

**cachan
estp**

**XXème
colloque
A.F.T.**

nov. 96



applications de la topographie moderne aux travaux publics

**surveillance
de
sites
et
édifices**

**par
théodolites
robotisés**

Daniel Schelstraete - IGN. Métrologie géodésique.

Introduction

Afin de mieux répondre aux attentes techniques et sécuritaires dans les surveillances géométriques de sites et ouvrages à court terme, l'IGN a intégré depuis 1994 des vidéothéodolites motorisés de très haute précision dans ses outils d'interventions.

Ces instruments se développent actuellement dans de très larges domaines de la topographie mais nous limitons dans cet article au domaine du contrôle topométrique de sites et ouvrages.

Dans ce domaine, les vidéothéodolites (ou toute station automatique de précision suffisante) complètent les résultats traditionnels avec des mesures polaires répétitives traitées en fonction du temps par un logiciel adapté. Cela permet de réaliser des modèles réels de comportements géométriques des ouvrages en fonction de paramètres d'environnement souhaités et d'enrichir notablement les données servant aux diagnostics sur l'état et l'évolution des ouvrages.

Le présent article décrit brièvement les deux systèmes pilotes actuels avec leurs possibilités respectives et deux exemples typiques parmi les réalisations déjà effectuées.



Apports du vidéo théodolite robotisé dans les contrôles

Cet instrument fournit un jeu de coordonnées par cycle, global, et immédiatement disponible.

Il permet de quantifier globalement les déformations de sites et édifices au cours du temps par l'analyse des mesures répétitives de grande résolution, et d'envisager leurs contrôles avec un regard nouveau, par rapport aux contrôles topométriques traditionnels tels que le nivellement de précision, et les mesures XYh trigonométriques, et par rapport aux mesures par capteurs, très précises et continues mais ponctuelles.

Les mesures topométriques traditionnelles sont bruitées par des déformations naturelles des éléments mesurés pouvant atteindre plusieurs centimètres sur 100 m pendant les mesures et sur le long terme et peuvent donner lieu à des interprétations erronées si elles sont interprétées au premier degré, comme le reflet de l'évolution continue d'objets « statiques ».

— Les sols sont soumis en particulier aux fluctuations des nappes phréatiques, aux sécheresses et à des impacts tels que la circulation de véhicules lourds.

— Les structures sont soumises aux effets météo : thermique, vent, pluie, soleil et à l'effet des personnes, matériels et véhicules.

Sur certains ouvrages, ces effets sont traités par capteurs tels qu'inclinomètres, etc... Ils ont l'avantage de très grandes résolutions et fréquences mais, étant ponctuels, ils ne peuvent pas totalement déterminer l'évolution géométrique globale d'un édifice. Dans ce cas, le vidéo théodolite permet de compléter les données par une vue d'ensemble très fiable même si chaque détermination est moins précise que par capteur.

Sur les sites non équipés de capteurs, les diagnostics à partir des mesures topométriques traditionnelles ne sont en général possibles qu'après plusieurs années avec une répétitivité suffisante. Le vidéo théodolite permet de réaliser un modèle de comportement sur quelques heures ou jours, et un recalage des résultats antérieurs.

Sur le plan pratique, un site peut être équipé très rapidement et sans câbles. Les mesures sont rapidement exploitables à court terme. Un système d'alertes peut être associé avec un logiciel adapté via des outils de communication.

Mise en œuvre

Son principe avec le système automatique sur site, la communication et le poste de suivi au bureau est expliqué par le schéma suivant.

