

canevas géodésiques

pour les nouvelles
infrastructures
dans le centre de
Berlin

Andreas Blume – responsable topographie, zone VZB (GAUFF-ingénieur
Helmut Gehring – service topographique de Berlin – chef de projet
klaus Ludwig – service topographique de Berlin – Deusch Bahn – AG
Joachim Merkel – coordinateur des travaux géodésiques – Emch+ Berger GmbH

Berlin ayant vocation future de siège du parlement et du gouvernement allemand, d'espace économique au centre de l'Europe et de métropole internationale, il s'ensuit le développement du réseau ferré de longue et de courte distance. Après la chute du Mur, on vise à relier le réseau ferré interrompu depuis des décennies, à l'étendre et à l'adapter aux exigences spécifiques du nouveau millénaire (fig. 1) comprend tant la remise en état des anciennes voies ferrées berlinoises, que le tracé nord-sud dans son centre, projet déjà esquissé il y a 80 ans.

Pour l'essentiel, le "concept du champignon" se dessine à partir de trois sections du réseau grandes lignes intra-urbain :

- Le Nördlicher Berliner Innenring (boucle interne septentrionale) représente le chapeau du champignon
- La Stadtbahn (chemin de fer métropolitain) en figure le rebord, et
- La desserte nord-sud en est le pied.



