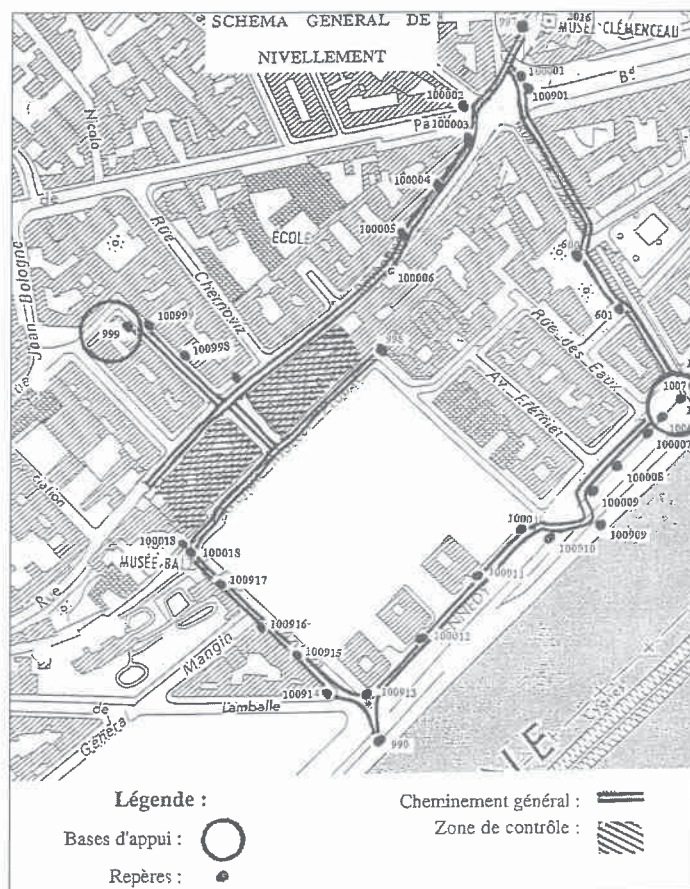


# niveaux motorisés pour un confortement d'immeuble parisien

Daniel Schelstraete  
IGN – Métrologie géodésique



## INTRODUCTION

Les exigences des donneurs d'ordre sur les gros chantiers paraissent s'accroître au même rythme que l'amélioration des performances des systèmes de mesures topométriques. Les responsables de projet prenant conscience que l'on pouvait aller toujours plus avant nous mettent, parfois sans le savoir, au défi de les pousser à l'extrême, aussi bien en précision qu'en rapidité et automatismes. En ce sens, ils contribuent à des améliorations dès lors que l'on joue le jeu, tout en restant prudents.

Les lecteurs réguliers de XYZ ont trouvé dans les numéros récents plusieurs articles abordant ces techniques nouvelles dont certaines font appel à des théodolites et niveaux robotisés. L'exemple présenté aujourd'hui reste dans cette ligne. Il concerne un immeuble parisien ancien déstabilisé dans un glissement de terrain et dont les fondations ont été totalement confortées par micro pieux avec des contraintes draconiennes de stabilité, sous une surveillance permanente par deux niveaux robotisés. La configuration du site, les conditions de travail, et le budget dégagé pour cette opération ont imposé les choix techniques qui par certains aspects, étaient en limite des possibilités du système mis en œuvre.

## LE CHANTIER

Du fait de l'apparition d'un début de glissement de terrain touchant un immeuble d'habitations situé à flanc de coteaux en rive nord de la Seine, une surveillance périodique de la stabilité du site avait été confiée à l'IGN depuis plusieurs années. Un suivi altimétrique global très fin de l'immeuble s'avérait nécessaire durant 8 mois en 1997 lors de travaux de confortement des fondations par micro pieux.

