

MISE EN PLACE DE LA VOIE DÉFINITIVE DANS LES TUNNELS FERROVIAIRES SOUS LA MANCHE

C. Eymard



DESCRIPTION DU CHANTIER

Trois tunnels de 50 kilomètres chacun

Deux tunnels à équiper en voies ferrées, donc 100 km de voies à poser.

Tolérances contractuelles :

en absolu :	implantation en plan :	
	en alignement droit	+/- 4 mm
	en courbe	+/- 6 mm
	implantation en profil en long	+/- 7 mm
en relatif :	écartement entre rails :	+/- 2 mm
	dévers :	+/- 2 mm

Cette voie ferrée a la particularité d'avoir des rails reliés sur des supports en béton appelés "brochets", espacés tous les 60 cm, protégés par un chausson en caoutchouc mousse faisant office d'amortisseur, à demi noyé dans un béton de radier, les rails étant non reliés entre eux par des traverses, donc 2 files de rails indépendantes.

Solutions envisagées

Pour répondre à l'ensemble de ces exigences draconiennes mais gage de qualité et donc de sécurité pour l'exploitation future nous avons imaginé quatre méthodes possibles :

Solution "mécanique" : dans un premier temps implanter et mesurer des points au droit de chaque gabarit, c'est à dire tous les 1,80 mètres de part et d'autre de la voie soit environ 112000 points ; ensuite les opérateurs positionnent la machine par rapport à ces points grâce à un bras palpeur travaillant en deux dimensions planimétrie et altimétrie. Cette solution s'est avérée inadaptée vis à vis du coût de mise en œuvre de cette centaine de milliers de points, de l'ampleur du bras palpeur (L: 15m 1: 3 m H: 2.5 m)

Solution laser : elle consiste à placer un émetteur laser sur un point connu en coordonnées. Cet émetteur est orienté suivant un gisement précis. Une cible active installée sur la machine permet d'exprimer les décalages du faisceau laser par rapport à deux directions perpendiculaires. Mais très vite de nombreux problèmes ont rendu cette solution peu viable : portées très courtes du fait des perturbations atmosphériques, du fait également de la définition du tracé qui aurait alors imposé soit des réorientations de laser fréquentes soit une cible active de très grande surface.

Solution topographique manuelle : cette solution consistait à placer une station totale sur un point connu en coordonnées ; puis un opérateur visait la machine et calculait les valeurs de décalage de la machine par rapport aux valeurs théoriques. Cette façon nécessite la présence de plusieurs opérateurs géomètres compte tenu des cadences et des précisions exigées.

Solution topographique automatique : grâce à un système dénommé TDS (tunnel driving système) l'opérateur décrit précédemment est remplacé par un théodolite motorisé avec caméra vidéo intégrée capable de mesurer 24 heures sur 24 et ceci avec la précision et la fiabilité requises.

Solution retenue

C'est la solution automatique appelée par le constructeur et fournisseur de notre parc de matériel topographique Tunnel Driving System.

Méthodologie adoptée

Pour réaliser cette pose plusieurs étapes ont été nécessaires en topographie avant la mise en place du béton de blocage. Tout d'abord, la voie était posée à quelques centimètres de l'axe sur un radier réalisé en première phase à environ - 5 cm du niveau fini, équipée de ces brochets, maintenue pour l'écartement entre rails par des entretoises au pas de 1.80 mètres, de butons pour le calage latéral et de vis verticales pour le réglage en hauteur. Les éléments d'une même file de rails étant soudés entre eux.

La première opération topographique consistait à caler la voie dans sa position définitive. Pour ce faire une machine de pose et réglage nommée R.N.D. (relevéuse niveleuse dresseuse) a été conçue pour rouler sur la voie préplacée sur le radier et équipée de vérins pour y prendre son appui. La machine est constituée de deux éléments schématisés par deux U inversés : le premier, solidaire des vérins d'appui sur le radier ; le deuxième est mobile pour les translations latérales et verticales à l'aide de vérins hydrauliques. Sur chaque cadre est fixé un prisme réflecteur, connu dans le référentiel machine. Ces prismes servent à mesurer la position de la machine dans le système général de coordonnées tant en X Y qu'en Z. Sur le cadre mobile un système de pinces de préhension prennent les 2 files de rails pour pouvoir les déplacer latéralement et verticalement afin de les amener dans leur position définitive. A l'arrière de la R N D le théodolite est positionné sur une console topographique située de 20 à 100 mètres environ.