Fig. 1

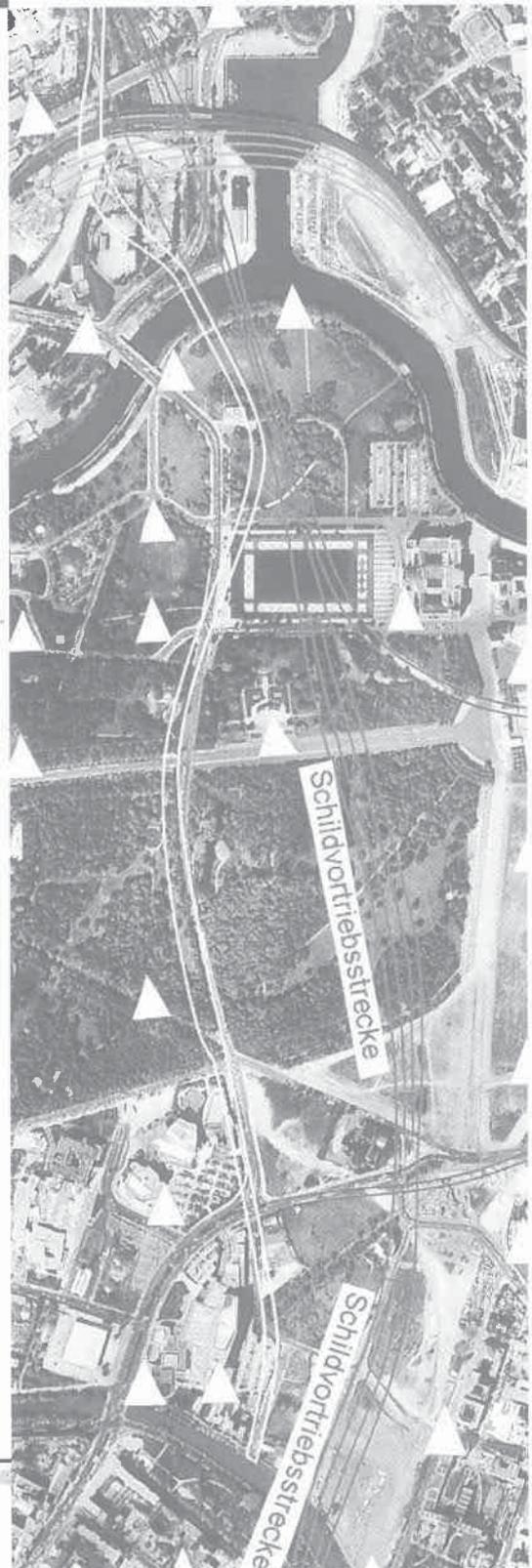


Fig. 2

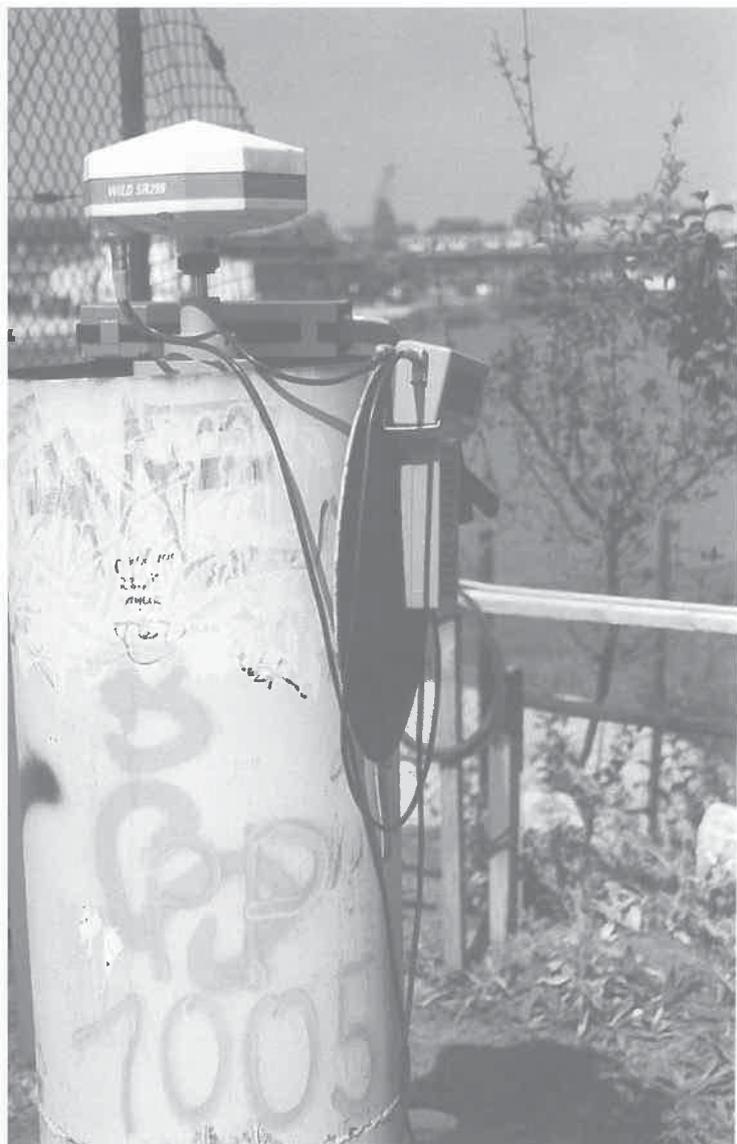


Fig. 3

Le tracé du champignon correspond dans une large mesure aux lignes existantes de « Hamburg », « Lehrte » « Dresden » et « Anhalt », supprimées suite à la seconde guerre mondiale et à la réduction de l'exploitation ferroviaire. Ces voies n'ayant été ni vendues ni utilisées à d'autres fins, on a pu faire l'économie d'une coûteuse procédure d'autorisation de réfection, la législation ferroviaire n'y voyant en somme qu'une réactivation d'installations au repos.

20 milliards de DM ont été attribués au financement du concept du champignon, l'objectif étant de satisfaire au futur flux annuel de 50 millions de voyageurs sur longue distance, et 85 millions sur lignes régionales ou de courte distance (prévisions pour l'année 2010).

Grâce à la réalisation de ce nœud de communication ferroviaire, les voyageurs de l'espace suburbain accèdent directement au cœur de la ville avec son siège du gouvernement et du parlement, au centre commercial et tertiaire du Potsdamer Platz, aux musées et bibliothèques du Kulturforum dans le centre historique de Berlin.

LE PROJET VZB

VZB : Verkehrsanlagen im Zentralen Bereich Berlin = réseau de communication dans l'espace central de Berlin (N.D.L.R.).

Dans le cadre du projet VZB (fig. 2) seront réalisés :
La grande ligne nord-sud, à quatre voies ;

Le tunnel pour la route de décongestionnement B96 sous le Tiergarten ;

La U5, ligne de métro Brandenburger Tor – Döberitzer Strasse, en passant par le Spreebogen et le Lehrter Bahnhof, et l'anticipation sur les travaux de construction de la ligne de métro U3 dans le secteur Potsdamer Platz et Kulturforum.

