



Le 1^{er} Forum de Topométrie le 17 mars 2005 : GPS et stations totales

■ Michel KASSER

L'AFT, depuis quelques années n'avait plus eu l'occasion d'organiser des forums, malgré les succès des derniers Congrès (CITOP). En 2003, l'association avait été extrêmement sollicitée par l'organisation du Congrès de la FIG en France, à Marne La Vallée, une très grosse opération menée à la satisfaction des collègues du monde entier en commun avec l'OGE : le Conseil de l'AFT, suivant la demande réitérée de ses adhérents, s'était donc proposé de renouveler ses animations professionnelles en démarrant une nouvelle série de Forums dès que possible. Les principes généraux retenus ont été les suivants :

- *un ou plusieurs Forums chaque année,*
- *dans des grandes villes faciles d'accès*
- *reposant nominalement sur les établissements d'enseignement du domaine.*
- *avec une thématique fixée bien évidemment en fonction de l'actualité.*

Compte tenu de l'organisation régulière des Journées de la Topographies à l'INSA de Strasbourg en Septembre, du Cercle-Géo à l'ESGT en hiver au Mans, et des Forums thématiques de l'ENSG (GPS, photogrammétrie, cartographie, SIG, chacun étant pris en charge par le cycle de spécialisation lui correspondant), il a été décidé de démarrer la série de ces nouveaux Forums de Topométrie de l'AFT par une journée organisée en région Parisienne. C'était d'abord à l'ENSG pour commencer, comme prolongement de sa série de Forums thématiques, puis le dispositif est prévu pour se poursuivre ensuite en alternance annuelle entre l'ESTP et l'ENSG.

L'organisation de ce 1^{er} Forum a été calquée sur celle des Forums de l'ENSG : une seule journée, 4 conférences longues, disposées de façon à laisser beaucoup de temps libre en milieu de matinée et en milieu d'après-midi. Ceci permet aux participants de se retrouver entre eux, ce qui est une des fonctions majeures de ces Forums, et permet aussi de laisser du temps pour visiter les stands des exposants, qui font partie intégrante de l'intérêt de la journée. L'organisation en une seule journée permet à chacun, exposant comme participant, de ne consacrer qu'une durée classique et facilement supportable (le voyage d'affaires habituel) à cet événement. Néanmoins, faute de Cycle spécialisé en Topographie à l'ENSG, c'est le Département de Positionnement Terrestre et Spatial (DPTS), l'un des départements d'enseignement, qui s'est retrouvé de facto organisateur de ce Forum, aux cotés de l'AFT.

Je remercie donc vivement ici le DPTS et les étudiants de l'ENSG pour leur grande implication qui a permis le plein succès de cette journée. Et pour notre Association, c'était l'occasion de réunir en fin de journée ses adhérents pour l'AG annuelle, ainsi que pour remettre les prix aux brillants Lauréats de l'AFT.

Le thème choisi, GPS et Stations Totales, s'est avéré particulièrement d'actualité compte tenu des nouveautés du marché, et a beaucoup intéressé les participants. Ce sont près de 200 personnes qui sont donc venues, malgré la communication très réduite qui avait été faite, et plus de 20 exposants ont fait le déplacement. Les articles qui suivent pourront donner à



Lauréates du prix AFT de gauche à droite : Anne Karsenty et Elise Meyer.



ceux qui n'avaient pu rejoindre Marne La Vallée le 17 mars 2005 une bonne idée des présentations, mais il faut ici se féliciter du succès qu'elles ont pu rencontrer, et des nombreuses questions qu'elles ont suscitées dans le public.

Il y a donc bien un public intéressé par ce type d'animations, et l'AFT se devait de reprendre ce flambeau qu'elle avait déjà porté si haut dans le passé. Et en avant l'an prochain pour la suite à l'ESTP... ●

Les étudiants en STS Géomètre-topographe (1^{re} et 2^e année) du lycée JEAN XXIII (Yvetot en Seine Maritime) sont venus au forum proposé par l'AFT au sein de l'Ecole Nationale des Sciences Géographiques, le 17 mars dernier, avec plusieurs objectifs à atteindre :

- **Découvrir les matériels les plus récents** proposés par les divers constructeurs, interroger et s'interroger sur l'évolution constante des techniques de lever. Les jeunes ont été intéressés par la combinaison Tachéomètre-GPS... Des méthodes révolutionnaires en découlent. Le contact avec les exposants a été très concret : utilisation des matériels, visualisation des résultats sur les micro-ordinateurs portables avec, là aussi, les derniers logiciels. La documentation et les explications, ont nourri la curiosité des jeunes et de leurs professeurs.
- **Visiter les locaux de l'ENSG**, notamment les salles de photogrammétrie. Dans la première subsistent les plus anciens reconstituteurs (analogiques), qui ont été présentés par M. Serre, belle découverte pour les étudiants qui n'abordaient ce point qu'à travers des cours théoriques et imagés par quelques diapositives. La seconde renferme des appareils beaucoup plus modernes (tout numériques), explications et les démonstrations à la clef ont permis une approche de l'utilisation des photographies aériennes dans les nouvelles technologies telle que la géomatique.
- **Conférence...**, Toucher du doigt les problèmes plus singuliers de la topographie, se confronter aux nouvelles technologies et leur vocabulaire spécifique (ex : GPS in door). Les jeunes ont été sensibles à ces nouveautés, et ont compris que la topographie, science ancienne, est toujours en quête d'évolution.

Les Participants Haut-Normands remercient l'AFT pour l'accueil de cette journée.

Technique de lever par véhicule équipé de récepteurs GPS et d'une station totale

■ Hervé GONTRAN

Le développement de la télématique des transports réclame la gestion sans cesse croissante de données rattachées à l'espace routier. Des systèmes de lever topométrique mobile peuvent acquérir ces informations, en offrant un gain sensible de productivité grâce à la combinaison d'outils de localisation et de scannage. Néanmoins, de tels systèmes, dont la mise en œuvre est une affaire de spécialistes, imposent un investissement financier considérable tant du point de vue matériel qu'humain. Le Laboratoire de Topométrie de l'EPFL développe un traitement "temps réel" des données issues d'un système de mobile mapping, afin de limiter l'intervention de l'opérateur à cette collecte et de réaliser un contrôle qualité directement sur le terrain. Dans le cadre du 1^{er} forum de topographie organisé par l'AFT, nous avons présenté un concept d'intégration de matériel standard (GPS et tachéomètre) pour automatiser l'inventaire de l'environnement routier.

ACRONYMES UTILISÉS

EPFL: Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
GGA: Global Positioning System Fix Data
GPRS: General Packet Radio Service
GSM: Global System for Mobile Communications
HDT: True Heading
IMU: Inertial Measurement Unit
NMEA: National Marine Electronics Association
RTAI: Real-Time Application Interface
RTK: Real-Time Kinematic
VSS: Schweizerischer Verband der Strassen und Verkehrsfachleute

Contexte

Les bases de données routières utilisent couramment un système de référence linéaire (SRL) décrivant les objets d'intérêt selon leur abscisse curviligne et leur décalage latéral par rapport à l'axe de la route. En Suisse, un SRL est directement matérialisé sur la route, avec une origine et une série de marques peintes chaque kilomètre à même le revêtement. Or, la plupart des informations géographiques sont collectées et consultées au moyen du système de coordonnées nationales. Si l'on désire combiner des données localisées en coordonnées nationales avec des informations routières, une transformation géométrique entre les deux systèmes est nécessaire.

L'acquisition de tels paramètres motiva la conception d'un système de mobile mapping par le Laboratoire de Topométrie. Ce système, baptisé Photobus, combine une caméra nadirale à des capteurs de localisation pour géoréférencer en temps réel la ligne centrale de la route, ce qui permet de déterminer aisément l'abscisse curviligne u des objets routiers (Gontran, 2004). De multiples capteurs permettent de déterminer le décalage latéral v , et dans le cadre de la conférence AFT, nous avons proposé l'utilisation d'une station totale (cf. figure 1).

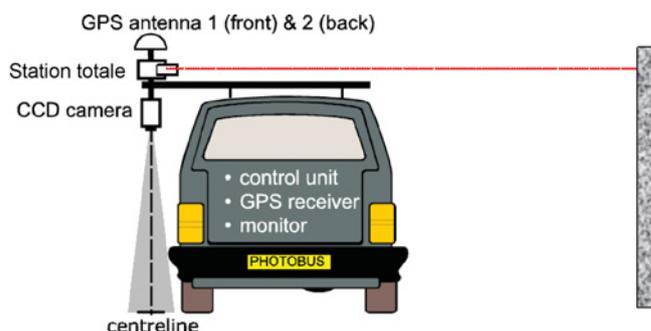


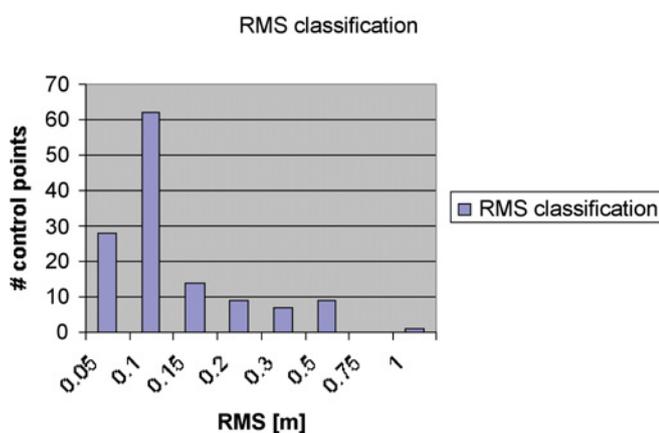
Figure 1 : système Photobus modifié

Détermination d'une géométrie routière de référence

Bien que Photobus puisse embarquer l'ensemble des senseurs nécessaires à la détermination des coordonnées curvilignes d'un objet routier, nous avons mené une campagne de lever dont la première étape aboutit à la détermination de l'abscisse curviligne, et dont la seconde fournit le décalage latéral. Des tronçons de route furent levés plusieurs fois à l'aide d'une caméra nadirale couplée à des capteurs GPS et inertiels pour assurer un géoréférencement



Figure 2: analyse de qualité sur un tronçon de 40 km



direct de l'axe de la route avec une précision décimétrique. La figure 2 présente une analyse de la qualité de la localisation réalisée sur 40 km de route rurale ou périurbaine. La valeur moyenne de la précision géométrique absolue est d'environ 12 cm. Il s'agit d'un niveau de précision prometteur pour des applications pointues, cependant, quelques sections caractérisées par des écarts-types supérieurs à 50 cm apparaissent encore. Cela est dû à une longue indisponibilité du signal GPS qui engendre une accumulation des erreurs liées à la localisation inertielle.