Le cahier des charges était particulièrement contraignant pour l'entreprise du fait que le terrain conservait

une certaine instabilité et que les habitants étaient maintenus chez eux. Les variations altimétriques autorisées devaient rester proches du millimètre entre piliers voisins et ne pas dépasser quelques millimètres en absolu. Le suivi devait être continu pour détecter le déclenchement éventuel d'un tassement ou mouvement de terrain durant les périodes actives des travaux.

L'immeuble en béton orienté est-ouest couvrait une surface de 100 m x 40 m environ et reposait sur 110 piliers et les murs extérieurs pour une dénivelée de 10 m environ entre les façades dans le sens de la largeur.

Géologiquement, la partie nord-est de l'immeuble située en haut reposait sur une dalle calcaire réputée stable, tandis que les zones sud et ouest reposaient sur des éléments hétérogènes composés d'éboulis, de remblais et de restes de fondations d'édifices plus anciens. Le glissement de terrain provoquait donc une « ouverture » de l'immeuble à sa base.

Les travaux devaient être réalisés dans les sous-sols constitués de deux parkings réalisés dans le sens de la longueur et couvrant la surface de l'immeuble mais situés à 7 m de dénivelée. Du fait des autorisations d'accès, le suivi altimétrique devait être réalisé dans ces parkings, et la seule liaison verticale n'était possible que par l'intermédiaire du rang de piliers commun.

Les travaux comportaient des phases d'affouillement préalable des zones d'interventions, de réalisation des micros pieux, de liaisonnement des micros pieux avec les structures de l'immeuble et entre les deux niveaux de parkings après affouillement complémentaire du terrain, et de vérinage. Ces phases n'étant pas globales mais réparties afin de minimiser les risques de mouvements de terrain. Le risque de tassement subsistait jusqu'au vérinage.

## LES RÉSEAUX DE SUIVI ALTIMÉTRIQUE

### Suivi du site

Un réseau altimétrique hiérarchisé préexistait du fait de l'existence d'un chantier actuellement en attente, situé en contrebas de l'immeuble.

- Un réseau d'appui ceinturait le site, du bord de Seine au sommet coteau, en se raccrochant à l'est, à un réseau RATP lui-même créé quelques années auparavant pour des problèmes de stabilités.
- Différents sous-réseaux couvraient les zones du chantier et les zones sensibles dont l'immeuble concerné.

La fiabilité était d'ordre millimétrique pour les altitudes absolues estimées à partir des éléments statistiques fournis par les calculs et les analyses de résultats, du fait de l'imprécision des mesures et de l'instabilité des repères liée à l'environnement saisonnier, à la météo, au niveau de la seigne, etc...

Ce réseau dont le schéma est joint, a été utilisé sans modifications de manière périodique pour recalculer les altitudes absolues du sous-réseau local de l'immeuble lors de ses reprises de fondations.

### Suivi de l'immeuble

Le réseau préexistant comprenait 44 repères altimétriques répartis sur les façades et environ le quart des piliers de l'immeuble dans les parkings, les altitudes références étant issues du réseau principal.

Le suivi demandé concernait 110 piliers et les murs. Un nivellement manuel s'avérant rétrograde, il a été décidé de coupler des nivellements traditionnels références pour recalculer les altitudes en absolu, avec un système automatique par parking fournissant les variations relatives d'altitudes.

Pour le nivellement traditionnel, la totalité des piliers a été équipée, et pour le suivi global continu, des solutions avec inclinomètres, niveaux hydrostatiques et théodolites robotisés ont été éliminées pour des raisons de coûts au profit des niveaux motorisés.

Le suivi a été conçu de la manière suivante :

- Les altitudes références sont fournies par le nivellement de précision sur tous les piliers.
- Dans chaque parking, un niveau fixé en hauteur du fait de la présence d'engins, réalise plusieurs fois par jour des lectures sur l'ensemble des piliers visibles avec calcul automatique des variations d'altitudes.

Soit par rapport à la moyenne des lectures pour détecter quels piliers « montent » ou « descendent » par rapport aux autres. Cette méthode s'est avérée la plus appropriée en général pour le parking inférieur comprenant un grand nombre de points sans assises stables a priori.

