

Mesure des sections transversales sur les tunnels du lien fixe transmanche

L. BLAISE - Ingénieur au Service Topographique - TML (France)

TRANSMANCHE LINK et EUROTUNNEL se sont fixés pour but la réalisation de trois tunnels sous mer (deux tunnels ferroviaires d'un diamètre de 7,60 m et un tunnel de service d'un diamètre de 4,80 m).

Ces ouvrages sont effectués grâce à des tunneliers dont la fonction consiste à :

- Forer.
- Assembler les anneaux pour construire le tunnel.
- Mariner les déblais.

Le tunnelier est guidé avec le plus de précision possible, car il doit suivre une trajectoire conforme au projet.

Ces différentes phases, qui permettent de passer du projet à la réalisation du tunnel, génèrent une combinaison d'erreurs systématiques et accidentelles. Or il est essentiel de connaître les paramètres finaux des tunnels construits :

- La position finale de chaque tube réellement construit de telle sorte que l'on puisse corriger, le cas échéant, la trajectoire du tunnelier d'une part, et réaliser les ouvrages qui se situent derrière le train suiveur, d'autre part.
- La position de l'axe du tunnel par rapport au tunnel voisin car nous construisons à l'avancement des rameaux de pistonement ainsi que des rameaux de communication, qui permettent un lien constant entre les trois tunnels.
- La géométrie de chaque tube car il est nécessaire de vérifier que malgré les équipements qui sont installés dans les tunnels, les gabarits ferroviaires pourront s'inscrire à l'intérieur des tunnels tels que construits.
- Et enfin le dimensionnement de certains ouvrages spéciaux tels que les tympans, les amorces qui permettent aux tunneliers de commencer la foration selon une direction connue, etc...

Ces 4 paramètres à connaître font tout l'intérêt des profils.

Les conditions de travail en tunnel sont toujours difficiles ; le transmanche constitue un cas particulier qui pose encore plus de problèmes :

- Tolérances serrées (déformation à la pose ± 24 mm soit un écart type qui reste inférieur ou égal à $24/2,58 = 9,30$ mm)
- La fréquence des trains courte : 20 mn
- Nombre de profils important : minimum 200 m par mois
- Avancement des tunneliers : minimum 800 m par mois

Nature de la mission	Nombre de profils
IMPERATIVE	1 profil / 16 anneaux (soit 25 m) 2 profils / rameau
VARIABLE suivant l'écart E entre deux extrema consécutifs sur la trajectoire des anneaux	Si $E \leq 30$ mm : 1 profil/25 m Si $E > 30$ mm : 1 profil/10m
ACTUELLEMENT	T1 (tunnel service mer) : 1 profil / 14 m T4 (tunnel service terre) : 1 profil / 16 m T2 (tunnel ferroviaire mer) : 1 profil / 10 m

- Zone de travail restreinte derrière le train de foration : 400 à 800 m imposant un rendement intense sous peine de ne plus pouvoir effectuer les mesures en raison de l'avancement des portiques (reconnaissance, injections, ventilation, etc...) qui suivent le tunnelier.
- Les nombreux équipements et l'environnement : rails, tuyaux, câbles, lampes, passerelles de sécurité, etc...
- Et enfin une précision que nous nous sommes imposés à ± 5 mm.

Pour répondre à ce difficile cahier des charges, nous avons cherché à développer un système de mesure ayant les caractéristiques suivantes :

- Précision
- Rapidité d'exécution
- Maniabilité de l'appareil sur le terrain.

Après avoir étudié les différents instruments existant sur le marché, nous avons alors opté pour le Profilomètre Amberg.

Cet instrument se compose de trois parties :

- Un distancemètre de type Dior 3001 WILD à infrarouge de 865 mm de longueur d'onde permettant de mesurer des distances sans réflecteur avec une précision — dépendante de l'état de la surface de réflexion (couleur, humidité, rugosité...) — de l'ordre de ± 2 mm et sur lequel nous avons adapté un laser visible centré sur son axe pour matérialiser le point à lever.