Dans tous les cas, Photobus fournit les coordonnées de la ligne centrale de route dans un système de référence local (E, N, h). Pour modéliser et analyser efficacement la géométrie routière, nous devons représenter la route par des fonctions interpolatrices, pour lesquelles les points levés servent de points d'ajustement. Au sens mathématique du terme, une courbe tridimensionnelle est une fonction différentiable c de \mathbf{R} vers \mathbf{R}^3 telle que :

$$c(t) = (E(t), N(t), h(t)) \text{ pour tout } t \text{ de } \mathbf{R}; E(t), N(t), h(t) \text{ sont les composantes euclidiennes de } c$$

Nous avons choisi des splines cubiques pour définir les interpolants $E(t), N(t), h(t)$. De telles fonctions constituent une interpolation par morceaux par des polynômes du troisième degré entre n points d'ajustement. Par conséquent, ils prennent en compte tous les détails de la trajectoire en respectant des condi-

tions de continuité sur la position, la vitesse, et l'accélération sur chaque point d'ajustement. Il est démontrable que les splines cubiques minimisent, parmi toutes les fonctions interpolatrices, l'accélération sur la courbe (Atkinson, 2002). Pour toutes ces raisons, les splines cubiques sont particulièrement adaptées à la modélisation de l'axe de la route. Finalement,

$$c(t) = \bigcup_{i=1}^n (E_i(t), N_i(t), h_i(t)) = \bigcup_{i=1}^n \{ a_i t^3 + b_i t^2 + c_i t + d_i, e_i t^3 + f_i t^2 + g_i t + h_i, j_i t^3 + k_i t^2 + l_i t + m_i \}$$

où a_i, b_i, c_i, d_i sont les coefficients de la i^{e} spline cubique dans la direction Est. e_i, f_i, g_i, h_i et j_i, k_i, l_i, m_i sont respectivement la i^{e} spline cubique dans la direction Nord et la verticale.
 n : nombre de points d'ajustement.

Capteurs impliqués dans le calcul des coordonnées curvilignes

La seconde phase de la campagne de lever consiste en la détermination des coordonnées curvilignes d'objets routiers. Pour assurer le calcul de l'abscisse u , nous avons utilisé un récepteur GPS bi-antenne Javad JNSGyro2 qui fournit à 10 Hz une localisation subdécimétrique et un azimut de l'ordre du dixième de grade par exploitation du concept de station de référence mobile. Un récepteur GPS bi-antenne comporte deux puces incluses dans le même boîtier. L'une d'elle, qualifiée de référence, diffuse des corrections différentielles de phase vers la puce qualifiée de "rover", d'où le calcul à 10 Hz d'un vecteur de précision centimétrique entre les antennes reliées aux deux puces. Néanmoins, la localisation absolue de ce vecteur a la précision du GPS en mode autonome. L'amélioration de cette précision nécessite l'accès à un serveur de corrections GPS différentielles par la puce de référence. Une connexion Internet via GPRS assure l'accessibilité des corrections sur tout le trajet du véhicule. La figure 3 révèle que le réseau GSM suisse est bien adapté à la diffusion de corrections RTK, puisque aucune dégradation de la précision de localisation n'apparaît en comparaison avec les média traditionnels de communication.

Le décalage latéral se déduit des impulsions laser émises en continu par une station totale Leica TCR705 sans prisme. Les mesures de distance sont récupérées automatiquement par un script de communication série en "GSI Online".

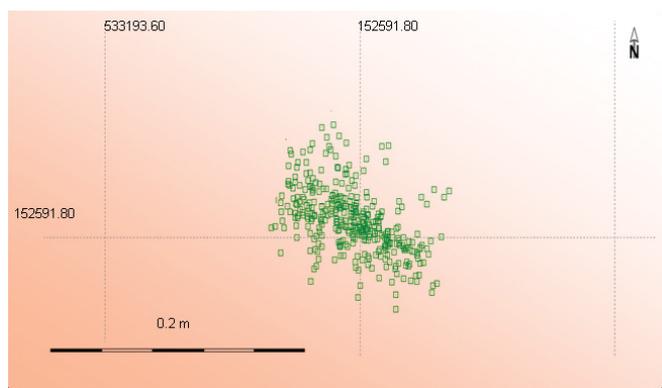


Figure 3: Précision de la localisation RTK via Internet

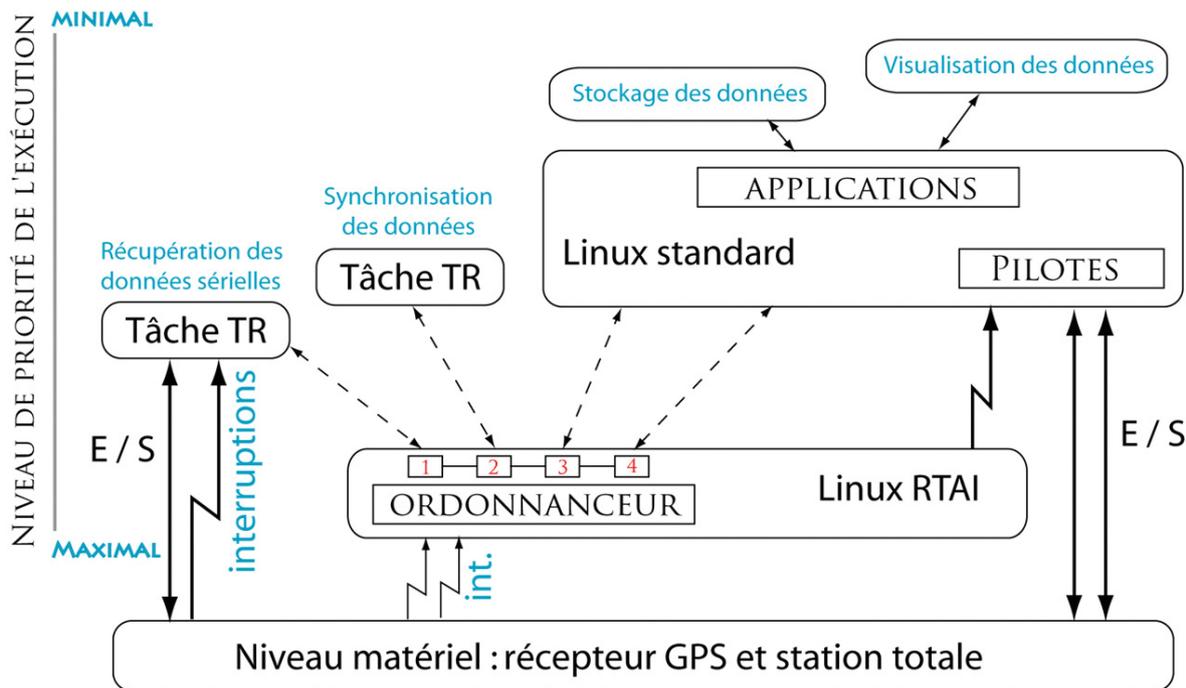


Figure 4: Gestion logicielle du système intégré

Gestion temporelle du système intégré GPS et tachéomètre

Déterminer des coordonnées curvilignes fiables à partir d'un système cartographique en mouvement passe par une synchronisation optimale des données issues du récepteur GPS bi-antenne et du tachéomètre. Or, ces capteurs produisent respectivement:

- à 10 Hz, une solution de localisation NMEA-GGA et un azimut géographique NMEA-HDT véhiculés par une ligne sérielle à 460,8 bkps, soit 84 octets transmis en 1,4 milliseconde.
- à 3 Hz, une information de distance au format GSI Online via une ligne sérielle à 19,2 kbps, soit 16 octets transmis en 0,8 milliseconde.

Nous devons régler le problème de collision des événements sériels en privilégiant la tâche à valeur ajoutée élevée mais moins fréquente. Il faut donc attribuer la priorité maximale à l'acquisition des mesures du tachéomètre.