La pièce maîtresse de la liaison ferroviaire nord-sud longue de 9 km environ, est un segment de tunnel de 3,5 km. L'entrée du tunnel se situe au nord du Lehrter Bahnhof, gare urbaine promise à un avenir de nœud de communication majeur de Berlin : elle accueillera 2 voies croisées du ICE (Inter-City-Express) ; la ligne aérienne de la Stadtbahn (train métropolitain) ; la grande ligne ferroviaire souterraine nord-sud ; la ligne de métro US ; la ligne 521 de la Stadtbahn ; et le futur train magnétique à grande vitesse.

Entre l'entrée nord et le Reichstag, la construction du tunnel pour la ligne "longue distance" est aérienne, alors que pour les segments sous le Tiergarten et le sud du Potsdamer Platz a été adoptée la technique minière du creusement par propulsion.

Une contrainte qui fait loi à toute construction dans Berlin, est le ménagement de cette nécessité écologique qu'est la nappe phréatique, dont la surveillance est assurée par un système de management expressément créé à cette fin.

L'obligation de conformer les travaux aux dernières données scientifiques et technologiques en matière de construction aérienne ou souterraine, est une condition sine qua non au permis de construire ces ouvrages destinés au transport et à la communication.

Quand le mode de construction est aérien comme pour le segment de tunnel allant du Lehrter Bahnhof jusqu'au Reichstag et au Potsdamer Platz, on dresse dans le sol des murs à cannelures assurés par des ancrs à jet, faisant fonction de coffrage et de soutènement de la tranchée. Puis on creuse la fouille de construction jusqu'à la profondeur voulue. Grâce à des ancrs à poussée verticale et à une dalle de béton sous l'eau cette fouille est maintenue au sol malgré la poussée de la nappe phréatique. L'ouvrage des tunnels y est exécuté après pompage de l'eau.

Une forme particulière de construction aérienne est la méthode du caisson, procédé permettant d'opérer à ciel ouvert : au sud du Landwehrkanal, dans le secteur du Gleisdreieck, on érige 6 caissons au total. Sous chacun d'entre eux se trouve une chambre d'ouvrage dont la protection contre les infiltrations d'eau de la nappe phréatique est assurée par pression d'air à 2,3 bars maximum. Dans cette chambre, la terre est descellée par injection d'eau et immédiatement évacuée par pompage. Ainsi par son poids propre et par l'affouillement de la chambre d'ouvrage le caisson s'enfonce jusqu'à 1m par jour.

Dans le cas du mode de construction souterrain (Reichstag – Potsdamer Platz – Gleisdreieck), le tube du tunnel est creusé par un propulseur à bouclier, aussitôt habillé d'éléments préfabriqués en béton, si bien que l'achèvement du gros œuvre accompagne la marche du propulseur.

L'acheminement des matériaux vers les chantiers du centre et l'enlèvement des déblais – 30 millions de tonnes au total –, assurés en grande partie par voie ferrée et par voie navigable, sont organisés par deux centres logistiques, d'où rayonne vers les chantiers un réseau de routes et de tapis roulants, quasi en marge de la circulation publique.