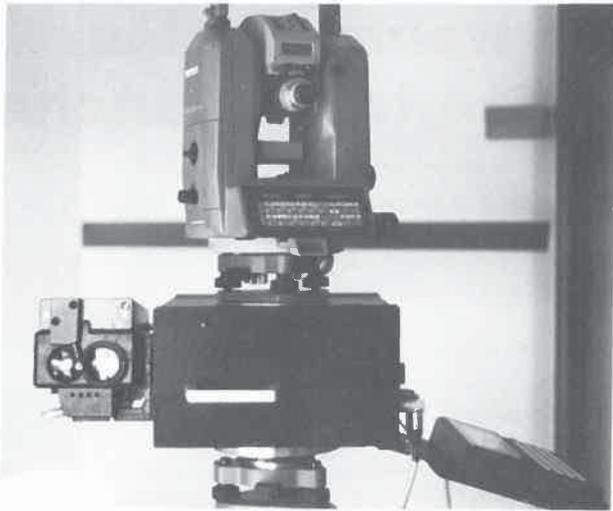


Figure 1

— Un boîtier électronique permettant de motoriser le distancemètre qui peut ainsi décrire une rotation de 360° autour d'un axe et par-là même mesurer un profil.

Il sert ainsi d'intermédiaire entre le Dior et le Husky.

— Le "Husky" est un ordinateur portable qui ne craint pas les conditions difficiles (d'où son nom en référence aux chiens de traîneau).

Il gère les mesures, l'automatisme, la vitesse de rotation du Dior et le positionnement de l'appareil pour caler le profil dans l'absolu.

Nous ne développerons pas l'emploi du profilomètre qui est en soi très simple mais nous examinerons plus en détails le problème de son positionnement.

Amberg préconise trois méthodes (applicables sur le terrain ou au bureau) :

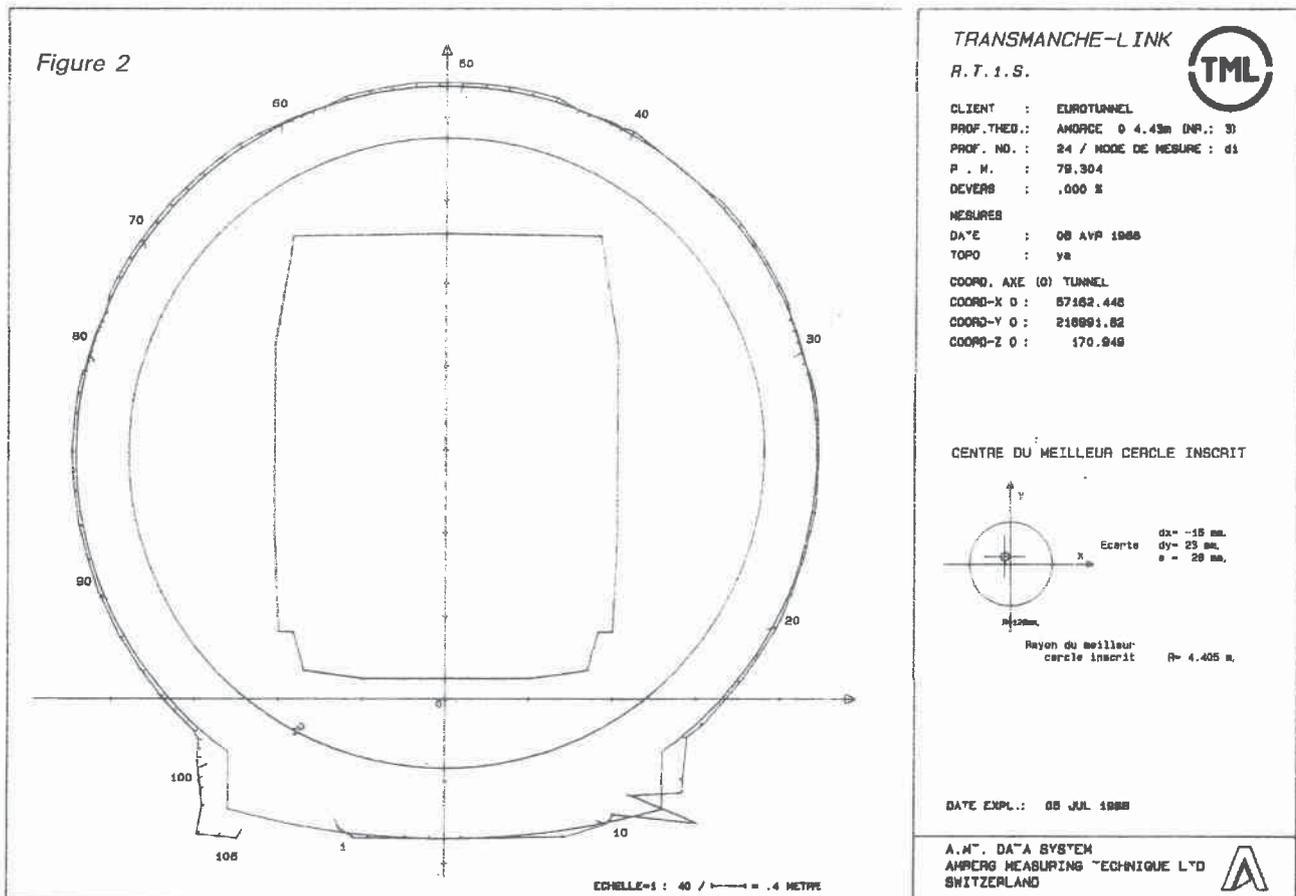
1) Si l'axe du tunnel est matérialisé : Mesurer directement dans le plan du profil les Dx et Dy de l'appareil par rapport à celui-ci.