L'adoption d'un système d'exploitation "temps réel", répondant à des événements asynchrones issus du monde physique dans des délais prédéterminés, constitue une solution intéressante. Notre choix de système "temps réel" s'est porté sur le noyau Linux RTAI qui est bien établi dans la communauté académique (Abbott, 2003). Ce noyau accomplit des

performances "temps-réel" en surveillant les pilotes de périphérique, les désactivations d'interruption ainsi que les mécanismes de gestion de la mémoire virtuelle qui sont source d'imprévisibilité. En fait, le noyau RTAI s'intercale entre le noyau Linux standard et le matériel, alors que le noyau Linux standard considère la couche temps réel comme le véritable matériel. Théoriquement, l'utilisateur peut définir des priorités pour chaque tâche, si bien que nous pouvons définir un chronométrage des processus correct en agissant sur les algorithmes de planification, les priorités et les fréquences d'exécution. Comme le montre la figure 4, la visualisation et le stockage des positions GPS, des azimuts et des mesures de distance se voient accorder une priorité moindre que la synchronisation des données, tandis que la récupération des dites données par liaison sérielle est accomplie en premier.

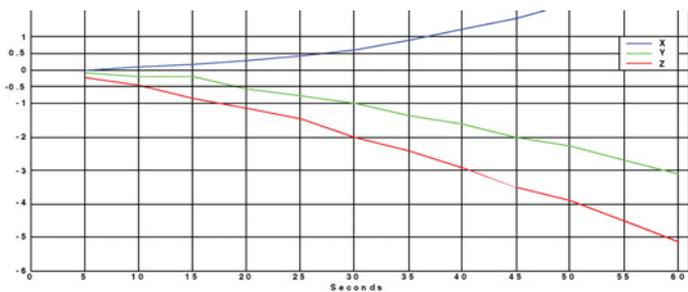
Montage physique et exemples d'utilisation du système intégré

L'implémentation physique du système intégré GPS / tachéomètre passe par deux antennes géodésiques MarAnt+ séparées par une distance de 3 mètres, à mi-chemin desquelles se trouve la station totale. Comme l'indique la figure 5, l'axe optique du tachéomètre est bloqué perpendiculairement à l'axe formé par les antennes GPS ; la précision du cap fournie par ces dernières est estimée à 83 milligrades pour une bonne visibilité satellitaire.

Le lever de l'environnement routier, pour lequel la VSS recommande une précision métrique, est une possibilité d'application d'un tel système intégré. Dans la thématique de gestion de l'entretien, le lever d'espaces verts, de talus, de murs anti-bruits est réalisable à condition de rouler à une vitesse modé-



Figure 5: Montage des antennes GPS et du tachéomètre



Durée de l'absence de signal GPS

Figure 6 : Evolution de la précision de la localisation par couplage GPS/INS

■ ■ ■ rée (20 km/h), ce qui correspond à une impulsion de distance par mètre de route. La chaîne de calcul liée à la détermination des coordonnées curvilignes d'un objet routier correspond aux étapes suivantes.

- Par exploitation de la position interpolée de la puce GPS de référence, de l'azimut GPS interpolé et de la demi-longueur du mât de montage, la détermination des coordonnées planes de la station totale est possible.
- A partir de la position de la station totale, de l'azimut GPS interpolé et de la distance horizontale mesurée, les coordonnées planes du point visé sont établies.
- Par projection orthogonale du point visé sur l'axe de la route modélisé, autrement dit, par minimisation de la distance séparant le point visé de l'axe de la route modélisé, on calcule le décalage latéral v du point visé, puis l'abscisse curviligne correspondante.

La plateforme intégrant GPS et tachéomètre peut également servir à l'enrichissement planimétrique d'orthophotos en offrant des informations planimétriques non extractibles de l'image, du fait de la présence d'ombres ou de toitures. Par exemple, le véhicule embarquant le système intégré circule autour du bâtiment dont l'emprise est à définir. Les points levés sont reliés et les segments ainsi obtenus sont prolongés pour caractériser les coins.

Perspectives et conclusion

Les techniques de lever précédemment décrites utilisent un récepteur GPS bi-antenne RTK pour localiser et orienter la station totale, si bien que de bonnes conditions de visibilité satellitaire sont nécessaires pour garantir une localisation satisfaisante des éléments routiers. L'utilisation d'une plateforme inertielle (IMU) permet d'assurer une meilleure disponibilité du système. Un capteur inertielle de classe aéronautique Litton LN200 permet de maintenir la précision de la localisation au niveau du demi-mètre pendant une absence de 30 secondes du signal GPS (figure 6). Par ailleurs, les champs d'application du système intégré sont quelque peu limités, la faible cadence de mesure du tachéomètre augmente le risque de manquer des objets d'intérêt. L'intégration d'un laser scanner peut remédier à ce problème.

Le forum topographie fut l'occasion d'exposer une intégration de deux composants standards (récepteur GPS et tachéomètre) en mode dynamique. L'accent fut mis sur l'intérêt d'un système "temps réel" pour assurer la synchronisation optimale des capteurs. Bien que son potentiel d'application soit assez faible, ce concept de base constitue une architecture ouverte pour laquelle la facilité d'intégration temporelle et géométrique des capteurs permet de répondre rapidement à des besoins de lever spécifiques. ●

Contact

Hervé GONTRAN

ingénieur-géomètre ETP

Laboratoire de Topométrie (EPFL) <http://topo.epfl.ch>

herve.gontran@epfl.ch

Bibliographie

Abbott, D. 2003, Linux for Embedded and Real-time Applications, Ed. Elsevier Science (USA).

Atkinson, K. 2002, *Modelling a Road Using Spline interpolation*, Reports of Computational Mathematics #145, Department of Mathematics, the University of Iowa, Iowa City, USA.

Gilliéron, P.-Y., Gontran, H., Skaloud, J. 2002, *Tests with the System Photobus for Road Data Acquisition*, Kinematische Messungen auf Strasse und Schiene, 17-19 September, Munchen, Germany.

Gontran, H., Gilliéron, P.-Y., Skaloud, J., 2004, *Photobus: Towards Real-Time Mapping*, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Istanbul, Vol. XXXV, Part B, Commission 5.

ABSTRACT

The development of road telematics requires the management of continuously growing road databases. Mobile mapping systems can acquire this information, while offering an unbeatable productivity with the combination of localization and scanning tools. However, such technically advanced devices go together with significant investments in staff and hardware. The Geodetic Engineering Laboratory of EPFL implements a real-time processing of the data captured by a mobile mapping system, in order to limit the operator's intervention to this collection of data and carry out a quality control directly in the field. For the 1st Topography Conference, we presented an integration concept for standard equipment (GPS and tacheometer) to automate the inventory of the road environment.

Surveillance à Amsterdam

■ Thierry PERSON - Martin BETH

La ville d'Amsterdam, fin des années 90, a décidé de se doter d'une seconde ligne de métro. Afin de minimiser les risques inhérents au creusement en plein centre ville d'un tel ouvrage, un système de surveillance très complet a été mis en œuvre. Outre la mise en place de nombreux capteurs ponctuels, un ensemble de tachéomètres robotisés a été installé, conjointement par SolData et IGN (unité des Travaux Spéciaux), afin de quantifier les mouvements éventuels des immeubles inscrits dans la zone d'influence du tunnelier. L'installation de ce type d'appareils nécessite de disposer de points de référence situés en dehors de la zone d'influence du tunnelier en action. Ces points sont d'une importance capitale pour le paramétrage des calculs (appuyés sur un moteur par moindres carrés) et font l'objet actuellement de discussions concernant leur stabilité et des moyens disponibles pour évaluer leurs mouvements éventuels. Une des possibilités réside dans l'utilisation de techniques GPS, qui seraient appliquées conjointement sur certains points de référence et sur certains tachéomètres. Mais d'autres techniques peuvent également être mises à contribution pour disposer d'éléments d'appréciation de la stabilité de ces points, en particulier l'utilisation d'interférogrammes radar.

■ mots clés

topométrie, surveillance robotisée, GPS, interférométrie radar

Description globale du projet

Le projet de la nouvelle ligne de métro d'Amsterdam inclut une zone du centre ville. Ce secteur, représenté figure 1, est sensible à plusieurs titres :

- zone aux constructions très denses et pour certaines très anciennes
- sol très meuble
- projet difficilement accepté par les résidents

Outre une densité de construction très importante, certaines d'entre elles ont déjà la particularité d'avoir bougé au cours des temps. Ceci est à rapprocher de la nature du sol, globalement très meuble. Ces quelques remarques ont fait, entre autres raisons, que la municipalité a désiré mettre en place un système de surveillance permettant de quantifier les mouvements éventuels de chacun des immeubles inclus dans la zone sensible. Il est également important de noter que ce système a été mis en place par une entité indépendante des entreprises principales chargées de la construction de la ligne.

La durée de surveillance prévue initialement se décomposait en plusieurs tranches :

- une année de surveillance sans travaux afin de connaître les mouvements "naturels" du secteur
- 5 années, environ, de surveillance durant les travaux
- a priori, une année à l'issue des travaux, afin de connaître le nouveau comportement "naturel" et éventuellement détecter des anomalies de stabilisation

Ce calendrier ne sera pas respecté, étant donné que les travaux ont commencé avec du retard, et ne concernent pour l'instant que les stations nouvelles sans présence de tunnelier actif.