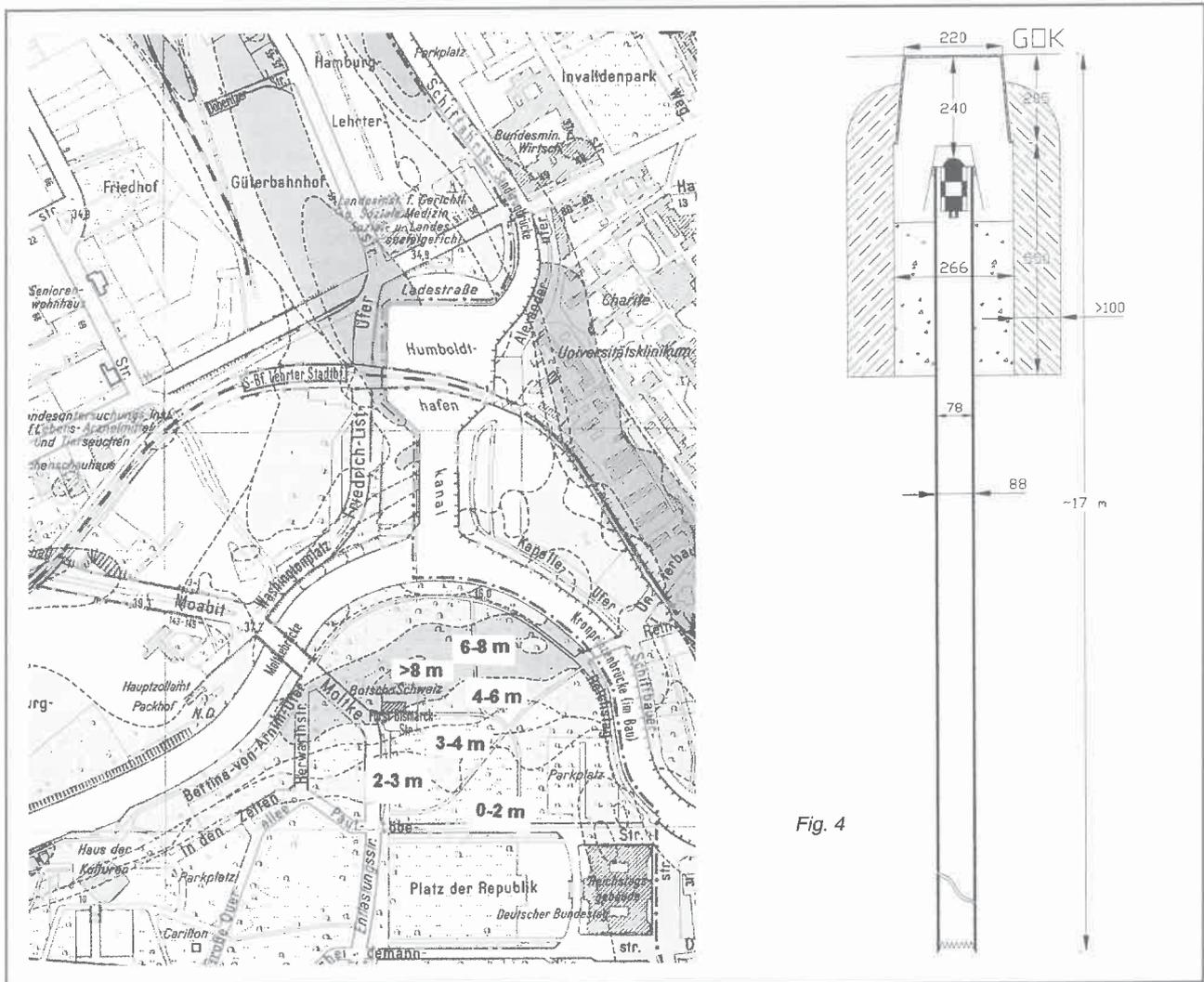


Fig. 4

Parallèlement à l'édification du réseau de communication s'élèvent les nouveaux bâtiments du gouvernement fédéral dans l'espace géographique du Spreebogen et naissent les complexes de différents grands investisseurs au Potsdamer Platz.

La multitude d'actes légiférants, nés au cours du déroulement du chantier et subordonnés les uns aux autres, appelle une coordination du management en matière de construction. Un gage absolu de la bonne marche du chantier est l'utilisation de bases géodésiques identiques.

La suite développe la contribution de la topographie au grand chantier du centre de Berlin.

LE RÉSEAU DES POINTS DE CANEVAS PLANIMÉTRIQUES DU VZB

En 1993, les mandataires principaux : la « Deutsche Bahn » et le Sénat demandèrent la mise en place d'un réseau de points de canevas planimétriques en rapport avec les chantiers des installations de transport. Selon des considérations conceptionnelles, une importante partie des points de canevas existants pour le Sénat berlinois fut utilisée. Il s'agit de points placés 15 cm sous un garde-fou (Geländeoberkante) en tuyau d'acier et marqué dans le béton, protégés au niveau du sol par une caisse de protection.

