'«avoir une représentation pertinente et reconnaissable de l'ouvrage en tant qu'objet seul». Il ne s'agit pas ainsi de modéliser le moindre détail comme les joints de dilatation qui n'apportent rien à la compréhension de l'ouvrage (le modèle 3D est divisé en éléments structurels comme le tablier, les culées, les piles, etc) et dégradent même esthétiquement le modèle 3D. L'idée est donc plutôt de souligner les éléments structuraux et architecturaux particuliers à l'ouvrage.

On exclut d'autre part de la modélisation les éléments ne faisant pas partie intégrante de l'ouvrage: mobilier urbain qui sont récupérables via les couches du Système d'Information du Territoire Genevois (SITG), tuyauterie, etc. Et certains éléments comme les escaliers sont simplifiés (un seul plan au lieu de toutes les marches).

Phase de modélisation: contraintes techniques et conséquences

Un des impératifs du mandat est de livrer les formats Multipatch et 3DS du modèle 3D. Le premier format permet en effet d'intégrer aisément le modèle 3D dans l'architecture ESRI en place au sein du SITG tandis que le second est un format largement répandu et utilisé par les différents utilisateurs de données 3D (architectes, urbanistes, ingénieurs civils, etc). Néanmoins, ces deux formats particuliers ont des contraintes communes. Ils écartent tout d'abord une modélisation par

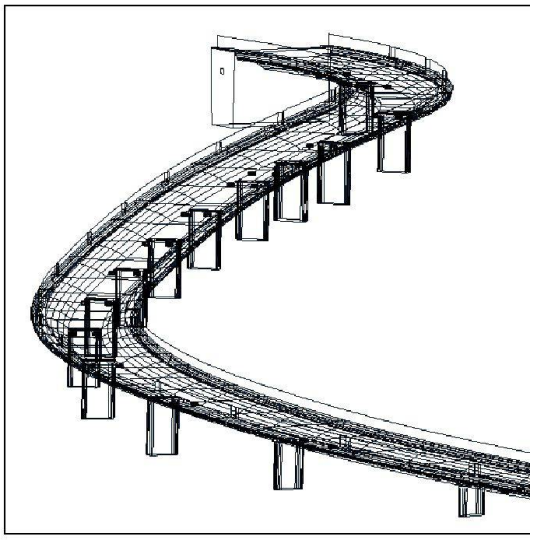

Fig. 4: Un ouvrage tout en courbes, le viaduc Lect (Meyrin GE). Une quarantaine de profils ont été construits le long de ses 330 m.

NURBS ou quads et obligent ainsi à s'orienter sur une modélisation polygonale à base de triangles. Tout arc ou cercle doit être par conséquent segmenté.

Ensuite, si de nombreux logiciels de modélisation permettent de réaliser plus ou moins automatiquement des maillages triangulaires, ceux-ci contiennent beaucoup trop de triangles, ce qui crée des fichiers 3DS ou Multipatch trop volumineux pour être exploitables ou diffusables à des tiers (un maillage de quelques millions de triangles engendre des tailles de fichiers de plusieurs dizaines de mégaoctets, sans compter la texture). D'autre part, ces maillages créent des modèles trop complexes avec des lignes caractéristiques en «zig-zag». Dans l'optique d'utiliser ces lignes pour la cadastration de l'ouvrage et pour alléger au mieux les fichiers générés, il faut alors construire un modèle 3D «simplifié» de l'ouvrage: rendre rectiligne au maximum les arêtes et supprimer tout sommet inutile dans les lignes droites pour être le plus économe possible en triangle. Ce type de modèle ne peut pas être généré automatiquement par logiciel, le travail est donc essentiellement manuel, chaque ligne étant finalement construite individuellement de manière plus ou moins assistée par divers outils logiciels:

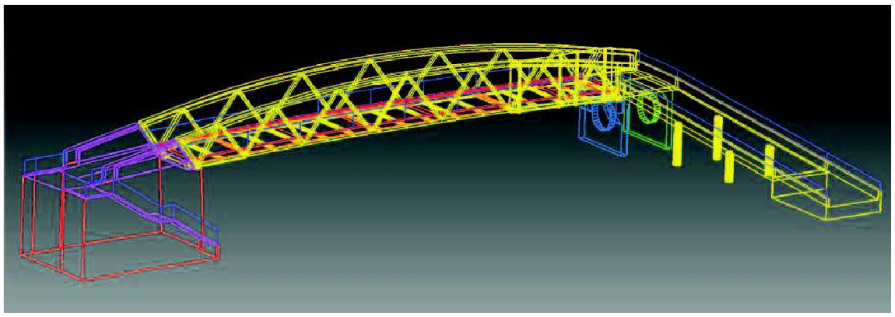

Fig. 5: Modèle filaire de la passerelle des Coquelicots.

