

ETUDE DE NOUVELLES SOLUTIONS POUR LE RELEVÉ ET LA SURVEILLANCE DU CADASTRE DU SOUS-SOL 3D

Société d'accueil : **Spatial SA**
PFE présenté par : **Geoffrey Cornette**
Directeur (directrice) du PFE : **Thierry Sanouard**
Correcteurs : **Mme Landes, M. Koehl**



La cartographie des réseaux enterrés est d'une importance capitale. D'une bonne connaissance du sous-sol dépend la sécurité de nombreux ouvriers du BTP. Le Service de la Mensuration Officielle de Genève (SEMO) est chargé de la création et mise à jour des plans du sous-sol.

Parmi les acteurs du sous-sol, les Services Industriels de Genève (SIG) procèdent aux relevés des éléments sur le terrain, et fournissent les plans au SEMO.

Le cadastre est en pleine mutation de la 2D vers la 3D. Si cela est vrai pour le sursol avec les bâtiments, on s'interroge aussi sur la possibilité de créer un sous-sol en 3D. Le principal problème identifié pour cette mutation est l'absence d'information sur l'altitude des réseaux enterrés.

Une étude des différentes solutions de relevé de sous-sol en 3D a donc été menée en tenant compte des contraintes que le milieu engendre. Du tachéomètre au GNSS, en passant par la détection de réseaux, chaque technique présente ses avantages et inconvénients. Une solution de type photogrammétrique, simple à l'utilisation, pourrait cependant faciliter le relevé et son passage à la 3D.

Définition du besoin

Si des moyens d'acquisition de données de masse existent pour les objets du sursol, il est moins évident de relever les éléments du sous-sol et de compléter le manque d'information sur la 3^{ème} dimension des objets déjà existants. Il est donc essentiel d'avoir une méthode de relevé adaptée à ce besoin. Ce besoin doit donc être défini aussi précisément que possible. Les principaux acteurs du sous-sol ont été consultés dans cette phase pour prendre connaissance du déroulement actuel des relevés de réseaux, du point de vue technique et organisationnel.

Le service « Cadastre du Sous-Sol » (CSS) du SEMO est chargé des travaux suivants :

- Rassembler les données des différents acteurs du sous-sol ;
- contrôler ces données ;
- organiser et homogénéiser ces données ;
- insérer les données dans le géoservice GeoCSS du SITG (Service d'Information du Territoire Genevois).

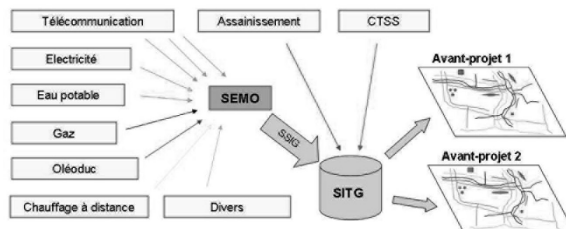


Figure 1 : Objectifs du Cadastre du sous-sol – www.etat.geneve.ch (modifié)

Actuellement, l'ensemble des acteurs du sous sol doivent s'affranchir des tâches suivantes :

- Procéder au relevé et au dessin des réseaux dont ils sont responsables ;
- Fournir l'ensemble des plans de réseaux au SEMO ;
- Consulter l'ensemble des acteurs du sous-sol pour obtenir l'ensemble des données cartographiques avant d'ouvrir une chaussée.

Les objectifs annoncés du SEMO-CSS sont alors les suivants (cf figure 1) :

- Mettre en place la cartographie complète du sous-sol dans le SITG, tout objet ayant une emprise certaine dans le sous-sol devra y figurer ;
- Proposer à tous les acteurs du sous-sol un système d'information géographique regroupant toutes les géodonnées du sous-sol en une seule base de données de consultation ;
- Obtenir un outil d'aide à la planification et à la coordination de gestion des avant-projets, simplifiant ainsi les démarches de tous les propriétaires de canalisations du canton.

Parmi les propriétaires de canalisations, les Services Industriels de Genève (SIG) sont les plus importants. Ils sont en effet responsables des réseaux d'alimentation en eau, gaz et électricité sur l'ensemble du canton de Genève. Les équipes de relevé du service « géomatique cadastre des réseaux » sont chargées de procéder aux levés sur les chantiers pour la mise à jour des plans de réseaux. Mais de nombreux autres gestionnaires d'éléments du sous-sol, en particulier dans les télécommunications, doivent également procéder à ces travaux de relevé et de mise à jour.