Les instruments

Les caractéristiques des deux instruments pilotes actuels sont les suivantes :

	TM3000VD	TCA1800
	<i>haute précision, longues distances</i>	<i>simplicité, souplesse, prix</i>
Réflecteurs	prismes	prismes
Visées d'apprentissage } Points voisins	via moniteur	directes
Sigma angles	0,2 m/100 m	0,5 m/100 m
Sigma distances	1,5 dmgr	3 dmgr
Portée	0,3 mm/100 m	0,6 mm/100 m
Configuration	plusieurs km	1 km
Radio	lourde	simple
Prix d'un système	via ordinateur	directe
	600 Kf	250 Kf

Les logiciels

Ces instruments sont pilotés selon les protocoles Leica et bénéficient des logiciels Leica suivants :

.AUTOSURV :

Simple et pratique pour des applications locales, il permet gestion des mesures, recalages en orientation, mise à l'échelle, mais reste limité à long terme et sur les sites importants en considérant la station et les références comme stables.

.APSWIN :

Plus sophistiqué, il prend en compte des mouvements de références et de la station pour chaque cycle (linéaire, Helmert, ppm), possède des fonctions de comparaisons de données entre cycles et gère les observations avec 4 modules articulés sur une base de données :

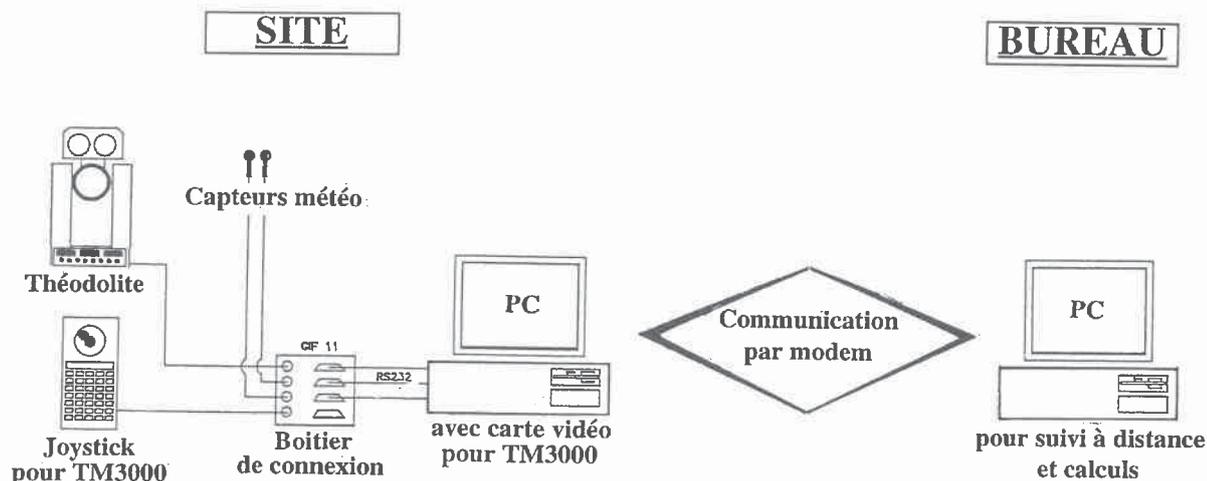
« MAIN » : gestion d'un chantier, traitements

« HARDWARE » : équipements

« LEARN » : initialisation des mesures

« AUTORUN » : pilotage automatique.

Selon les applications, les données issues de ces logiciels sont retraitées par des logiciels de calculs géométriques, visualisation et gestion éventuelle d'alertes automatiques. L'IGN a été amené à développer des outils d'exploitations dont certains peuvent être activés automatiquement à la fin de chaque cycle par une fonction des logiciels Leica.