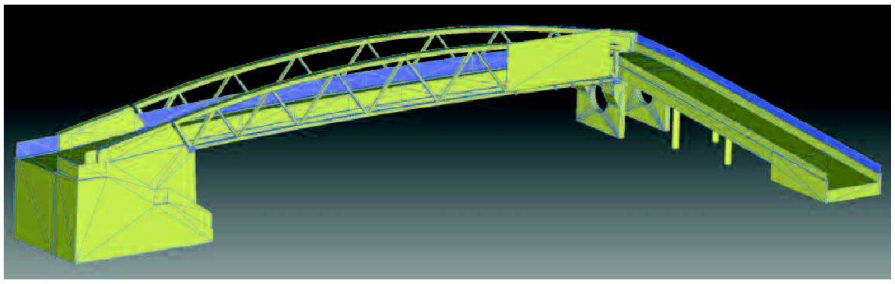

Fig. 6: Modèle maillé de l'ouvrage précédent.

extraction de plans / cylindre / cercles / contours, intersections plan / plan, droite / plan, etc. Une fois toutes ces lignes construites, on obtient le modèle filaire (fig. 5) de l'ouvrage, c'est à dire son squelette, sur lequel on peut créer ensuite le maillage triangulaire simplifié recouvrant toutes les surfaces du modèle (fig. 6).

Phase de modélisation: texturage

La dernière partie de la modélisation est l'application de textures sur le maillage (fig. 7 et 8). Celles-ci doivent se rapprocher au mieux de la réalité, une résolution de 2 à 3 cm par pixel étant exigée dans le cahier des charges. Pour se faire, on attribue aux différentes faces de l'ouvrage des textures élaborées de plusieurs façons en fonction de leur particularité.
Si une face présente des caractéristiques propres à l'ouvrage, comme un graffiti officiel, un panneau de signalisation ou une barrière, la texture sera directement issue d'une photographie de cette face. Pour des raisons de coûts, ces photographies ne sont pas redressées de manière rigoureusement mathématique. Les logiciels de retouche d'image intègrent effectivement des outils de redressement plus simples mais ils donnent des résultats largement satisfaisants.
Pour des faces avec un matériau commun mais avec des détails remarquables, comme du béton banché ou de la pierre, on créé des textures génériques, à partir de photos de l'ouvrage que l'on retouche, et que l'on peut répéter à différents endroits de l'ouvrage.
Enfin, dans le cas de faces complètement unies, un simple aplat de couleur suffit.
Le format du fichier de texture s'est porté vers le PNG avec canal alpha pour intégrer les textures transparentes de l'ouvrage comme les barrières.
Le tablier de l'ouvrage est normalement texturé à l'aide des orthophotographies. Cependant, dans le cas de cadastration 3D, l'ouvrage est récent et son tablier fini n'est pas présent dans l'orthophoto. Il faut donc créer manuellement la texture. Une astuce consiste à ce titre de procéder à un relevé tachéométrique pour la partie supérieure du tablier de l'ouvrage afin de relever le domaine routier, d'en déduire les maillages et de plaquer les textures en fonction des différents types de revêtement rencontrés. Cette méthode classique est effectivement plus rapide pour extraire au bureau ces informations essentiellement surfaciques, par rapport à un nuage de points.

Livraison des données et contrôles

Une fois l'ouvrage modélisé et texturé, il s'agit de l'exporter aux différents formats souhaités. Pour le format ESRI, le modèle 3D est livré en trois «geodatabases (GDB)» Multipatch géoréférencées.
Une première GDB contient l'ouvrage classé selon le modèle de données ESRI mis en place par le SEMO dont l'intérêt est de pouvoir visualiser l'ouvrage selon sa structure culée / tablier / piles / etc et ses matériaux. Ce modèle n'est toutefois pas texturé car les tests effectués ont montré que le format Multipatch divisé en plusieurs classes d'entité enregistre plusieurs fois un même fichier de texture. Les fichiers de type MDB générés par conséquent ont une trop grande taille.
C'est pourquoi une seconde GDB est fournie avec le modèle texturé, en une seule classe d'entité.

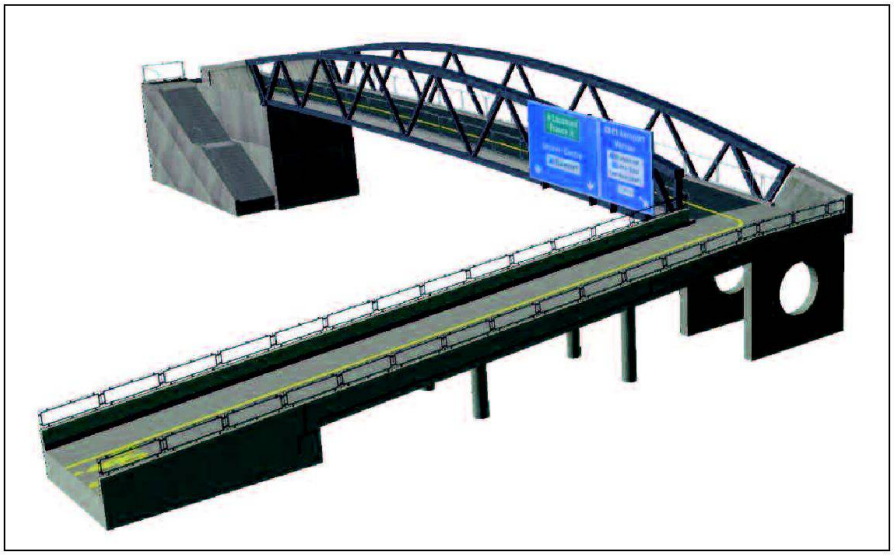

Fig. 7: Modèle 3D texturé de la passerelle des Coquelicots.