Pour satisfaire à la demande d'un réseau proche des chantiers, d'autres points ont dû être mis en place, ceux-

ci se trouvant à proximité directe des chantiers futurs. Ces nouveaux points furent en partie matérialisés par des poteaux plantés six mètres sous terre et 1,4 m au-dessus du garde-fou. Les poteaux sont protégés contre le retournement par un manteau métallique et un remplissage de sable, et ils ont une installation permettant le centrage forcé avec une capuche de protection fermant à clef.

Les points du réseau devaient être proches des lignes en construction, mais suffisamment éloignés pour ne pas être influencés par des mouvements du sol, facilement accessibles et avoir un horizon dégagé pour la réception GPS.

Le réseau de points a été calculé dans le système de coordonnées officiel du « Land Berlin » compte tenu de l'imbrication du projet VZB dans la politique générale de construction berlinoise. Limitée par les multiples travaux topographiques sur les chantiers de Génie Civil, l'exigence en précision du réseau de points du VZB fut limitée à une erreur moyenne planimétrique de ± 5 mm.

La conception du réseau de points fut fixée par une distance moyenne entre points de 250 m sur une étendue de 2×10 km. Du fait de la distance relativement importante entre points et de la configuration du centre ville (densité de construction, circulation, couverture...), qui rendent les visées réciproques difficilement réalisables, le réseau de points fut en majorité déterminé par voie GPS. La mise en œuvre de cette méthode fut aussi pour les maîtres d'œuvre une condition d'utilisation raisonnable du

réseau VZB et est prise en considération dans le dossier d'appel d'offres à travers une formulation adéquate.

Un autre critère de sélection des emplacements pour les points du réseau fut la difficile situation du sol à Berlin. Avec le secours de cartes des sols et de cartes géologiques on a pu délimiter les superficies qui étaient probablement touchées au niveau du sol par les répercussions des chantiers et paraissaient impropres à la mise en place des points de canevas.

Ainsi du fait de toutes ces contraintes, le réseau fut constitué de 60 points. Des calculs de simulation et des tests des différentes configurations du réseau, dans lesquels la répartition et le nombre de points; l'époque, la stratégie et la méthode des mesures GPS, ainsi que l'apport de mesures redondantes par tachéométrie furent mis en tant que paramètres variables, conduisirent à un choix justifié du mode de réalisation des bases géodésiques.

Après la validation par une expertise indépendante, réalisée par des spécialistes scientifiques de l'Université technique de Berlin, des configurations du réseau précédemment simulées, le projet pu être transposé. Pour le terrain, cinq récepteurs GPS Leica System 200 et un tachéomètre électronique Leica TC 2002 furent utilisés. Les observations GPS furent réalisées en mode statique, et les mesures tachéométriques en centrage forcé sur des points sensibles du réseau GPS pour la stabilité de l'ensemble.

Dans le cadre d'une comparaison, les points intégrés du réseau de premier ordre du « Land Berlin » (ÜL), les observations GPS et les mesures de polygones furent testés séparément et en combinaison du point de vue de la qualité et différents modèles de transposition dans le système de coordonnées propre au « Land » furent essayés. De par le calcul par les moindres carrés et la prise en compte d'inconnues relatives aux coefficients d'échelle et aux rotations, de même qu'un facteur d'échelle pour les mesures de distances, une transformation optimale du réseau géodésique vers le réseau officiel put être atteinte avec une erreur moyenne (emq) en planimétrie de $\pm 3,4$ mm. Les valeurs des paramètres de transformation du réseau VZB vers les coordonnées officielles au niveau des points identiques « ÜL » sont insignifiantes. Grâce à l'utilisation de coordonnées VZB, contrairement au système VZB, les précisions de détermination et de proximité sont définies séparément. L'utilisation de ces coordonnées est exclusivement mise au point pour le projet d'installations de transport dans la zone centrale de Berlin, et est contrôlée pour leur diffusion par un coordinateur topographique. La surveillance et l'actualisation du réseau de points de canevas planimétrique VZB est sauvegardée sur une minute bien définie dépendant des maîtres d'ouvrage.