Soit par rapport à un pilier estimé comme fixe. Cette méthode était plus appropriée pour le parking supérieur comprenant trop peu de points pour générer une moyenne représentative, et pouvait s'appuyer sur l'affaissement calcaire réputé stable.

– Périodiquement, les altitudes devaient être recalculées en absolu par un nivellement de précision traditionnel programmé ou justifié par les variations altimétriques importantes fournies par les systèmes automatiques.

## LE SUIVI AUTOMATIQUE DE L'IMMEUBLE

Pour la description du système, nous renvoyons le lecteur à l'article « Surveillance automatique d'ouvrages au moyen du GéoMonitor et de niveaux digitaux motorisés » paru dans XYZ n° 70 du 1<sup>er</sup> trimestre 1997.

Le choix du niveau s'est porté sur le Zeiss Dini 10 à lunette panoramique qui effectue ses lectures sur des réglets code barre de 0,4 m environ quelle que soit la distance (il aurait fallu des mires allant jusqu'à 1 m pour les instruments concurrents ayant une lunette à champ constant).

De tels réglets n'étant pas disponibles dans le commerce ont été réalisés sur des plaques en aluminium chevillées-collées dans la mesure du possible sur les piliers, ou décalées par l'intermédiaire de potences.

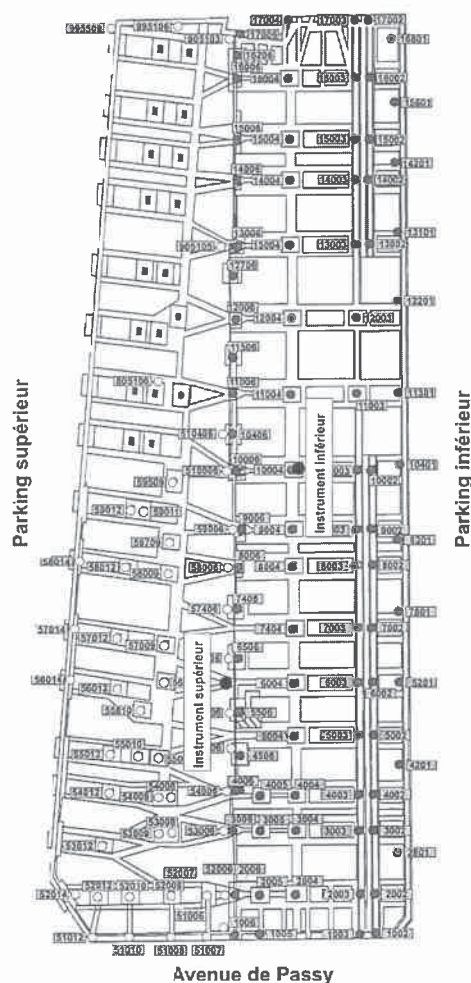




## L'équipement de l'immeuble

- Une cabine mobile située dans le parking inférieur contient l'ordinateur pilote capable de piloter consécutivement les deux niveaux, ainsi que le modem pour les communications et commandes à distances via les télécomm. Elle est munie d'un gyrophare pour alerte sur site en cas de dépassement de seuils spécifiés dans les mouvements relatifs ou absolus.
- Parking inférieur, environ 70 repères répartis en 17 profils sont concernés. Certains sont masqués par des piliers, et d'autres dont le profil commun avec le garage supérieur ont été masqués après installation sans concertation du système par des installations de tuyauteries diverses de diamètres importants. De ce fait, la solution adoptée a été le contrôle automatique et continu de 45 points, et un contrôle manuel des repères complémentaires par nivellement par rapport aux piliers voisins surveillés en continu, aux seules périodes utiles, par une personne du chantier spécialement formée.
- Parking supérieur, 41 piliers étaient concernés dont 30, puis moins de 20 sont restés visibles du fait de la pose de poutres métalliques liaisonnant certains piliers.