2) En installant un réflecteur sur le boîtier électronique à l'aide du pas de vis prévu à cet effet, on peut lever la position du profilomètre à l'aide d'un théodolite stationné sur un point connu et prenant référence sur un autre point connu.

3) En installant le théodolite sur le profilomètre, puis en levant les angles et les distances depuis deux références connues.

Il est important de préciser qu'au moment du transfert des données du Husky vers l'IBM en vue de l'exploitation, il faudra entrer ces mêmes paramètres au clavier, et ceci quelle que soit la méthode de positionnement adoptée (Amberg ou autre).

Ces trois méthodes n'offrent aucune possibilité d'autocontrôle du positionnement du profil dans l'absolu, c'est ce qui nous a motivés pour concevoir une méthode précise, rapide et qui nous permettrait de vérifier les mesures :



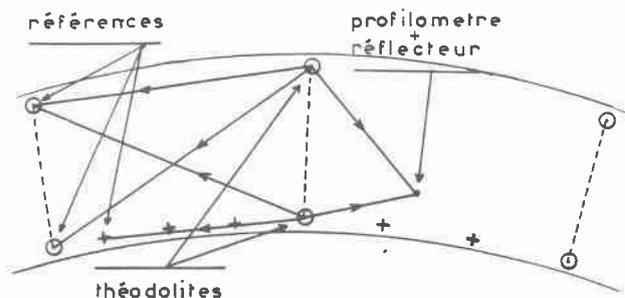
1ère méthode : le recouplement

Un théodolite (type Wild T1600) est installé sur le profilomètre ainsi que trois voyants (type Wild GPHIA) sur des consoles servant à la polygonation générale. Le théodolite les lève en angles et en distances, en enregistrant les observations sur un calculateur de terrain (type Wild GRE3).

Pour des raisons pratiques, il est impossible d'opérer en même temps avec le théodolite et le profilomètre, ce qui nous contraint à procéder en deux phases de mesure pour chaque profil :

Phase 1 : mesure du profil

Phase 2 : positionnement du profilomètre.



2^e méthode : les deux théodolites

Cette fois, c'est un réflecteur qui est installé sur le profilomètre, et deux théodolites sont positionnés sur des consoles de polygonation connues.

Après avoir pris référence sur des points connus, on lève la position du profilomètre à l'aide d'un théodolite, qui stocke les observations dans le terminal de terrain.

ANALYSE DE LA METHODE

avantages	inconvénients
<p>1. La méthode est sûre et précise car elle permet l'obtention d'une surabondance de mesures et donc la vérification du levé.</p>	<p>1. La méthode est longue (= 30 mn) car elle se déroule en deux phases.</p> <p>2. Entre le déroulement des deux phases, il peut se produire toutes sortes d'événements (personnel qui se déplace, trains qui circulent, etc...) ce qui oblige à reprendre depuis le début.</p> <p>3. L'exploitation de ces mesures et des profils est longue.</p> <p>4. Il est nécessaire de réduire les mesures pour les rendre homogènes aux entrées du logiciel Amberg.</p>

Après l'expérience malheureuse de la mesure de plusieurs profils, nous avons mis au point une autre méthode nous permettant de gagner du temps tout en préservant la précision.