LE CANEVAS ALTIMÉTRIQUE DU VZB

Alors que les conditions et les exigences liées au canevas planimétrique dans la zone centrale conduisirent à la réalisation d'un réseau géodésique indépendant, dans le cas du canevas altimétrique, des optimisations furent nécessaires. La densité déjà présente de points avec des distances de 100 à 200 m, paraissait absolument suffisante et, au contraire du réseau planimétrique, seuls de faibles corrections de précision (compensations) étaient à réaliser. Cela était aussi dû à l'existence d'un canevas altimétrique homogène dans les deux moitiés de la ville résultant d'une campagne de mesures et de calculs sur l'ensemble de Berlin en 1950 et 1951. Le niveau

« Normalnull » des altitudes normales orthométriques toujours inchangé du système de 1912 fut utilisé à cette époque par rattachement à 9 points de canevas altimétriques antérieurs de l'administration de l'empire pour le levé réalisé sur le Land. Des mesures réalisées directement après la chute du mur montrent une bonne compatibilité du canevas qui avait été disjoint pendant des décennies.

La documentation fiable et à valeur judiciaire des mesures d'auscultations de bâtiment a une priorité spécifique en tant que preuve de la stabilité des constructions ou en tant que mesures préventives pour des dégâts au niveau des constructions déjà existantes dans le cadre de la prévention d'un litige possible. Le recours à une base géodésique utilisée par tous les intervenants du chantier serait alors d'une importance capitale.

Ces considérations ainsi que d'autres au niveau économique donnèrent l'avantage à l'utilisation du canevas altimétrique officiel dans le cadre des grands travaux de la zone centrale de Berlin. Il en résulte une augmentation de l'activité d'auscultation (de contrôle) du canevas altimétrique par les services publics également par rapport à l'actualité des altitudes déjà fixées. Ce déploiement était également nécessaire au regard des résultats obtenus précédemment à travers le contrat passé avec le Land de Berlin et par le besoin de mettre à disposition les résultats des mesures de base destinées aux grandes infrastructures ainsi qu'aux directives propres à l'urbanisme.

Le fait, que les altitudes officielles n'étaient modifiées que lors de changements supérieurs à ± 2 mm, s'est révélé être gênant dans les nivellements de haute précision avec une exactitude générale inférieure à 1 mm.

Les limites de modification analogues dans les autres Länder de la République Fédérale conduisirent ici régulièrement à la mise en évidence d'erreurs à travers une pratique courante dans la réclamation des précisions avec la mise en œuvre d'analyses de la fiabilité et de la solidité des points de repère environnants. La déduction de ces affirmations à propos de ces points de repère ne devient officielle que lors de l'utilisation d'au moins trois ou quatre de ces points et l'on ne peut remédier à ce handicap que lors de la mise en place d'un système normalisé destiné à faire l'inventaire des points d'altitude avec rajout régulier des points nouveaux à inventorier. L'exploitation de ces résultats eut pour conséquence une amélioration de la qualité du réseau des points d'altitude.

Comme avant le début des travaux, les conséquences futures sur le canevas altimétrique n'étaient que des suppositions limitées, des points fixes supplémentaires sur tiges allant jusqu'à 17 m de profondeur de fondation furent déterminés sur la périphérie des chantiers pour améliorer la stabilité du niveau altimétrique (fig. 4). L'emplacement et la profondeur des fondations de ces cinq repères de nivellement, disposés de manière régulière sur l'ensemble de la zone en construction, furent choisis en fonction de la fréquence d'utilisation et de la stabilité (dépendant du procédé de construction et des conditions géologiques). Les critères de proximité et de stabilité des points fixes sur tiges furent particulièrement difficiles à respecter au niveau de la zone de construction de la « Spreebogen » (coude de la Spree) et du chantier de grands travaux de la gare de Lehrte, du fait du comportement insatisfaisant du sol du bassin versant de la Spree.

L'intégration de ces points dans le système altimétrique s'est révélée à l'heure d'aujourd'hui, après trois ans d'activité intense sur les chantiers comme le garant d'une conduite consciencieuse et intensive des travaux

topographiques, ce qui fut prouvé par une comparaison du réseau utilisé au début des travaux avec la situation actuelle en 1998. Sur les 60 points fixes du départ sur la zone en travaux, environ 70 % d'entre eux sont à présent considérés comme déplacés (modifiés) ou détruits, alors que de leur côté, les points fixes sur tige restèrent intacts durant tout ce temps.