DESCRIPTION DU SYSTEME T D S

Principe de la mesure d'un point

Le théodolite de précision WILD TM 3000 VD de LEICA projette une lumière infra rouge à travers la lunette et détecte son impact sur un prisme réflecteur en verre de 50

mm de diamètre grâce à une caméra vidéo intégrée dans le télescope.

Cette détection donne alors au théodolite motorisé un angle vertical et un angle horizontal, ce qui lui permet ensuite de mesurer la distance au point grâce à un distancemètre infra rouge.

Il est ainsi possible de déterminer les coordonnées sphériques du point que l'on transforme en coordonnées cartésiennes suivant un référentiel déterminé.

De plus un module du logiciel du système T D S a été développé pour déterminer automatiquement la position d'une cible détectée par le capteur de la caméra vidéo. Ce module permet un calage informatique rapide par rapport à l'axe optique de la lunette. Grâce à ce module la cible n'a pas besoin d'être visée très précisément puisque tout décalage est automatiquement corrigé. Les paramètres servant à effectuer ces corrections sont stockés dans le théodolite et sont donc réutilisables à l'intérieur de ce module.

Caractéristiques de la mesure d'un point

Portée	supérieure à 500 mètres
Mesure angulaire	codeur absolu, système de mesure dynamique, intégration sur toute la circonférence du cercle, saisie diamétrale
Unités (au choix)	400 gon 360° décimal
Sensibilité	0,01 mgon - 0,00001°
Durée d'une mesure HZ ,V	0,9 seconde
Temps de mesure d'un point	inférieur à 8 secondes
Ecart type pour les mesures angulaires DIN 18723	0,15 mgon 0,5"
Ecart type sur les coordonnées d'un point	1 mm à 100 mètres
Vitesse de rotation	maximum 50 degrés seconde
Index vertical automatique	compensateur à liquide à 2 axes
Debullement	longitudinal et transversal égal à 0.055 gon 3'
Précision décalage	0,03 mgon 0,1"
Lunette	panfocale
Image	droite
Ouverture de l'objectif	52 mm
Mise au point	automatique

Principe du guidage automatique

Un "bloc mesure" comprenant le théodolite motorisé est installé sur une console topographique connue. Un système radio assure la transmission des informations entre l'ordinateur du bloc mesure et l'ordinateur gérant les asservissements de la machine. Un protocole de communication a dû être mis au point avec le constructeur de la machine afin de coordonner les mouvements et les mesures.

Séquence de réglage automatique

Le pilote de la machine demande une première mesure. Le système topo mesure la position et calcule les écarts par rapport au théorique et les renvoie vers la machine. La machine se positionne précisément grâce à l'asservissement. Le pilote demande alors une mesure de contrôle. Le système topo mesure la nouvelle position, contrôle si elle se trouve dans les tolérances fixées puis renvoie les écarts résiduels avec un drapeau d'avancement. Si la machine n'est pas dans les tolérances le pilote redemande une mesure avec asservissement. Si la machine est dans les tolérances le pilote peut passer à la position suivante et pendant ce temps la station topo remesurer ses points de références. Ce cycle de réglages dure moins de 2 minutes.

Avantages de ce système T D S

Le système T D S est beaucoup plus simple à mettre en place qu'un système de guidage par laser. En effet le théodolite étant motorisé il va suivre les mouvements de la machine ; il n'est donc plus nécessaire de placer l'appareil dans l'alignement de la trajectoire. Le théodolite se retourne pour remesurer périodiquement un ou plusieurs points fixes ; cela permet de s'assurer de la stabilité de la station donc du guidage lui même. On en déduit un écart type du retour sur références qui sera une sorte de critères de qualité des mesures effectuées. Rappelons que le théodolite mesure deux prismes indépendants sur la machine, le second servant de contrôle après la mise en œuvre de l'asservissement de la R N D. L'importance d'un chantier tel que le tunnel sous la Manche a permis de faire un grand pas dans le domaine de la mesure dimensionnelle en temps réel et sans contact.

Avant de conclure je dois ajouter que la qualité et les délais ont pu être obtenus grâce à l'étroite collaboration du service topographique concepteur et utilisateur de ce produit, du fournisseur du matériel topographique, du constructeur de la machine à poser les voies et du représentant du Maître d'Oeuvre et sans oublier ma direction qui m'a suivi dans cette solution nouvelle. Je les en remercie tous vivement.