Les installations ont consisté à mettre en place les éléments suivants :

- 74 tachéomètres robotisés (appelés Cyclops)



Figure 1 : tracé central du projet

- 5375 prismes
- 174 sondages (de 12 m à 74 m de profondeur)
- 1422 inclinomètres
- 741 extensomètres
- 86 PC
- 4030 repères de nivellement

L'ensemble de ces instruments et accessoires couvre un linéaire de 3,8 km avec des répartitions variables selon la densité d'informations requises et le type d'informations demandées.

Le principe de fonctionnement d'un endroit instrumenté est le suivant :

- l'ensemble des mesures (instrumentation dans le sol et tachéomètre) est acquis et centralisé sur un datalogger
 - ces infos sont transmises par radio vers un relais
 - ce relais envoie les données vers le site central de calculs
- Après cette description succincte de l'ensemble du projet, nous allons nous attacher à présenter plus avant la partie tachéométrie robotisée.

Les Cyclops

Au nombre de 74 actifs, leurs positions et également leur nombre définitif ont été déterminés en fonction des informations finales recherchées, à savoir, détecter des mouvements verticaux de 0.9 mm et des mouvements planimétriques de 4 mm.

A partir de ces contraintes, du type d'appareils utilisables et de la configuration géométrique des lieux, une simulation de l'ensemble du chantier a été réalisée. Cette simulation a entraîné les considérations suivantes :

- des distances maximales entre appareil et prisme de 100 m (sauf exceptions liées à des géométries particulières).
- L'impossibilité dans certains cas de disposer de suffisamment de références pour appuyer correctement la position des tachéomètres

Cette dernière remarque nous a imposé de réfléchir à la possibilité de créer des groupes d'appareils, leur association permettant de faire qu'au moins un des tachéomètres soit correctement référencé. Comme dit précédemment, différents types d'appareils peuvent être utilisés, à Amsterdam principalement des Leica TCA1800, TCA2003 ou des Trimble (ex Zeiss Elta S10). Ceci est rendu possible grâce au développement d'un outil d'acquisition d'observations réalisé conjointement par IGN et SolData, TACT. D'autres appareils peuvent également être piloté par TACT : TOPCON et Trimble 5600. Cet outil a été conçu de telle sorte qu'un appareil puisse réaliser ses observations de manière autonome.

Lors de l'installation d'un appareil (et de son PC associé), la première étape consiste à définir les paramètres de communication entre la station totale et l'unité centrale associée chargée de piloter l'ensemble des mesures. Ceci réalisé, il convient ensuite d'initialiser les cycles de mesures en définissant l'ordre des cibles, le nombre de pointés, l'éventualité d'un double retournement, le nombre d'essais nouveaux pour une cible non vue lors d'un cycle normal, les fréquences d'observations des cycles. A ce stade sont également précisés les paramètres de tolérance entre pointés, de fermeture des

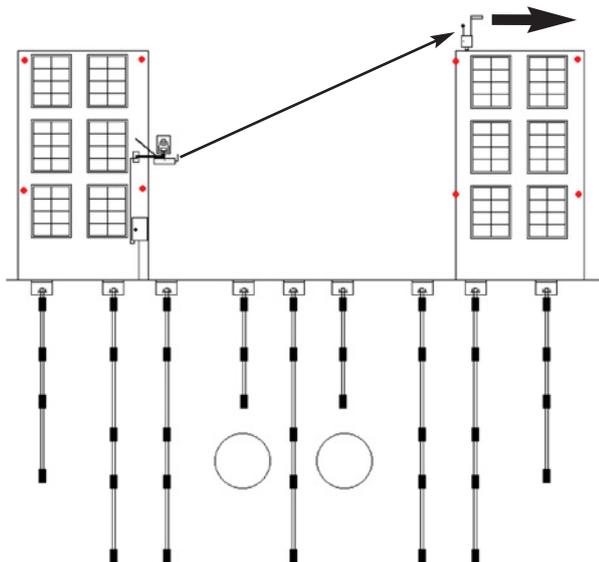


Figure 2 : un secteur instrumenté. En rouge, la position des prismes ; les flèches correspondent aux transmissions radio.

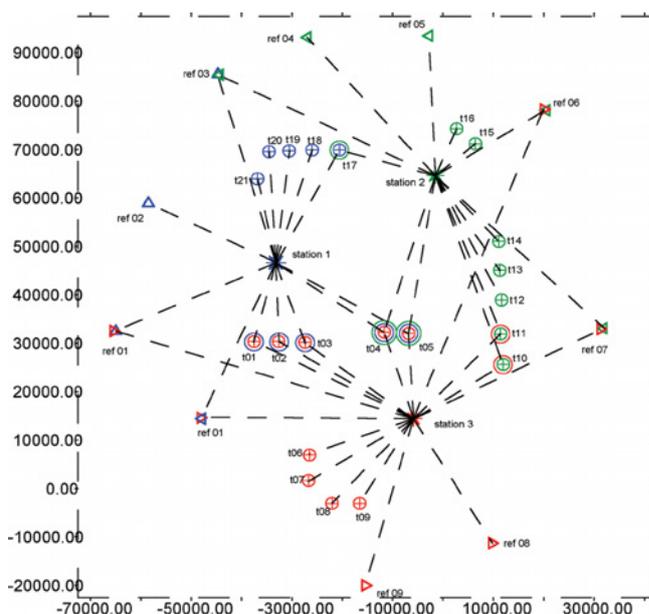


Figure 3 : schéma de principe d'un groupe.

- Références
- Cibles d'auscultation
- Cibles doubles ou triples
- Stations

tours, en définitive toutes les informations nécessaires à la réalisation d'un tour d'horizon le plus rigoureux possible. En parallèle, différents paramètres météorologiques sont également acquis. Tous ces éléments aboutissent à une robotisation du tachéomètre, l'ensemble des paramètres étant modifiable à distance à partir du centre de calculs. Ce qui s'applique à un appareil tel que décrit précédemment s'applique à la notion de groupe d'appareils, chaque appareil faisant ses acquisitions selon les mêmes principes.

La notion de groupe est utilisée au niveau des traitements, réalisés par moindres carrés et permettant de conduire un calcul global, assurant ainsi des déterminations correctes même si un appareil se situe dans la zone de mouvement et ne dispose pas de références fiables. L'idée consiste donc à relier plusieurs appareils entre eux par l'intermédiaire de cibles doubles ou triples, certains de ces appareils étant correctement référencés. Là aussi, différentes simulations ont été réalisées pour montrer la validité théorique du concept et donc convaincre nos interlocuteurs de la fiabilité du processus envisagé.

Le chantier a par la suite été décomposé en 23 groupes qui définissent 8 zones de calculs. La figure 3 explicite de manière théorique le concept de groupe : on voit aisément que la figure ainsi constituée est tout à fait calculable, ce n'est ni plus ni moins qu'un réseau s'appuyant sur quelques références stables. La difficulté principale réside dans la pondération nécessaire à un bon calcul par moindres carrés. Cette pondération et les contraintes associées aux cibles multiples ont faits l'objet de différents tests et ont montré l'importance vitale des cibles de référence.

Toutes ces installations fournissent donc de manière automatique leurs observations au centre de calcul. Il est clair que ce volume énorme de données doit être traité également de

manière automatique. Le logiciel de calculs utilisé, basé sur un outil de M. Yves Egels (IGN), a été lui aussi automatisé afin de faire que les personnels sur site aient à leur disposition des informations en sortie de calculs leur permettant de connaître l'état de fonctionnement de l'ensemble des machines, les anomalies éventuelles d'observations, les mouvements éventuels détectés, et nombre d'informations sur le déroulement du processus. Toutes ces infos peuvent être visualisées par l'intermédiaire de Geoscope Web, développé par SolData, permettant de nombreuses manipulations sur les données et permettant surtout de disposer d'indications visuelles très utiles pour ceux qui exploitent les résultats.

La figure 4 montre un extrait à un instant donné d'un des secteurs du chantier. A titre anecdotique, lors de la première phase (comportement avant travaux), nous avons détecté un mouvement d'un immeuble, qui, après visite sur place, était du à des travaux indépendants de la construction de la ligne de métro. Ceci nous a conforté dans l'idée que le système fonctionnait correctement mais également a montré l'extrême sensibilité du secteur à ausculter.

Le système tel que le décrivent les pages précédentes fonctionne parfaitement, et fournis en temps réel (une mesure par heure fournie au client 24h/24 et 7j/7 pour les X,Y et Z de chacune des cibles). Néanmoins, quelques améliorations pourraient être envisagées, bien que contractuellement non nécessaires :

- D'une part, il serait intéressant de pouvoir disposer d'informations sur le comportement réel de certaines références.
- D'autre part, il serait utile de mieux connaître le comportement d'un groupe par rapport à ces voisins.

Améliorations

Une des possibilités de mieux connaître le comportement de différentes références serait de leur associer une antenne GPS et de détecter, si possible, des mouvements éventuels.

Le problème majeur réside dans la précision que l'on peut espérer atteindre en installant un système totalement automatisable. Les quelques expériences d'ores et déjà tentées sur des sites tests montrent qu'actuellement, il n'est pas réaliste, principalement pour des raisons de coûts, d'espérer avoir des informations utilisables directement, étant donné le niveau de précision requis. Par contre, il n'est pas exclu que l'introduction de contraintes, dans le moteur de calculs, sur les lignes de base créées par l'installation de différentes antennes "solidifie" la relation entre différents groupes.

Ce constat s'applique également à la deuxième remarque relative aux relations inter groupes. La création de ces lignes de contraintes permettrait, en complément aux quelques éléments issus de cibles visées par différents groupes, de mieux connaître le comportement des entités les unes par rapport aux autres.