SCHEMA D'IMPLANTATION DES REPERES DE NIVELLEMENT



Les mesures étaient articulées comme suit :

- Des nivellements références traditionnels avec une périodicité de 1 à 3 mois.
- Le suivi automatique continu par niveaux motorisés, 1 à 6 fois par jour.
- Le suivi manuel complémentaire en fonction des besoins ponctuels.

L'ensemble des mesures étant traitées puis conservées sous forme informatique à l'IGN.

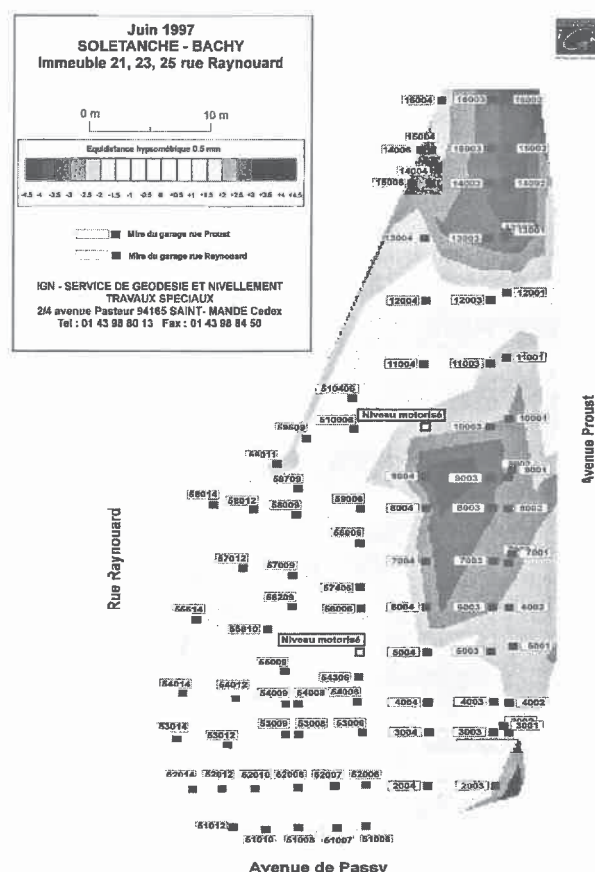
Les résultats comprenaient :

- Par semaine, des graphes globaux regroupant les profils d'évolution des points.
- Par mois, un document de synthèse en teinte hypsométriques.
- En complément, la publication détaillée des profils de points ayant présenté des mouvements inhabituels ou dépassant les seuils.

Le déroulement du chantier

Au cours du chantier, le concept de travail s'est révélé correct et le système efficace. Le niveau s'est révélé particulièrement apte à différencier des mires en enfilade, côte à côte, et le logiciel à gérer les deux niveaux. Des difficultés certaines de mise en œuvre, de par sa nouveauté, et du fait du chantier difficile sont cependant apparues.

Le chantier en sous-sol consistant à la réalisation de micro pieux, avec de nombreux déplacements d'engins dans un environnement souterrain de poussière et boue entraînait des modifications permanentes de l'environnement et de luminosité, avec l'apparition fréquente de masques et des heurts de cibles assimilés à des mouve-



ments parasites. Le nivellement traditionnel lui-même a parfois posé des difficultés en particulier dans le parking supérieur du fait des conditions dans certaines phases de terrassements, ce qui a parfois affecté la précision. De ce fait, et dans la mesure où une imprécision apparaissait au cours du temps, dans son exactitude, certaines altitudes du réseau d'origine, une liaison verticale directe au fil invar a été réalisée pour garantir la précision millimétrique requise entre les deux garages.