UTILISATION DES BASES GÉODÉSIQUES

Le réseau de points de canevas planimétrique et altimétrique est mis en place par le maître d'ouvrage et constitue la base pour tous les travaux topographiques suivants. Selon le « VOB » le maître d'ouvrage est obligé de définir les axes principaux des installations de construction et de les transmettre. Le travail du maître d'œuvre est le maintien et la préservation de ce traçage. Comme ce partage des tâches entre les entreprises de construction n'est pas raisonnablement transposable, le réseau VZB, y compris l'axe des voies, fut défini par règlement contractuel comme des données des points de canevas.

MESURE DE DENSIFICATION

Sur les bases du réseau VZB, la densification du canevas est entreprise dans chaque zone en construction par les bureaux de géomètre y travaillant. Les réseaux de densification dépendent des demandes spécifiques des chantiers et prennent en compte les conditions périphériques comme les possibilités de visées réciproques, les horizons dégagés pour les observations GPS, la proximité des chantiers, les situations conflictuelles avec des installations de chantiers, les degrés de densification, la méthode de mesure (absolue ou relative), la spécificité des objets (génie civil, travaux routiers, chaussées en dur).

Le maintien et la conservation du réseau de densification sont du ressort du maître d'œuvre. Les harmonisations au niveau des zones de transition entre les parcelles en construction sont utilisées dans un intérêt privé. En outre, par roulement, des discussions pour l'échange d'informations sont menées.

LES IMPLANTATIONS ET LES MESURES DE CONTRÔLE

Les travaux d'implantation et de contrôle sur les nouvelles constructions, y compris la comparaison entre le prévu et le réel (récolement) sont menés à partir du réseau de densification entourant les chantiers. Les précisions ainsi obtenues varient en corrélation avec le type de travail du cm pour les coffrages, à une très haute précision

pour la mise en place des réseaux de points spéciaux pour les tunnels et l'implantation des directions d'avancée servant de base pour le guidage des tunneliers.

Les exigences particulières des réseaux pour tunnel (souterrains), pour le percement des galeries découlent pour l'essentiel de la courte longueur de base par rapport à la distance à parcourir, lors de la mise en place de la direction principale de percement.

Dans ce but, pour une liaison entre les entrées de tunnel et une calibration du gyroscope, un réseau spécial, composé de 7 points du réseau planimétrique VZB et de 38 points de densification fut mis en place dans la zone nord. Au départ, il était prévu de calculer ce réseau de manière indépendante. Lors d'une comparaison entre un calcul indépendant et une compensation en bloc intégrée au système VZB, aucune différence significative n'a pu être relevée au niveau de la précision des points de densification et de la direction utilisée pour la calibration du gyroscope. C'est pourquoi les résultats de la compensation purent être conservés sans restriction pour le percement, ce qui à nouveau démontre les caractéristiques de grande qualité du réseau VZB.

MESURES DE DÉFORMATION

Les mesures de déformation sur les nouvelles constructions et les existantes servent essentiellement de preuve de stabilité dans la responsabilité personnelle des chantiers.

L'AUSCULTATION ET LES MESURES DE RÉCEPTION

Les mesures d'auscultation servent à garantir la qualité lors de la construction et vérifient entre autres par des contrôles indépendants l'implantation, le réseau de densification, la méthode topographique du maître d'œuvre et le respect des tolérances imposées, lors de la construction. En outre, les mesures de réception, par exemple pour le service fédéral du chemin de fer lors de la construction des installations ferroviaires, sont du domaine de compétence des mesures d'auscultation.

Les travaux destinés aux installations de transport dans la zone centrale de Berlin sont en cours depuis 1995. La progression rapide de ces travaux et les techniques utilisées sont très exigeantes pour la topographie. Malgré la préparation intensive pour créer les bases géodésiques, la perte ou l'utilisation limitée de certains points fixes sont inévitables. Néanmoins, le maintien du niveau de qualité élevé des points fixes a pu être préservé jusqu'à présent malgré des circonstances contraires.