Une autre solution serait de disposer, idéalement à intervalles réguliers, d'interférogrammes radar sur la zone qui nous intéresse. L'exploitation des informations d'évolution que l'on peut extraire de ce type d'outils pourrait là aussi consister à faire évoluer les pondérations associées à certaines cibles de référence pour peu que leur mouvement soit correctement défini. Néanmoins, avant toute modification et nécessairement l'introduction d'un niveau de complexité plus important, il

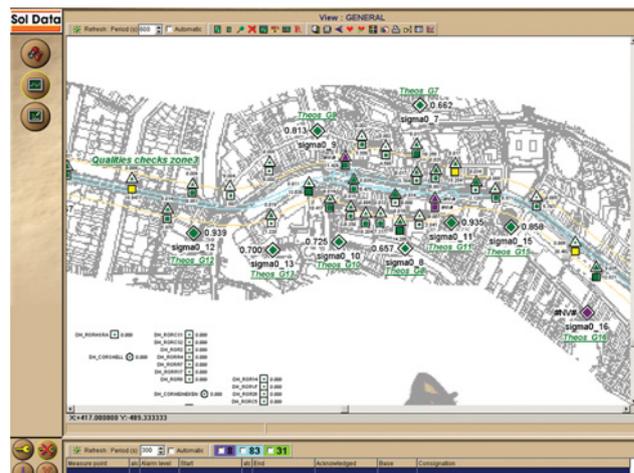


Figure 4 : extrait d'un écran Geoscope Web.

conviendra dans un premier temps de réaliser de nombreuses simulations, ne serait-ce que pour nous assurer d'une amélioration notable des résultats et de leur fiabilité.

Enfin, Il nous paraît important de préciser qu'actuellement des vérifications par topographie manuelle sont effectuées sur les cibles de références, permettant de répondre, bien qu'en différé (une fois tous les mois) aux deux questions posées ci-dessus. ●

Contact

Thierry PERSON - Institut Géographique National
Service de Géodésie et Nivellement - Unité des Travaux Spéciaux
2, 4 avenue Pasteur 94165 Saint Mandé Cedex
T : (33-1) 01 43 98 80 13 - F : (33-1) 01 43 98 84 50
Mail : thierry.person@ign.fr

Martin BETH - SolData 294 Avenue G. Clemenceau 92 000 Nanterre
T : (33 1) 41 44 85 00 - F : (33 1) 41 44 85 11
Mail : martin.beth@soldata.fr

ABSTRACT

Key words : topometry, monitoring, GPS, SAR interferometry

In the late 90, the Amsterdam council decided to create a second subway line in the real old town center. This project needs a way to survey the old buildings and to secure all the operations during several years. For the topometric surveying, installed by SolData and IGN (special works department), one need reference points outside of the tunnelling impact zone. As this area is really difficult to determine, we are not sure of the stability of the reference points.

Even if for now the system works very well, we have to think about the global information we can extract from all the results we've got since the beginning of this work. One important fact is that we split the whole site in several zones : these sectors are calculated separately. So we need first to know how our reference points moves if they do and secondly we need to introduce a relation between the several groups treated separately for now. One way is perhaps to use GPS/total station, but another way is to use SAR interferometry.

Utilisation de plusieurs techniques de mesure pour enrichir une méthodologie

■ Alain MARTIN-RABAUD

Les techniques de mesure 3D par procédés optiques sont restées pendant de nombreuses années les techniques privilégiées, voire exclusives, du monde de la géodésie. Depuis les années 1980, elles sont entrées dans l'industrie avec beaucoup de difficultés et de méfiance d'abord, pour s'imposer maintenant dans de nombreux domaines. Alors que les techniques de mesure 3D traditionnelles ne sont pas très coopératives entre elles, la force des mesures par procédés optiques provient de cette coopération qui permet d'allier les atouts de chacune des méthodes pour rendre le procédé plus adapté au besoin. La présentation de ces techniques n'a pas la prétention d'être exhaustive, mais elle permet de donner un aperçu des méthodes, de leurs avantages et de leurs limites. Et comment, en associant plusieurs méthodes, il est possible de garantir le niveau d'incertitude requis.

Aperçu des techniques de mesure 3D utilisées dans l'industrie

La majeure partie des techniques de mesure 3D s'appuie sur un ensemble de capteurs élémentaires relativement conventionnels. Il s'agit essentiellement de capteurs de distance ou d'angle :

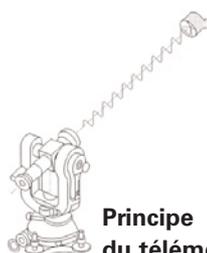
■ **Télémètre** : distancemètre utilisant un laser pour compter la durée du faisceau aller et retour entre le capteur et la cible (réflecteur ou cible naturelle) – il s'agit d'une mesure de distance absolue

■ **Interféromètre** : mesure du déplacement d'un réflecteur par analyse des franges d'interférence entre le chemin parcouru par un faisceau de référence et le réflecteur mobile – il s'agit d'une mesure relative de la distance, qui nécessite une mesure en continu (toute rupture de la mesure impose de repartir de la référence)

■ **Codeur angulaire** : mesure angulaire par relevé sur un cercle optique, avec calcul d'interpolation entre plusieurs séries de graduation

■ **Caméra linéaire** : mesure angulaire par utilisation d'une optique classique ou cylindrique et d'un capteur CCD ne comprenant qu'une ligne

■ **Caméra matricielle** : identique à la caméra linéaire, mais avec un capteur CCD matriciel



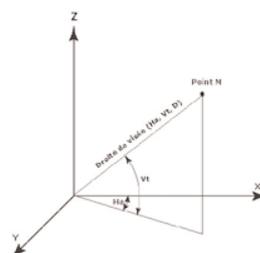
Principe

du télémètre.



Principe de la caméra matricielle.

A partir de ces différents capteurs élémentaires, la mesure 3D est effectuée par composition selon deux principes :



■ **Calcul polaire** : Il s'agit de la composition de deux mesures d'angle (H_a et V_t) et une mesure de distance (D) selon la formule ci-contre.

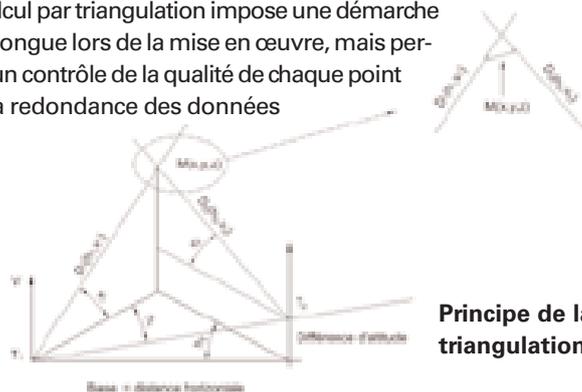
$$\begin{aligned} X_i &= D \cdot \cos(H_a) \cdot \cos(V_a) \\ Y_i &= D \cdot \sin(H_a) \cdot \cos(V_a) \\ Z_i &= D \cdot \sin(V_a) \end{aligned}$$

La détermination des coordonnées est immédiate, mais il n'y a pas de vérification de la qualité de la mesure

■ **Calcul par triangulation** : Seules des mesures angulaires sont réalisées, ce qui impose une procédure de détermination du processus de mesure en deux étapes :

- L'orientation relative qui détermine la position des appareils entre eux par la visée réciproque des appareils entre eux (possible uniquement avec les théodolites), soit en visant des points homologues (ajustement de faisceaux des droites de visées).
- Puis la phase de mise à l'échelle qui est réalisée généralement par la visée sur des règles étalons, mais peut se faire aussi sur des points connus préalablement.

Le calcul par triangulation impose une démarche plus longue lors de la mise en œuvre, mais permet un contrôle de la qualité de chaque point par la redondance des données



Principe de la triangulation.

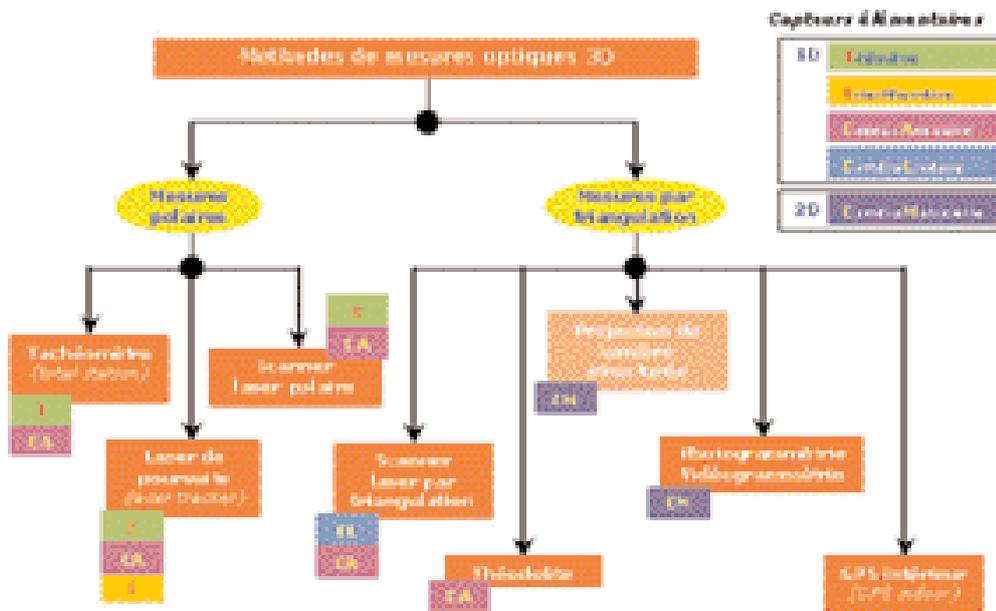


Tableau récapitulatif des différentes méthodes.