La consultation de l'ensemble des acteurs et gestionnaires des réseaux enterrés du canton de Genève a permis un recensement des difficultés techniques rencontrées dans ce milieu et la mise en place d'un cahier des charges à respecter pour une nouvelle solution de relevé et surveillance du cadastre du sous-sol.

Etude comparative des solutions

La seconde étape de ce projet consistait à réaliser une étude comparative multicritère des nouvelles technologies de relevé en 3 dimensions appliquées au cadastre du sous-sol. Cette étude permettra à terme de choisir la ou les solutions adaptées. Elle consiste à :

« Étudier et évaluer des solutions pour l'utilisation des nouvelles technologies en termes technique, organisationnel, temporel, informatique, procédural et financier ainsi que du point de vue de la précision et fiabilité. Tout ceci pour le relevé du sous-sol et la mission de surveillance du service de la mensuration officielle. ».

L'étude ne doit pas se limiter aux capacités techniques de la solution mais aussi à sa réelle capacité à être mise en place, en particulier d'un point de vue financier, organisationnel et humain.

Ce travail s'est déroulé en trois étapes principales :

- Elimination de technologies clairement inappropriées

Etant donné l'étendue des technologies à étudier et le nombre important de critères de sélection, l'étude comparative a débuté par un tri grossier des différentes solutions potentielles. Une première étape a consisté à éliminer un certain nombre de techniques sur des critères réducteurs.

Les critères qui peuvent faire qu'une solution sera définitivement écartée sont les suivants : solution trop onéreuse, solution inadaptée au fonctionnement actuel du relevé et de la surveillance du sous-sol, les solutions ne garantissant pas l'exactitude des résultats.

Les solutions non retenues à l'issue de cette étape sont les suivantes :

- Scanner laser 3D : solution trop lourde et trop onéreuse.
- Systèmes de détection de réseaux : solution pas assez fiable.
- Marqueurs EMS (Electronic Marker System) : solution trop lourde et pas assez fiable.

- Etude comparative théorique

Trois nouvelles technologies ont été, dans un premier temps, comparées de façon théorique grâce à de la documentation technique et à différentes démonstrations.

- Les tachéomètres : c'est la technique de relevé la plus utilisée actuellement. Le but de l'étude sera donc de faire le point sur les dernières évolutions de ces appareils, et d'analyser les avantages qu'ils peuvent apporter au relevé de réseaux souterrains.
- Le GNSS : une large majorité de travaux de relevé de réseaux souterrains se situent en ville. La méthode GPS est donc très peu utilisée car inutilisable en canyon urbain. Les nouveaux appareils GNSS permettent de coupler plusieurs constellations de satellites et en particulier GPS et GLONASS. Il s'agira de vérifier si cette avancée permet d'accroître son utilisation pour les relevés du cadastre du sous-sol.
- La photogrammétrie : les techniques de levé à partir de photographies se démocratisent. Souvent associées à d'autres appareils (tachéomètres, laser-scanner 3D...), elles offrent de nombreuses possibilités. Il faut donc approfondir cette piste d'autant plus que le support photo est très peu utilisé pour le relevé du cadastre du sous-sol.

- Test des technologies potentiellement retenues

Afin de mieux se rendre compte des capacités et des intérêts de chacun des instruments étudiés, un certain nombre de tests a été mené sur ces appareils; sur les tachéomètres imageurs, dans un premier temps, puis sur les récepteurs GNSS multi-constellation. Une zone test a d'abord été définie. Les objectifs de ces tests sont les suivants : avoir un aperçu des possibilités qu'offrent les nouveautés de ces appareils, voir les potentialités d'application au relevé du cadastre du sous-sol.

Cette partie de comparaison des outils de relevé de sous-sol a permis de se rendre compte que chaque type de travaux topographiques requiert des méthodes spécifiques et par conséquent, des outils adaptés. Après avoir fait l'inventaire des technologies à étudier, un certain nombre a très vite été abandonné car clairement inadapté. D'autres ont fait l'objet d'une étude comparative plus poussée. Il ressort de cette comparaison qu'un levé photogrammétrique semble être le plus adapté au levé spécifique des réseaux en sous-sol.

Un problème se pose cependant : des points de calage sont nécessaires pour orienter les photographies. Nous avons alors décidé de trouver une solution pour l'orientation externe, précise de photographies.

Solution photogrammétrique de relevé de sous-sol

Dans certaines situations, il peut être intéressant de se passer des points de calage pour orienter les photographies. Par exemple, dans les milieux industriels, les points sont parfois inaccessibles. Aussi, pour acquérir des points sur toute la scène, il faut parfois faire plusieurs mises en station pour quelques points à relever. Cela nuit à la performance de la méthode photogrammétrique. Il est donc justifié de trouver une méthode pour éviter l'exigence de points de calage pour orienter les photographies. Nous avons donc mis au point un accessoire permettant de positionner et d'orienter une photo par tachéométrie.