Fig. 8: Modèle 3D texturé du viaduc Lect.

Enfin, une dernière GDB est transmise et contient la couche SOL tel que relevé lors du scan. Cette couche SOL est modélisée et texturée afin de couvrir largement l'enveloppe générale de l'ouvrage; l'objectif étant de compléter les zones masquées sur l'orthophotographie situées sous et à proximité de l'ouvrage d'art.
Le format 3DS contient lui aussi un handicap qu'il faut contourner: il ne peut effectivement enregistrer plus de 7 chiffres significatifs en coordonnées. Le modèle transmis, construit à la base dans le système national, est ainsi translaté afin de garantir une précision de 0.1 mm sur le modèle 3D local. Un simple fichier texte mentionnant la translation à effectuer est joint au fichier 3DS, auquel on associe également le fichier de texture.
En plus des contrôles topologiques (ni collisions, ni vides entre maillages, etc) accomplis tout au long de la construction du modèle 3D, un rapport détaillé de la modélisation de l'ouvrage est également transmis à la livraison. Il contient tous les éléments de calculs ayant permis d'établir les points de calages, les points de contrôles et l'assemblage des nuages de points du scan laser. Le modèle 3D est également confronté au nuage de point assemblé et aux points de contrôle tachéométriques pour vérifier sa précision et sa fiabilité.
A partir de ce stade, la cadastration 2D est bien avancée puisqu'il suffit alors d'exporter les lignes caractéristiques intéressantes du modèle filaire en données ESRI afin de les intégrer dans le processus habituel de cadastration (fig. 9). Les mesures tachéométriques sont utilisées de nouveau comme points d'appui.

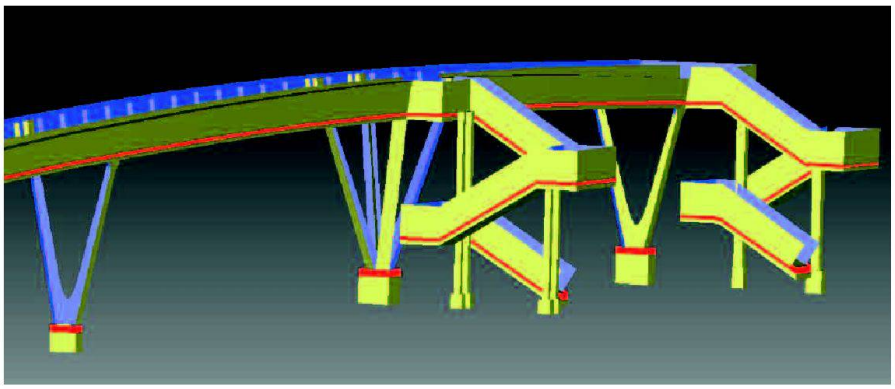

Fig. 9: Extraction des lignes caractéristiques (en rouge) pour la cadastration 2D de la passerelle des Avanchets (Vernier GE).

Conclusion

Au vu de ce qui précède, il est opportun de réaliser la cadastration 3D d'un ouvrage au moment de sa cadastration 2D. En effet, la phase terrain s'appuie sur des éléments nécessaires à la cadastration 2D et présents à l'issue du chantier. De plus, le géomètre ayant participé à la réalisation de l'ouvrage en possède une très bonne connaissance ce qui facilite son relevé et sa modélisation.
Bien que la cadastration 2D soit en grande partie issue de la cadastration 3D, le surcoût lié à la modélisation 3D est bien réel. Toutefois, ce surcoût serait encore plus important si la cadastration 3D n'était pas réalisée en relation avec la cadastration 2D.
Il est à noter que cette cadastration 3D est conforme aux principes énoncés dans la charte d'éthique de la 3D signée à Monaco le 4 février 2010 sous le Haut Patronage de S.A.S. le Prince Souverain.

Bibliographie:

www.ge.ch/dcti/presse/2009-11-10_conf.pdf
www.ge.ch/dcti/presse/2009-12-12_conf.pdf
www.3dok.org

Fig. 10: Geo 3D Genève SITG; www.ge.ch/semo/3D.

Nadine Couderq
Guillaume Bizouard
MBC ingéo SA
CP 1611
CH-1227 Carouge

Laurent Niggeler
Service de la mensuration officielle
République et canton de Genève
Quai du Rhône 12
CH-1205 Genève
laurent.niggeler@etat.ge.ch