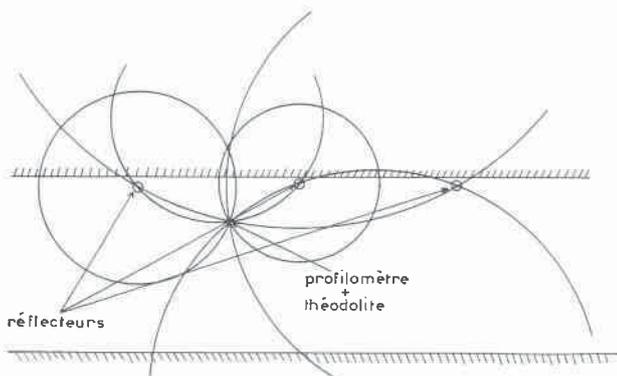


Figure 3

ANALYSE DE LA METHODE

avantages	inconvénients
<p>1. La méthode est sûre car elle permet un contrôle des mesures réalisées.</p> <p>2. La précision est meilleure que +/- 3 mm</p> <p>3. En opérant avec deux théodolites pendant la mesure du profil, la méthode ne prend que 15 à 20 mn</p> <p>4. Le profil est positionné dans le référentiel dès que le levé est terminé.</p> <p>5. Les calculs sont homogènes aux entrées du logiciel d'exploitation Amberg.</p>	<p>1. Un théodolite supplémentaire est nécessaire mais pas un opérateur, car il faut de toute façon être trois pour mettre en œuvre cette méthode.</p>

C'est cette méthode que nous appliquons pour la mesure des profils.

Exploitation des mesures

Les données du profilomètre stockées dans la mémoire du Husky, sont transférées sur l'ordinateur IBM du bureau. Pour chaque profil, il est nécessaire de déterminer certains paramètres suivant la méthode de positionnement Amberg choisie : "x/y", "prisme" ou "théodolite" pour procéder au transfert.

Le logiciel Amberg effectue des calculs qui sont soit systématiques, soit facultatifs :

- Rabattement du profil levé perpendiculairement à l'axe du tunnel.
- Calcul de la position du profil en x, y, z.
- Transformation des coordonnées polaires de chaque point du profil en coordonnées cartésiennes.
- Calcul des écarts entre le profil théorique du tunnel et le profil réel.
- Calcul de surface sous et hors profil.
- Calcul de volume, etc...

Le logiciel permet aussi le report en couleur du profil par un traceur A3. Il est ainsi possible de mesurer à l'échelle des affleurements entre voussoirs, ou une ovalisation éventuelle du tube, etc...

Il faut préciser que l'exploitation d'un profil prend au moins le même temps que la mesure sur le terrain sinon le double, bien que ces paramètres ont dû s'optimiser car Amberg a élaboré un nouveau logiciel, qui permet de gagner un temps considérable.

L'un des avantages du système Amberg à l'exploitation, est aussi de laisser accessibles les fichiers des coordonnées des points des profils et

d'autres paramètres, ce qui nous permet de traiter ces données à l'aide de logiciels que nous avons mis au point dans le but d'obtenir d'autres résultats.

Le logiciel que nous avons mis au point et que nous utilisons, a pour but de déterminer le cercle de rayon maximum qui s'inscrit dans le profil levé. Ce calcul nous permet de connaître la position réelle du centre du profil levé par rapport au centre du profil théorique.

Les résultats de ce calcul permettront ensuite au bureau d'étude de déterminer le tracé définitif des voies, indispensable pour la construction des ouvrages qui se trouvent derrière le train de foration, et pour l'établissement de courbes de rattrapage pour le tunnelier (car un tunnel ferroviaire doit respecter un certain nombre de paramètres, parmi lesquels des rayons de courbures imposés).

La précision finale que nous atteignons par cette méthode est meilleure que ± 5 mm, ce qui nous permet de vérifier si la construction est dans les tolérances, même si celles-ci sont très serrées (par exemple ± 24 mm pour la déformation à la pose).

REPertoire DES ANNONCEURS - N° 40

WILD LEITZ	2 ^e CV
JENOPTIK	10
MESURES ET SYSTEMES	29
SLOM	33
GEOTRONICS	34
LE PONT	38
BORNES ET BALISES	42
APEI	45
SETAM INFORMATIQUE	46
LART	55
MICROS G	63
SOKKISHA	3 ^e CV
TOPO CENTER	4 ^e CV



LA GEODESIE SAGEM DANS LES ECRINS

SAGEM a participé le 5 juillet 1989 dans le massif des Ecrins, avec la SGM (Section Géographique Militaire) à un relevé géodésique de la Pointe Durand (Mont Pelvoux) à une altitude de 3 932 mètres. Après une prise d'armes au sommet commémorant la première ascension de cette pointe par le Capitaine DURAND, la SGM y a installé un récepteur GPS (ASHTECH XII L) réalisé par une filiale de la SAGEM.

Dans le même temps, deux autres récepteurs GPS du même type étaient installés dans la vallée à Puy-Saint-Pierre et au Fort du Randouillet sur deux points connus. Chaque récepteur GPS, mis en action pendant la même période de temps, a pu enregistrer les données provenant des satellites qui ont permis de recalculer en temps différé les coordonnées de la Pointe Durand. Les résultats obtenus ont apporté une correction d'une dizaine de centimètres par rapport aux valeurs précédentes.

