

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

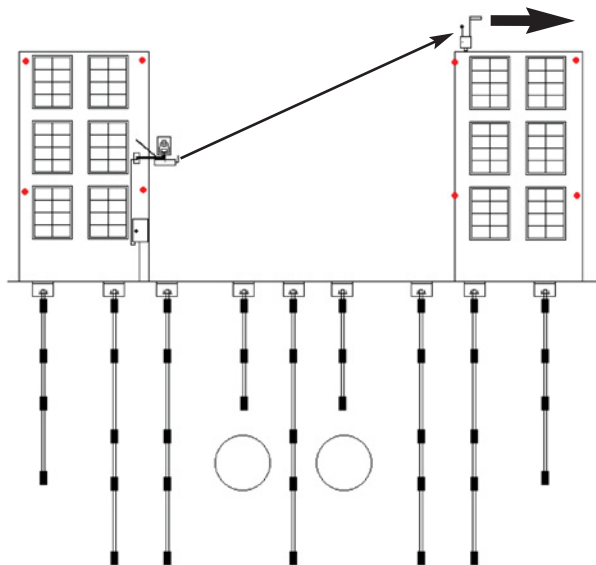


Figure 2 : un secteur instrumenté. En rouge, la position des prismes ; les flèches correspondent aux transmissions radio.

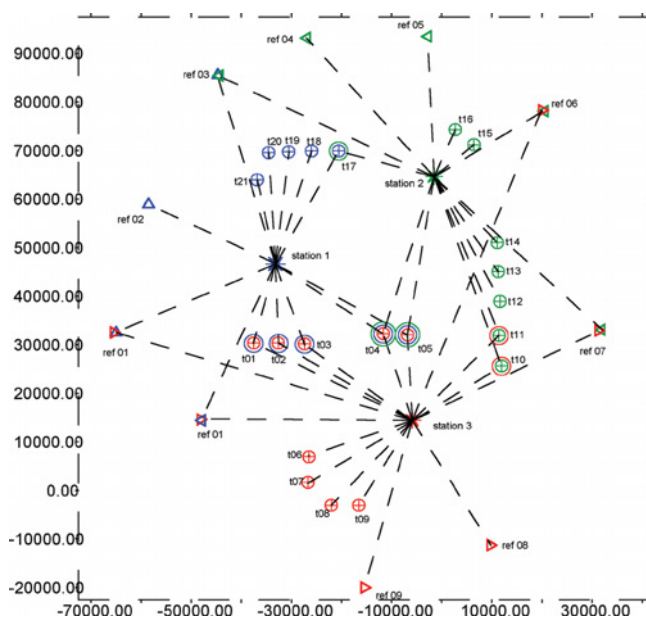


Figure 3 : schéma de principe d'un groupe.

- ◀▶ ◀▶ ◀▶ 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 fait 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 fournit 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 exclus 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

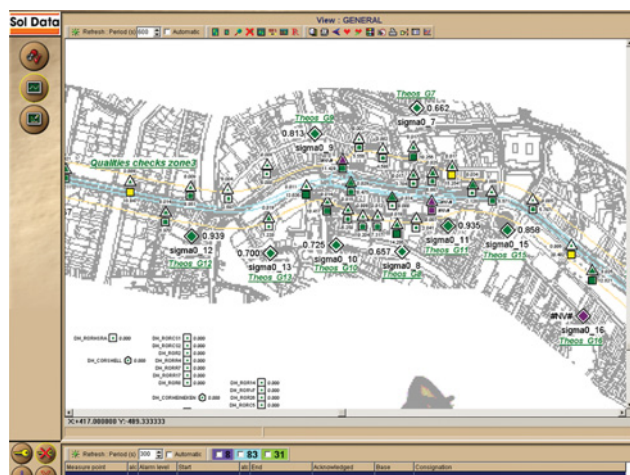


Figure 4 : extrait d'un écran Geoscope Web.

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 tomopetric 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.