« L'étoile de géolocalisation » est un accessoire permettant de fixer un appareil photo sur un cadre de 4 cibles réfléchissantes et pivotantes. Le tout est soutenu par un trépied d'appareil photo. Le but de cet accessoire est de calculer les éléments de l'orientation externe de chaque photographie X_0 , Y_0 , Z_0 , ω , φ et κ à partir des coordonnées de 4 cibles de l'étoile, de façon assez précise pour les utiliser dans un relevé photogrammétrique.

Après un important travail de calibration de l'appareil photo et de l'étoile, une série de tests a été menée selon différents modes opératoires.



Figure 2 : étoile de géolocalisation

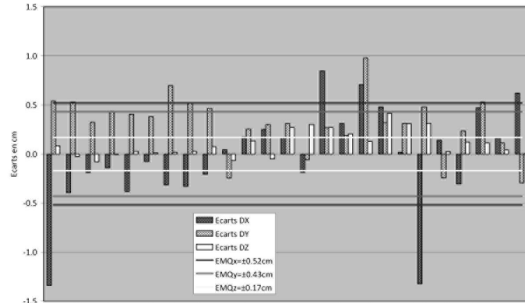
De très bons résultats ont été obtenus par la méthode suivante :

- Calcul des éléments X_0 , Y_0 et Z_0 via les coordonnées des cibles de l'étoile.
- Calcul des éléments ω , φ et κ approchés via les coordonnées des cibles de l'étoile.
- Calibration de l'appareil photo (Orientation Interne).
- Correction des éléments ω , φ et κ grâce à des points homologues entre les photos.
- Relevé des points de détail.

Le graphique ci-contre montre les écarts obtenus entre les coordonnées des points relevés au tachéomètre et par cette solution.

La précision de mesure est centimétrique, ce qui est très correct et largement suffisant dans le cadre d'un relevé de canalisation.

Cette méthode est donc valable mais finalement trop compliquée dans le concept pour être appliquée à la production de masse de plans de sous-sol.



Graphique 1 : écarts sur les coordonnées des points de détail

Une autre solution photogrammétrique plus simple a donc été proposée. Elle consiste à utiliser les moyens classiques de la photogrammétrie, mais de les adapter au contexte de levé de sous-sol. Des cibles numérotées ont été créées pour être utilisées comme points de calage. Puis, les méthodes utilisées sont celles de la photogrammétrie classique :

- Orientation interne : calibrage de l'appareil. Cette opération permet de connaître les paramètres de l'appareil photo utilisé, parmi eux la valeur exacte de la focale, le centrage du capteur par rapport à l'optique, les distorsions de l'optique utilisée. Cette opération est à renouveler plusieurs fois dans l'année car les paramètres de l'appareil photo se modifient au cours des transports notamment.
- Orientation externe : position et orientation de l'appareil photo. Cette étape permet de positionner et d'orienter l'appareil photo dans l'espace tel qu'il était lors de la prise de vue. Cela se fait grâce aux points de calage, c'est-à-dire aux cibles numérotées et à leurs coordonnées. Quel que soit le logiciel utilisé, l'idée est de pointer les points de calage sur les différentes photos où ils apparaissent. Il est possible de calculer l'orientation externe grâce à trois points de calage. En général, on essaie d'en avoir au moins 4, pour contrôle.
- Relevé de points : calcul des points de détail ; c'est l'opération qui permet d'obtenir les coordonnées des points de détail à relever. Une fois les images orientées, il suffit de pointer l'élément à relever sur au moins deux photos et ses coordonnées sont calculables.

Les apports de cette méthode sont nombreux pour les relevés de réseaux aux SIG. On note un gain sur les critères suivants :

- Exhaustivité du levé
- Précision du levé
- Temps passé sur le terrain
- Temps passé au bureau
- Suppression du croquis papier
- Coût
- Aide à la surveillance du levé par le SEMO



Figure 3 : Cible numérotée

La photogrammétrie est une technologie mal connue dans les équipes de levé des SIG. Il faudra donc du temps pour que celle-ci soit acceptée et bien intégrée. Cependant, ses avantages sont nombreux et il est possible de choisir ou développer des outils pour que tous les acteurs soient capables d'utiliser aisément ce type de relevé. Les possibilités offertes par ce type de méthode finiront probablement par avoir le dessus sur les habitudes et les quelques réticences du milieu de la topographie à avancer vers les nouvelles technologies.