Etude géométrique des tunnels ferroviaires

M. LABATUT, Ingénieur principal, SNCF/Ouvrages d'Art - Paris

RESUME

L'objet de l'étude géométrique des tunnels ferroviaires est de vérifier l'inscription des gabarits de circulation et/ou de définir les travaux permettant de dégager des gabarits supérieurs ou plus performants. Les relevés de profils sont effectués par des moyens photogrammétriques ou télémétriques, d'une manière statique ou dynamique. Les profils, référencés au relevé des voies (flèches, altitudes) et traités numériquement (scanner pour les photoprofils), sont ensuite analysés par un programme de simulation ayant pour but d'optimiser les actions sur les divers paramètres considérés : modification du tracé ou du dévers, abaissement des voies, retouches à l'ouvrage.

Les anciennes compagnies françaises de chemin de fer puis la SNCF dont le patrimoine de tunnels en exploitation à ce jour, atteint 1 354 ouvrages d'une longueur cumulée de 536 km ont, depuis fort longtemps, été confrontées à l'inscription de gabarits de circulation de plus en plus volumineux dans les débouchés que livrent soit les ouvrages d'art, soit des obstacles divers construits au-dessus ou à proximité des voies.

En effet, les accroissements de vitesse, les augmentations de l'encombrement des matériels roulants, les électrifications, certaines opérations, tant provisoires que définitives, de renforcement des structures en souterrains n'ont pu être réalisés qu'en maîtrisant cette inscription qui, pour raison évidente de sécurité, doit être considérée dans les conditions cinématiques les plus défavorables.

Cette maîtrise consiste, en conséquence, à pouvoir à tout instant, vérifier cette inscription, généralement d'une enveloppe englobant plusieurs gabarits de circulation, sous un ouvrage donné et, dans le cas où elle n'est pas assurée, de déterminer les modifications minimales de tracé, de profil en long des voies ou en dernier recours de la géométrie de l'intrados pour y parvenir.

Une telle vérification a été rendue possible grâce à des moyens de plus en plus perfectionnés dans le relevé des données nécessaires à la connaissance géométrique des ouvrages et dans le traitement de ces données.

LES GABARITS

Les intrados des ouvrages établis au-dessus des voies ferrées doivent être extérieurs ou à la limite tangents au contour, appelé "limite des obstacles", qui est lui-même déterminé en ajoutant certaines

marges aux gabarits des matériels circulant sur la ligne considérée. Ces marges sont fonction à la fois de l'encombrement cinématique du matériel, c'est-à-dire compte tenu de la souplesse de ses suspensions, et de la géométrie de la voie soit par son dévers et ses courbures.

La définition de ces contours a toujours été un compromis entre le désir commercial, régulièrement renouvelé, de faire circuler des convois plus rapides et plus encombrants et l'optimisation des travaux nécessaires au dégagement de ces contours. Ces derniers correspondent exactement à l'enveloppe obtenue par la superposition des divers gabarits de circulation qui intéressent l'ouvrage et qui, suivant les cas, sont rattachés à des matériels nouveaux (1 500 V et 3 000 V continu, 25 KV alternatif) à des gabarits de wagons ou de conteneurs sur plateaux et quelquefois à des transports appelés exceptionnels sur wagons spéciaux.

LES PREMIERS APPAREILS DE MESURE

La vérification du dégagement d'un gabarit ou d'une enveloppe est couramment réalisée, encore aujourd'hui, sur l'ensemble des lignes par la circulation de wagons-mannequins équipés soit de réglets coulissants matérialisant le gabarit ou l'enveloppe testée, soit de bras rabattables dont la mesure continue de l'inclinaison est enregistrée sur une bande papier sous la forme d'une série de profils en long de l'obstacle relevés à différents niveaux, et sur lesquels peuvent être mesurées les distances de chaque point à la voie.

La précision de ces appareils n'excède pas 1,5 cm sur un demi-profil mais peut être jugée suffisante.

Leur utilisateur souffre d'inconvénients :

- un relevé de l'obstacle par demi-profil ce qui nécessite deux passages,
- l'obligation, sur les lignes électrifiées, d'interrompre le courant de traction,
- une lenteur dans la transcription des résultats lorsque l'on passe de la vérification du dégagement, à une succession de nombreux relevés de profils en travers, ce qui est le cas pour l'étude de travaux intéressant soit le tracé des voies soit sa structure puisque se pose, alors, le positionnement des voies par rapport à l'intrados des futures structures,
- l'impossibilité de relever l'intrados au droit des installations caténaies.