Le système lui-même, employé jusqu'à présent dans des environnements relativement propres et avec un nombre de points réduits a dû être adapté à ce chantier plus important. Le logiciel qui positionnait le niveau de points à points avec une désorientation progressive du niveau a été modifié pour travailler en absolu et empêcher une lourdeur de réglage certaine. La modification sur un point affectait tous les suivants. Mécaniquement, le réglage de la netteté de l'image était trop juste pour les points proches du fait d'un pas trop large du moteur pilotant cette fonction.

## LE BILAN

Il concerne le chantier bien sûr mais il est intéressant de faire le point par rapport aux chantiers ayant déjà utilisé cette technique et de juger de son intérêt face aux techniques concurrentes.

Pour le présent chantier, le choix initial découlait directement du ratio coût/précision par rapport aux théodolites motorisés totalement maîtrisés par l'IGN. Seule l'altimétrie était demandée, et la précision millimétrique demandait une résolution proche de 0,1 mm fournie par

les niveaux. Par contre les frais en personnels étaient plus élevés pour les réglages et mises au point. Les théodolites auraient apporté un confort de mise en place et de souplesse par rapport aux évolutions, et les coordonnées auraient pu déclencher un intérêt pour les destinataires des mesures. Par contre, le nombre de points observables serait resté identique, et couplé avec des mesures manuelles ponctuelles pour les piliers masqués.

Le concept général de suivi continu calé sur des opérations références périodiques n'est pas lié aux instruments et aurait dû être conservé.

Niveaux comme théodolites restent les seules techniques qui permettent d'appréhender avec confiance la globalité d'un tel chantier par rapport au nivellement hydrostatique ou inclinomètres, de coût inabordable à notre connaissance pour environ 150 points de mesures. Bien géré, le remplacement des nivellements manuels ponctuels pourrait être envisagé avec prudence par des inclinomètres.

En regard des autres chantiers réalisés à Zurich et Berlin avec les mêmes instruments, nous proposons le tableau joint qui permet de cerner les caractéristiques de choix pour les niveaux motorisés.

- Z précis à courtes distances, de l'ordre de 30 m et 40 m maximum.
- 25 points maximum par niveau du fait de la lourdeur de mise en œuvre actuelle.
- La motorisation ajoutée sur des instruments standards, reste imparfaite.
- Le Software parfois rustique est néanmoins efficace.

## ANALYSE DE CHANTIERS

LIEU	NATURE	NIVEAUX	MIRES	AUTRES	TASSEMENTS (mm)	PRECISION (mm)
<b>Chantier n°1 (SOLEXPERTS)</b>						
<b>ZURICH</b> 1995	<b>Excavation</b> Bezirksgebäude	<b>1</b> NA3000	<b>10</b>	<b>non</b>	<b>1</b>	<b>0,1</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>. Plus avantageux que lasers tournants ou niveau hydrostatique (pour ce cas)</li> <li>. Précision de l'ordre de 0,1 mm avec plusieurs pointés</li> <li>. Mires de 0,3 à 1 m selon distances</li> </ul>						
<b>Chantier n°2 (SOLEXPERTS)</b>						
<b>BERLIN</b> 1996	<b>RER</b> Postdam	<b>3</b> Dini 10	<b>41</b>	<b>oui</b> inclinomètre	<b>60</b>	<b>0,1 à 0,5</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>. Exactitude fonction de la distance</li> <li>. Le dérèglement étant non constant, correction par mires ± lointaines</li> <li>. Cette surveillance ne supplante pas les mesures traditionnelles</li> </ul>						
<b>Chantier n°3 (IGN - SOLEXPERTS)</b>						
<b>PARIS</b> 1997	<b>Immeuble</b> Raynouard	<b>2</b> Dini 10	<b>80</b>	<b>non</b>	<b>4</b>	<b>0,3 à 1</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>. Chantier instable : 400 micropieux pour fondations</li> <li>. Choix du niveau pour faible coût et Z seul</li> <li>. Conditions très dures : poussière, chaleur, jets de boue</li> <li>. 47 points pour un niveau est actuellement une limite mécanique</li> </ul>						