(4 angles au minimum pour déterminer les 3 coordonnées d'un point). A partir de ces éléments, nous décrivons ici l'ensemble des différents systèmes de mesure 3D en définissant les grands principes, les éléments d'incertitude de base, les principaux fournisseurs et les principales applications. Pour résumer, le tableau récapitulatif ci-dessus donne un aperçu des grandes familles de ces méthodes.

■ **Le théodolite** : Il s'agit d'un capteur uniquement angulaire comprenant deux codeurs installés sur deux axes perpendiculaires :

- l'axe vertical pour la mesure de l'angle horizontal
- l'axe des tourillons pour la mesure de l'angle vertical
- L'axe de visée (la lunette) constitue le troisième axe de cet appareil, dont la principale qualité réside dans le montage mécanique de ces différents axes et dont les éventuels défauts doivent être pris en compte et corrigés lorsque le niveau d'incertitude recherché est important.

Ces appareils sont généralement reliés à la gravité par une nivelle électronique bidirectionnelle de très grande qualité.

Les meilleures spécifications des théodolites sont :

- Incertitude angulaire des codeurs : 2,4 μ rad (0,15 mgon ou 0,5") selon la norme ISO 17123-3
- Incertitude de la nivelle électronique : 0,5 μ rad (0,03 mgon ou 0,1")
- Plage de mesure : 360° en horizontal, de -45° à 60° en vertical

La cadence d'acquisition dépendra essentiellement de la qualité de l'opérateur, du type de mesures à réaliser. Dans les meilleurs cas, il est possible de réaliser de l'ordre de 100 points en une heure. Les principaux fabricants de ces appareils sont LEICA et TRIMBLE. L'utilisation du théodolite a tendance à se réduire, mais on en trouve encore l'intérêt pour réaliser des relevés 3D dans l'industrie mécanique de grandes dimensions, souvent lorsque les grandes machines à mesurer 3D ne sont pas jugées rentables en investissement.

■ **Le tachéomètre** : C'est la même base d'appareil sur lequel a été rajoutée une mesure de distance, maintenant intégrée dans la lunette de visée. De ce fait, le tachéomètre devient une vraie machine à mesurer 3D portable. Aux caractéristiques du théodolite, s'ajoute donc celle du distancemètre l'incertitude

en distance :

- 0,5 mm pour les meilleurs tachéomètres pour les mesures avec réflecteur jusqu'à 50 m
- 3 mm pour les mesures sur cible naturelle

Comme pour le théodolite, la cadence d'acquisition dépendra des conditions de mesure. Dans les meilleurs cas, en mesure automatique, la cadence n'excède pas un point toutes les 5 secondes, soit 700 points en une heure. Les principaux fabricants pour les appareils que l'on trouve dans l'industrie sont LEICA, SOKKIA et TRIMBLE. On trouvera cet instrument dans les applications de contrôle 3D d'objets de grandes dimensions, lors du réglage de grandes pièces mécaniques ou pour la surveillance d'installations.



Réglage de bâtis pour l'Airbus A 380 à l'aide d'un tachéomètre TDA 5005 de LEICA avec le logiciel Métride Dim Master.

■ **Le laser de poursuite (ou laser tracker)** : il s'agit d'un tachéomètre auquel a été ajoutée une mesure de distance par interférométrie, avec un dispositif d'asservissement de la tête de mesure à la position du réflecteur pour assurer la poursuite. Ce complément de mesure de distance, associé à des codeurs angulaires rapides, permet deux améliorations majeures :

- La cadence d'acquisition est bien plus rapide (de l'ordre de 100 points / s)
 - L'incertitude en distance est grandement améliorée
- Les spécifications des lasers de poursuite sont approximativement :
- Incertitude angulaire des codeurs : 2,4 μ rad (0,15 mgon ou 0,5") selon la norme ISO 17123-3
 - Incertitude de la distance : 0,05 mm
 - Plage de mesure : 360° en horizontal, de $\pm 45^\circ$ en vertical, de 2 à 35 m en distance
 - Les constructeurs des lasers de poursuite sont API, FARO et LEICA.

Ces instruments sont utilisés dans l'industrie pour les relevés de géométrie 3D, les réglages de robots industriels et les relevés en dynamique, ainsi que pour les relevés de formes complexes.



Scanner laser
TRIMBLE S25.



Scanner laser
IMAGER 5003 de
Zoller+ Fröhlich.



Capteur de vidéo-
grammétrie de NDI.

■ **Les scanners lasers** : A l'inverse des lasers de poursuite, les scanners lasers ne sont pas des appareils de mesure d'un grand niveau d'exactitude, mais plutôt des appareils utiles pour mesurer des grandes quantités de points.

Deux familles d'instruments peuvent être distinguées :

- Les scanners lasers à base de triangulation, qui sont historiquement les plus anciens
- Les scanners lasers polaires, qui sont des tachéomètres à grande cadence d'acquisition

Ces deux familles d'instruments sont très différentes au niveau de la conception, mais le traitement des points est ensuite très proche, du fait du grand nombre de points.

Les scanners lasers par triangulation : Le principe de base de ces scanners est de réaliser un calcul de triangulation entre un laser qui émet soit un faisceau linéaire ou plan et une caméra qui perçoit la position de l'impact de ce faisceau sur l'objet. Dans le cas où le faisceau est uniquement linéaire et que la caméra est aussi linéaire, le plan de triangulation nécessite l'adjonction d'un troisième capteur (un codeur angulaire) pour obtenir la troisième donnée nécessaire à la détermination des points en 3D. Si le faisceau est plan, la caméra sera matricielle et les données seront directement traduites en coordonnées 3D. Les caractéristiques de ces instruments sont très variables, du fait que la géométrie de l'instrument (avec, en particulier, la base de triangulation) est essentielle sur ces données :

- L'incertitude spatiale est de l'ordre de 1 mm à 10 m
- La cadence d'acquisition est de l'ordre de 100 points/s
- L'étendue de mesure est de l'ordre de 0,8 à 25 m

Les principaux fabricants de ce type de scanner sont KONICA et TRIMBLE.

Les scanners lasers polaires : Comme indiqué plus haut, ce sont des tachéomètres dont la technologie des capteurs élémentaires a été modifiée pour obtenir des cadences d'acquisition bien supérieures :

- Le codeur angulaire est souvent un codeur galvanométrique
- Le distancemètre, bien que reposant sur le même principe de mesure par temps de vol d'une onde lumineuse, permet une fréquence d'acquisition très rapide, pour des mesures sur cible naturelle.

De ce fait, les spécifications de ces capteurs sont les suivantes :

- Incertitude angulaire de l'ordre de 24 à 50 μ rad
- Incertitude en distance de l'ordre de 3 à 12 mm
- Cadence d'acquisition de 1 à 2 kHz

Les principaux constructeurs de ces capteurs sont CALLIDUS,

LEICA, RIEGL, TRIMBLE et Zoller+Fröhlich. Les principales applications de ces scanners concernent les grandes installations industrielles pour établir les plans tels que construits, l'architecture et l'archéologie.

■ **La photogrammétrie et la vidéo-grammétrie** : Ces deux méthodes de mesure 3D reposent sur la même technique de base : l'acquisition d'images par un procédé conventionnel (support argentique) ou numérique, puis le traitement des mesures par calcul de triangulation.

Depuis les années 1990, la photogrammétrie est devenue essentiellement numérique pour les applications industrielles, ce qui impose de travailler sur cibles rétro-réfléchissantes. Le temps de saisie et de traitement a incité les fabricants de capteurs à proposer des solutions en temps réel, que l'on nomme souvent des systèmes de vidéo-grammétrie, où la cible dite passive est remplacée par une cible active, c'est-à-dire qu'elle s'éclaire automatiquement à la demande du logiciel de pilotage du système de vidéo-grammétrie, pour différencier plus facilement chacun des points mesurés. Souvent aussi, ces systèmes de vidéo-grammétrie sont proposés sous forme d'un capteur complet étalonné. La qualité de la mesure et surtout le niveau d'incertitude atteint dépendent très fortement d'un grand nombre de paramètres qui sont variables d'une application à l'autre ; en effet, un des intérêts de ces méthodes (comme les méthodes de triangulation par théodolite) provient de leur grande flexibilité : la disposition des capteurs, le nombre de capteurs utilisés, la méthode d'étalonnage... seront choisis selon l'objet à mesurer et les caractéristiques recherchées.