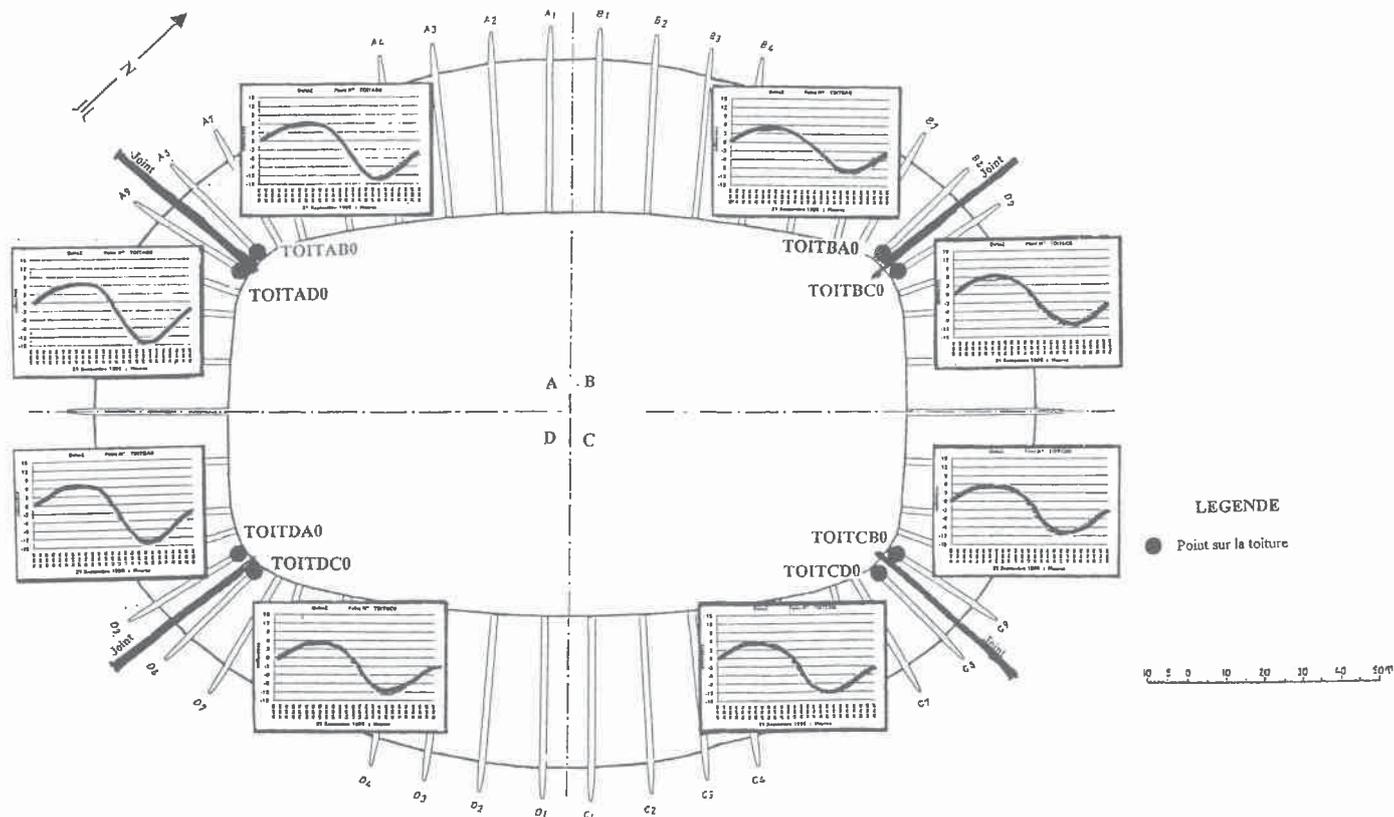
DEUX EXEMPLES DE MISE EN ŒUVRE

Les deux exemples sélectionnés non limitatifs représentent des applications typiques. Le premier est l'intégration des données cinématiques ponctuelles provenant d'un vidéo théodolite pour le suivi régulier d'un édifice, dans un but principalement technique. Le second correspond à un suivi continu sécuritaire et technique d'un site.

PARC DES PRINCES À PARIS

Le Leica TM3000VD a été retenu de 1994 à 1996 pour réaliser l'étude du comportement global de la coque naturellement et durant un match, dans le cadre des contrôles systématiques de l'ouvrage et de la réhabilitation de l'édifice pour la coupe du Monde 1998. La première intervention de 1994, menée avec des participation de la mairie de Paris, de l'IGN et de Leica France, a également permis de comparer les données par GPS, inclinomètre et vidéo théodolite.