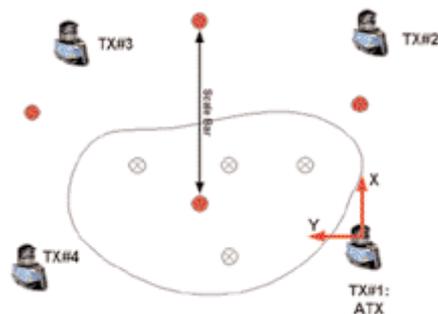
Les principales généralités que l'on peut donner en matière de caractéristiques sont les suivantes :

- Incertitude d'un point 3D sur l'objet : de l'ordre de 10^{-5} par rapport à la distance à l'objet
- Etendue de mesure : de 0,5 m à 1 000 m (voire au-delà dans les applications de cartographie)

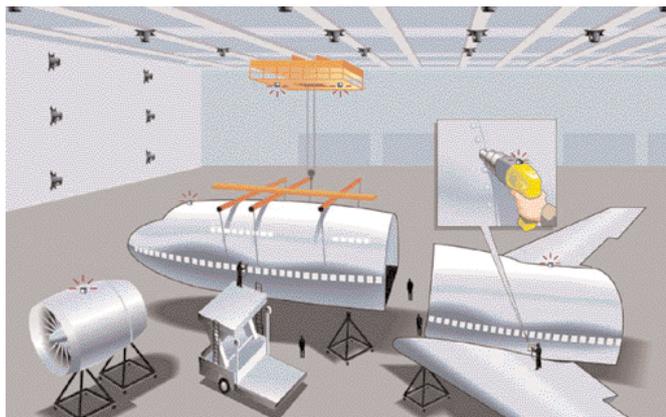
Les principaux fabricants de ces moyens de mesure sont : ActiCM, AICON, GOM, GSI, IMETRIC, KRYPTON, METRONOR, NDI. Les applications sont très importantes, depuis le relevé 3D de grandes installations jusqu'aux essais en dynamique de produits manufacturés (portes, tiroirs...).

■ **GPS intérieur (GPS Indoor)** : Il s'agit d'un type de mesure très nouveau, qui repose sur l'idée des positionnements par satellites (GPS, Gallileo), bien que s'appuyant sur la triangulation et non pas la trilatération des systèmes par satellites.

Le principe repose sur l'installation de capteurs dits satellites (pour respecter l'analogie) qui émettent des faisceaux lasers plans dans toutes les directions. Une procédure d'initialisation



Disposition des satellites pour le GPS Indoor.



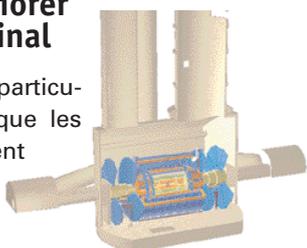
Exemple d'application du GPS Indoor dans l'industrie aéronautique.

(l'orientation relative et la mise à l'échelle de la triangulation) est nécessaire lors de l'installation de ces satellites. Et des moyens de vérification régulière sont installés pour que ce système soit contrôlé en permanence sur le site où il est installé.

Les mesures sont réalisées au moyen de palpeurs qui interceptent les faisceaux lasers et dès que le nombre suffisant de satellites est intercepté, la mesure 3D est accessible. Le seul fabricant identifié à l'heure actuelle est ArcSecond. Ce principe a pour avantage de mettre à disposition d'un ensemble de contrôleurs qui travaillent dans le même bâtiment, un moyen de relevé 3D, dont le niveau d'incertitude semble particulièrement prometteur puisque les constructeurs annoncent une incertitude de l'ordre de 0,15 mm pour un volume de 10 x 5 x 3 m, avec une cadence d'acquisition de 70 à 100 Hz. Les applications sont limitées, pour l'instant, aux grandes installations industrielles comme l'automobile, l'aéronautique où les besoins en relevé 3D sont importants et multiples, ce qui autorise ce type d'investissement qui reste encore lourd.

Combinaison de plusieurs techniques de mesure 3D pour améliorer le niveau d'incertitude final

Lors d'applications industriels particulières, il est souvent constaté que les méthodes de mesure 3D peuvent avoir des limites tant sur le niveau d'incertitude, que sur la faisabilité ou le temps nécessaire pour l'opération proprement dite. De



Caverne ATLAS de l'accélérateur LHC du CERN. ce fait, il est courant que l'on combine un certain nombre de techniques de mesure 3D pour correspondre au mieux au besoin exprimé.

Les objectifs les plus courants correspondent à :

- L'amélioration du niveau d'incertitude final de l'opération
- L'optimisation de la durée et/ou des coûts de l'opération
- La simplification du traitement des données pour définir le mesurande final

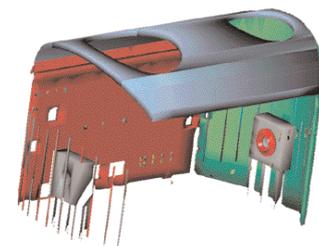
Un exemple de ce type de travail est présenté ici : il s'agit du relevé 3D d'une caverne du nouvel accélérateur de particules du CERN (dimensions : longueur 60 m, largeur 40 m, hauteur 35 m). L'objectif de ce relevé consiste à obtenir le modèle réel

de la caverne, y compris tous les points d'ancrage des éléments de l'expérience à installer, pour définir un scénario de maintenance des équipements le plus adapté et le plus fiable possible. L'incertitude de la représentativité du modèle doit être inférieure à 10 mm, sachant que les points d'ancrage doivent être connus à 5 mm. Le principe de mesure retenu est le suivant :

- Numérisation globale à l'aide d'un scanner laser GS100 de TRIMBLE
- Raccordement et relevé des points caractéristiques (les points d'ancrage des équipements) à l'aide d'un tachéomètre LEICATCRA1101+
- Le raccordement entre les deux systèmes de mesure est réalisé à l'aide de sphères, relevées par le tachéomètre. 1 mm.

Le bilan présenté ci-contre montre le gain sur l'incertitude de modèle construit sans recours à une autre méthode de mesure que le scanner laser par rapport à la méthode choisie. On remarque que dans ce cas présent, le gain est très important puisque l'incertitude finale est divisée par deux. Cette démarche a permis aussi de réaliser ce relevé en un temps remarquable : une seule journée pour relever 10 millions de points.

Bilan des incertitudes	
—	Sans recalage par tachéomètre
•	Scanner : 7 mm en moyenne
•	3 stations :
—	Sphères de recalage : 3 mm
—	Point courant : 7 mm
—	Bilan sur les points de l'ensemble du maillage : 13,2 mm
—	Avec recalage par tachéomètre
•	Scanner : 7 mm en moyenne
•	Tachéomètre :
—	Recalage : 1 mm
—	Relevés de sphères : 1 mm
•	3 stations :
—	Sphères de recalage : 3 mm
—	Point courant : 7 mm
—	Bilan sur les points de l'ensemble du maillage : 7,8 mm



Modèle CAO issu de la numérisation de la caverne ATLAS.

Conclusion

En final, il faut noter que les industriels disposent à l'heure actuelle d'un nombre très important de moyens de mesure 3D.

Lors de l'analyse d'un besoin, il est important d'identifier les caractéristiques à atteindre pour faciliter le choix des moyens de mesure : en effet, l'optimisation de ces moyens et éventuellement leur combinaison permet un gain très important sur les performances tant en termes d'incertitude que de temps de mesure et de traitement, avec, comme paramètre supplémentaire à surveiller, le coût d'investissement ou de location, selon le cas. Cette démarche est même à l'heure actuelle prise en compte par les constructeurs puisque l'on voit apparaître des instruments qui combinent plusieurs méthodes de mesure 3D, comme le laser de poursuite de LEICA, le LTD800 associé aux T-Scan (scanner laser) et T-Probe (outil 6D). ●



Laser de poursuite LEICA LTD800 et le scanner T-Scan.

Contact

Alain MARTIN-RABAUD

Métride s.a. 444, rue des Jonchères – 69730 GENAY (France)
Téléphone : 04 72 08 77 77 – Fax : 04 72 08 77 79
email : info@metride.fr – Site Web : www.metride.fr

Lors du forum Topographie de l'AFT le 17 mars 2005, un créneau dans l'emploi du temps a été proposé à deux fournisseurs de matériel pour présenter leurs produits nouveaux, en rapport avec le thème de la journée : GPS et tachéomètres. Les deux constructeurs, Trimble et Leica, ont insisté sur les évolutions actuelles de leurs matériels permettant un emploi combiné de plus en plus facile du GPS pour la polygonation et du tachéomètre pour le lever. Chez Trimble, l'effort a été mené vers une facilitation très poussée de l'emploi successif des appareils sur un même point, chez Leica la nouveauté portait sur la toute nouvelle intégration du GPS dans le tachéomètre. Les deux brèves présentations qui suivent retracent ces interventions.



De gauche à droite : M. CABANEL Trimble et M. KADDED Leica.

L'intégration complète du GPS et d'un tachéomètre : le SmartStation de Leica

Lors du colloque de l'AFT, Leica Geosystems a présenté une innovation dans le monde de la topographie : une station totale avec un récepteur GPS intégré, pour un coût très nettement inférieur à celui des deux appareils séparés.

Grâce à cette innovation, le géomètre peut maintenant effectuer des levés de détails sans matérialiser de points de références au sol. La souplesse est largement accrue : l'utilisateur peut s'installer n'importe où, même sur un chantier sans références externes, et son relevé sera rattaché grâce au GPS. Avec cette avancée, les points de référence peuvent devenir virtuels, ce qui représente une économie de temps considérable lors de la mise en station. Le principe est simple, et ouvre de toutes nouvelles possibilités, en particulier si le chantier se déroule sans éléments d'orientation externes connus. Sur le terrain une brigade s'installe dans un endroit propice au levé topographique et à la réception GPS. On mesure une première position GPS et ensuite le levé tachéométrique débute. Afin d'orienter le levé terrain on positionnera ensuite le tachéomètre sur un (et afin de disposer de contrôles efficaces, plusieurs) des points visés auparavant : leur positionnement GPS permettra alors d'orienter l'ensemble du lever.

Description de la SmartStation :

- Un tachéomètre série 1200 (TPS 1200)
- Un bloc de réception GPS monobloc incluant l'antenne qui se fixe à la place de la poignée du tachéomètre.
- Un module de communication (Radio UHF ou Modem GSM) permettant la réception en temps réel de signaux de correction GPS.

Il existe deux principales méthodes d'orientation :

- Entre plusieurs stations qui sont déterminées par GPS.
- Sur un (et préférablement plusieurs) point connu. Il devient ainsi possible de se passer d'intervisibilité entre stations suc-



cessives. Si le praticien continuera sans doute à parler de polygonales, c'est en fait un terme qui sera devenu assez loin de la réalité technique !

Exemples d'utilisation

Ce nouveau matériel trouve toute sa dimension et son utilité dans le cas :

- De levés à rattacher en zone urbaine ou semi-urbaine. L'outil GPS ne permet pas de lever les bâtiments, mais il sera toujours possible de déterminer une station sur un lieu assez dégagé pour le GPS d'où des visées seront ensuite lancées vers les détails du bâtiment.
- Dans des zones où aucun point connu n'est disponible et où il est nécessaire de faire un levé de détails précis.

Il s'agit donc de la phase d'intégration finale des deux outils les plus puissants auxquels le géomètre a désormais accès, le tachéomètre et le GPS : aucun des deux n'a détrôné l'autre, mais leur intégration complète va ouvrir de nombreuses nouvelles portes. Des tactiques innovantes d'organisation du travail de terrain sont maintenant à imaginer pour tirer pleinement profit de cette situation sans précédent... ●

Stations Totales Optiques et GPS : la "Topographie Intégrée" chez Trimble

■ Jean-François CABANEL

L'article résume les avancées technologiques les plus récentes dans le domaine des stations totales optiques et GPS, de saisie de données informatisées de terrain, des systèmes de communications qui concourent au gain de productivité, précision plus élevées des données, meilleur contrôle de la qualité, plus grande simplicité d'utilisation et accroissement de la sécurité. Il met en avant le fait que les capteurs et autres composants autrefois séparés s'interconnectent pour se fondre dans des solutions topographiques totales.

Face aux exigences du marché actuel, les géomètres sont perpétuellement à la recherche de solutions leur permettant d'accroître leur productivité et leur rentabilité. La notion de topographie intégrée est donc d'une grande importance, puisqu'il s'agit de la capacité à utiliser l'outil le mieux adapté pour une tâche donnée tout en disposant d'une compatibilité et d'une intégration totales des données d'autres provenances. Les stations totales Optiques et GPS Trimble font partie du concept général "Topographie Intégrée" dont les solutions technologiques optimisent les informations de mesures et positionnements pour améliorer la productivité, le contrôle et la qualité des données, en minimisant les connexions grâce à l'emploi de liaisons Bluetooth. On constate qu'en un laps de temps très bref, le géomètre a su tirer 5 types d'avantages fondamentaux des remarquables innovations de la technologie: le gain de productivité, le meilleur contrôle de la qualité des données, la précision plus élevée des données, la plus grande simplicité d'emploi des équipements et l'accroissement de la sécurité.

Les avancées technologiques des Stations Totales Optiques se sont traduites dans les années 1990 par l'introduction par Geotronics du premier système "1 seule personne" – commande de la station à distance – si bien que le système robotisé constituait alors un exemple parfait de regroupement de composants divers au sein d'une solution topographique intégrée, améliorant de façon significative la productivité. Le concept actuel de la Topographie Intégrée offre le choix du contrôleur de terrain et du logiciel d'applications, assurant les mesures avec le GPS et le tachéomètre, passant de l'un des capteurs à l'autre. Ainsi, voyons quelques situations typiques :

■ **CAS N° 1 : terrain couvert par une infrastructure GPS en réseau, favorable à la réception des satellites, le géomètre (bénéficiant du service fourni par le gestionnaire du réseau) souhaite exécuter des tâches de levés.**

Un GPS RTK est mis en place rapidement sur une canne (de la même façon qu'un utilisateur y place son prisme). S'approchant par exemple de zones bâties, il peut décider de

■ mots clés

Technologie, productivité, mobilité, GPS, stations totales optiques, Topographie Intégrée, communications



Base GPS Trimble R8 émettant les corrections par radio, 100% sans câble

lever des points avec une qualité "point de contrôle" qui serviront de points de référence pour la mise en station et orientation d'une station totale optique; en effet, la même unité de contrôle et donc la base de données du projet peut être utilisée pour travailler aussitôt après avec une station totale optique ; celle-ci sera placée dans un endroit optimisé en fonction du travail requis – cela peut être de façon à se positionner avec la meilleure géométrie possible en fonction de points de référence précédemment déterminés en GPS pour optimiser le calcul de la mise en station (stationnement libre par exemple sur quatre points de contrôle ou plus si nécessaire), à rayonner le plus de points, le tout en plaçant l'appareil dans un endroit le moins exposé (circulation, sécurité).

Dans le cas où deux topographes se partagent les tâches de terrain, l'utilisateur du GPS RTK peut transférer des points et autres informations du chantier à son collègue en charge par exemple de travaux d'implantation ou autres levés en mode Optique



Mobile GPS RTK en action

Robotique, directement sur le terrain grâce au système intégré de communications sans fil Bluetooth.

■ **CAS N°2 : terrain non couvert par une infrastructure réseau et RTK requis : nous sommes dans le cas habituel où la Base est nécessaire avec transmission des corrections via système de communication tel que radio, GSM/GPRS.**

Exemple 1 : en fonction Base, un récepteur GPS RTK avec radio interne est fixé sur un trépied (à noter que cette Base peut devenir Mobile dès lors que le géomètre se retrouve dans une zone couverte par le réseau). En fonction Mobile, un récepteur GPS RTK fixé sur une canne capte les corrections RTK transmises par la radio.

Exemple 2 : Le géomètre ne souhaite pas installer un récepteur GPS en fonction Base, il choisit de recevoir les corrections en provenance d'une station permanente qui émet elle-même en radio et/ou GSM/GPRS ; il opère avec son Mobile recevant les corrections RTK transmises via radio et/ou GSM/GPRS via son téléphone cellulaire.

■ **CAS N°3 : terrain non couvert par une infrastructure réseau et RTK non requis :**

Le géomètre exécutera des calculs de post-traitement au bureau en bénéficiant des données enregistrées par les stations permanentes (téléchargement via Internet, par exemple sur le RGP de l'IGN).



Sur le terrain, en temps réel, communications de données entre "l'opérateur GPS" et "l'opérateur Station Robotique", sans fil, via Bluetooth intégré dans l'interface TCU.

Toutes les fonctions, quelles soient GPS ou optiques, sont manipulées par la même interface de commande, et toutes les données sont intégrées de façon cohérente dans un seul fichier, celui du chantier en cours. Ceci signifie simplement un contrôleur, un logiciel, une interface et un fichier de travail. Il suffit de détacher le contrôleur du GPS, puis de le fixer sur la station totale ou sur le support robotique, en restant fidèle aux attentes des utilisateurs en terme d'exigences de performance, fiabilité, compacité, légèreté, autonomie, facilité et rapidité de mise en œuvre, le tout favorisant la mobilité et permettant d'accroître leur productivité.

Les possibilités de connexion à Internet offertes par le système d'exploitation Windows CE présentent plusieurs avantages de premier ordre sur le terrain. Les topographes sont d'abord en mesure de transmettre des données au bureau par la messagerie électronique aux fins de contrôles de qualité étendus, d'où une meilleure assurance de la qualité et une réduction des besoins en reprises éventuelles. Les géomètres peuvent ensuite accéder à des fichiers sur le site Internet de leur entreprise - par exemple des points d'appui, des fichiers de géoïde, des cartes d'arrière-plan ou des codes d'identification - réduisant ainsi les temps d'immobilisation. Et enfin, des équipes évoluant sur des sites différents sont désormais en état de communiquer entre elles.

Le développement des logiciels de bureau a également eu pour objectif de rendre les systèmes topographiques plus faciles d'emploi en simplifiant les flux de données entre les systèmes de terrain et de bureau.

L'ensemble des technologies converge vers une intégration de plus en plus poussée des systèmes permettant à toutes les parties prenantes d'un même projet d'accéder en temps réel aux données relatives à leur domaine de compétence. Une occasion unique se profile par conséquent pour les topographes pour peu qu'ils veuillent bien assumer la gestion des flux de données des projets, de leur conception à leur réalisation. ●

Contact

Jean-François CABANEL

Trimble France SAS, Engineering & Construction Group
32 rue de la Fontaine du Vaisseau, 94120 Fontenay-sous-Bois
tél : 01 7134 3173, fax : 01 7134 3199
Courriel : jean-francois_cabanel@trimble.com

ABSTRACT

This article sums up all the recent technological improvements achieved with Optical Total Stations, GPS, computerized data processing systems, enhanced communications systems all together that allow gains of productivity, higher data accuracy, improved quality control, simplified use and increased security. The article underlines the fact that the sensors and other components that used to be separated are now interacting in order to offer a full surveying solution.