Les interventions de 1995 et 1996 répondaient à des demandes spécifiques des bureaux de contrôle.



Déplacement journalier des points en Z. Le 21 septembre 1995

1994 : Étude globale et tests méthodologiques

Le comportement de la coque selon thermique, spectateurs, et la comparaison GPS, inclinomètre, vidéo théodolite a représenté en 72 heures, 10 000 mesures au vidéo théodolite sur 20 points, 6 000 mesures inclinométriques sur 1 point, et 600 heures de mesures GPS sur 6 points, et permis la réalisation des études comparatives puis l'édition de résultats graphiques inaccessibles par méthodes traditionnelles.

L'expérience a permis de quantifier les déformations de la structure par rapport aux températures avec un

écart-type de $\pm 0,5$ mm, et d'estimer la complémentarité des différents moyens testés.

L'inclinomètre a servi de référence dans les mesures relatives et a enregistré l'impact des spectateurs grâce à son extrême sensibilité.

Le vidéo théodolite a fourni les informations générales sur le comportement de la structure grâce à sa précision et un nombre de prismes suffisants pouvant être répartis sur celle-ci.

Le GPS ayant quantifié les positions limites était trop peu précis pour déceler les mouvements fins. Cette expérience a cependant permis de l'évaluer pour d'autres types d'applications.

1995-96 : Études spécifiques

À la suite de la campagne précédente, des études complémentaires ont été menées par le seul vidéo théodolite, en particulier pour l'étude des mécanismes au niveau des joints de dilatation (exemple) et en différents points particuliers de l'édifice.

Commentaires

Ces campagnes courtes ont fourni des résultats parfaitement adaptés pour les études de déformations et jusqu'à présent inaccessibles dans des conditions raisonnables par les autres méthodes. En revanche, les méthodes traditionnelles sont restées indispensables pour les contrôles à long terme et le calage absolu des mesures relatives.

Pour le gestionnaire l'intérêt réside dans la disponibilité de résultats beaucoup plus riches d'enseignements pour des budgets de surveillance globaux identiques ou inférieurs à terme.

STATION D'ÉPURATION DE COLOMBES

Ce chantier de construction d'une station d'épuration à Colombes, relativement technique, est réalisé en bordure de Seine dans un trou de 100 × 250 m environ et 15 m de profondeur, cerné par une paroi moulée, et comprenant jusqu'à 500 ouvriers.

Un TM3000VD a été mis en place en continu fin 1995 24h/24 et 7j/7 pour des besoins de diagnostic et de sécurité, du fait de particularités dues à cette paroi moulée. Ce système a ensuite évolué et a été pérennisé pour la phrase chantier, parmi les procédures de suivi des interventions sur la paroi moulée, et sécuritaires du chantier.

Une évolution permanente a été réalisée du fait de l'avancement du chantier et de l'apparition de masques, avec introduction d'un second instrument et des déplacements tour à tour des stations ou de points de contrôles.

L'écart-type d'une mesure isolée varie de 0,2 à 1,0 mm, fonction de l'éloignement des prismes de 20 à 300 m. Les résultats réels en fonction du temps sont plus précis à court terme du fait de la répétitivité et restent d'ordre millimétrique sur le long terme. Ils ne sont plus le fait des mesures mais de la stabilité réelle de l'ensemble des points d'appui du site et de la capacité à en tenir compte avec les programmes de calculs.

Caractéristiques principales :

- Contrôle horaire 24h/24, 7j/7, des parois moulées et des berges de la Seine
- 1 puis 2 théodolites Leica TM3000VD pour 40 à 50 points depuis octobre 1995
- Logiciels de pilotage et calculs Leica APSWIN
- Systèmes d'exploitation et d'alerte automatique développés à l'IGN
- Résultats bruts disponibles dès la fin de chaque cycle
- Pilotage et traitements par modems à partir des bureaux IGN
- Alertes et fax automatiques pouvant être activés
- Rapports de synthèse hebdomadaires et mensuels

Commentaires

Les mesures continues de haute précision ont permis de maintenir l'avancement du chantier, en apportant une

connaissance sur la stabilité des parois et leur comportement face aux variations de températures. Ceci était possible du fait de la finesse des mesures, confirmée par la cohérence des résultats sur des parois perpendiculaires et opposées, et la mise en place d'auto contrôles.

Elle s'est révélée d'une bonne souplesse d'évolution du fait que seule la station nécessite des branchements électriques et téléphoniques.

Ce type d'intervention correspond à un service comprenant ses aspects techniques et sécuritaires.

Bravo aux deux TM3000VD de Leica qui sont exposés aux intempéries, (avec une simple protection contre la pluie), sans aucune panne depuis leur mise en place.

Une comparaison sur ce chantier entre TM3000VD et TCA1800 à également montré les qualités de ce dernier, plus simple et adapté à de nombreuses applications de contrôles, mais le premier, extrêmement précis, restera la référence pour les diagnostics fins.

Sur le plan économique, le coût de telles prestations avec des équipes topo traditionnelles les moins chères n'est même pas envisageable.

CONCLUSION

Les théodolites robotisés ouvrent, pour des prix compétitifs par rapport aux solutions alternatives, de larges perspectives aussi bien dans les domaines de construction, de contrôles, et l'industrie :

- entre les positionnements de type GPS et les données des capteurs ponctuels
- seuls ou en complément de capteurs divers
- en déterminant des modèles de comportement réels
- par leur souplesse de mise en œuvre.

Ils apportent les éléments suivants aux destinataires des résultats :

- Connaissance des déformations, globalement et précisément
- Réponse à l'automatisation des méthodes
- Raccourcissement des délais de diagnostic

Aujourd'hui, l'intérêt pour ces instruments est là et les prochaines années seront certainement celles de leur démocratisation, tant pour les applications courantes que précises.

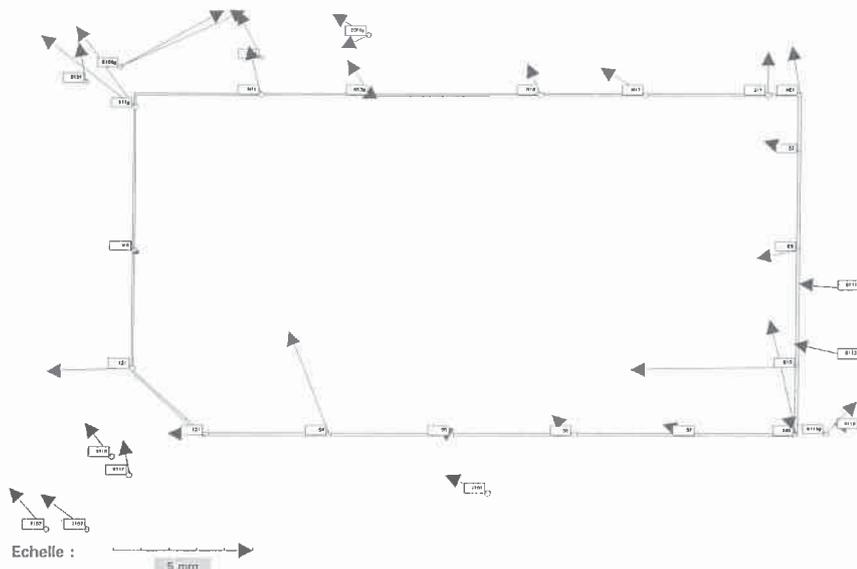


Schéma des déplacements absolus. Depuis le 27/03/1996