

## EUROTUNNEL - TOPOGRAPHIE APRES JONCTION DU TUNNEL DE SERVICE

Jean-Michel JOSEPH

SETEC - Maître d'œuvre - Responsable de la Topographie auprès d'Eurotunnel

### ABSTRACT

*After the marine service tunnel breakthrough on 1st December 1990 and the close off measurement on the 3rd December, the surveyors had still to:*

*adjust this network; carry out the running tunnels breakthrough; work out the definitive alignment; build the cross-passages and piston relief ducts; - install the fixed equipments, evacuation and maintenance walkways, and the tracks.*

*All these various tasks have been facilitated by the continual improvement of surveying methods and equipments, and obviously by the full cooperation between all concerned individuals (contractor and maître d'oeuvre).*



### 1. INTRODUCTION

Samedi 1er novembre 1990 - Date historique du percement et de la rencontre physique entre Britanniques et Français.

Lundi 3 Décembre 1990, les topographes Britanniques et Français mesuraient les écarts de fermeture des

polygonales planimétriques et altimétriques après 37,92 km de cheminement.

Rappel des écarts constatés : transversalement : 358 mm, longitudinalement : + 76 mm, et en altimétrie : 58 mm.

A partir de ces valeurs, il restait à compenser ces écarts pour définir le tracé définitif, raccorder les tunnels ferroviaires, et mettre en place tous les équipements fixes (canalisations diverses, caténaires, trottoirs, voies ferrées).

### 2. COMPENSATION DES CHEMINEMENTS

#### 2.1 Compensation des écarts pour le tunnel de service

En planimétrie, la répartition de l'écart a été rendue linéaire proportionnellement à la distance, soit 148 mm sur 15 618 m pour le côté France.

En altimétrie, la compensation linéaire a été réalisée par tronçon distinct, pour tenir compte des travaux en cours ou déjà réalisés, notamment les excavations des rameaux de communication.

Une fois ces écarts compensés, le cheminement du tunnel de service a servi de référence pour la compensation de ceux des tunnels ferroviaires.

#### 2.2 Compensation des écarts pour les tunnels ferroviaires

Les cheminement des tunnels ferroviaires ont été rattachés à celui du tunnel de service dès qu'il a été possible

de passer à travers les rameaux de communications ouverts ou des forages horizontaux entre tunnels.

Les compensations ont donc été linéaires et proportionnelles à la distance parcourue entre deux jonctions, par tronçon de 1,5 km à 2 km (Cf. annexe 1).

Toutefois, pour assurer la jonction (FR/UK) des tunnels ferroviaires, lorsque le tunnelier côté France s'est trouvé à environ 200 m de celui côté Grande Bretagne (lequel avait exécuté une courbe plongeante verticalement pour s'effacer sous la future trajectoire de celui côté France), une polygone a été mesurée, passant par le tunnel de service en empruntant de part et d'autre les rameaux de communication les plus proches, afin d'ajuster au mieux la trajectoire du tunnelier sur le tronçon séparant les deux fronts.

#### 2.3. Première utilisation des cheminements compensés

Dès qu'un tronçon de ces cheminements était rendu définitif, les données du levé des profils en travers étaient recalées pour passer à l'étape suivante, l'établissement du tracé définitif.

### 3. ETABLISSEMENT DU TRACÉ DÉFINITIF

A partir du levé des profils en travers du revêtement (tous les 12 m env.), le tracé définitif a été conçu de la façon suivante :

Après définition d'un rayon nominal (RN) de 3,68 m pour les tunnels ferroviaires et 2,28 m pour le tunnel de service, correspondant au rayon théorique de construction (3,80 m pour les tunnels ferroviaires et 2,40 m pour le tunnel de service), -0,15 m (tolérance globale de construction) et +0,03 m (provision pour désaffleurement éventuel du revêtement entre deux profils successifs) (Cf. annexe 2).

Dans ce rayon nominal était inclu le gabarit d'obstacle (gabarit maximum des véhicules), les équipements fixes, les marges minimales de sécurité, (appelées lames d'air) et pour les tunnels ferroviaires la largeur du trottoir d'évacuation côté tunnel de service > à 0,80 m.

A chaque profil, détermination d'une fenêtre, corres-

# Implantations en tunnel (3ème CITOP) - Implantations en tu

pondante à la surface d'un polygone dont les côtés sont parallèles à une distance RN de chacun des côtés du polygone représentant la section réelle du revêtement.

Le barycentre de cette fenêtre a été repéré en abscisse et ordonnée relatives au tracé théorique.

En superposant successivement les fenêtres des profils à l'aide des coordonnées relatives de leur barycentre, tant que le tracé théorique ( $x=0$  et  $y=0$ ) se situait à l'intérieur de la zone commune de recouvrement, celui-ci était conservé et devenait le tracé définitif.

Par contre, lorsque le tracé théorique sortait de cette zone commune de recouvrement, un nouveau tracé optimum était étudié pour être à nouveau inclus dans celle-ci, tout en respectant les critères de base du tracé :

- en planimétrie : rayon  $> \text{à } 4200 \text{ m}$  ;
- en altimétrie : pente  $< \text{à } 1,1 \% \text{ et } > \text{à } 0,2 \%$  ;  
: rayon de raccordement  $> \text{à } 15\,000 \text{ m}$ .

Ce tracé définitif est devenu opérationnel, au fur et à mesure de son établissement par tronçon de 1 km, permettant ainsi de mettre en place les équipements définitifs.

Par exemple, 1 300 m sur 19 000 m du tracé théorique du tunnel ferroviaire nord ont été modifiés pour rendre le tracé définitif, soit 6,8 % du tracé.

## 4. RÉALISATION DES RAMEAUX DE COMMUNICATION ET DES RAMEAUX DE PISTONNEMENT

L'excavation de ces rameaux a été réalisée manuellement. Les rameaux de communication d'une longueur de 10 m environ, et les rameaux de pistonement enjambant le tunnel de service, ont été réalisés par demi-longueur (18 m env.), à partir de chacun des tunnels ferroviaires.

Le guidage de ces excavations et la mise en place des coffrages ont été réalisés grâce à un laser posé sur une console fixée au revêtement du tunnel en face du rameau, après implantation préalable du prolongement de son axe principal.

Pour les rameaux de communication le faisceau laser était orienté dans la direction parallèle à son axe, en plan et en altimétrie, pour les rameaux de pistonement, il était parallèle en plan, mais dirigé sur une corde moyenne en altimétrie.

## 5. POSE DES ÉQUIPEMENTS FIXES

Les cotes d'implantation étaient données en position relative à l'axe du tracé.

Des points de référence (constitués par la tête d'un petit boulon inox ( $\phi 8 \text{ mm}$ )) ont été scellés sur un côté du revêtement tous les 7 anneaux (11,20 m env.), pour implanter les trous ou gabarits de perçage des différents supports d'éléments constituant les équipements fixes : supports de tuyauteries diverses (incendie, cooling), supports des fils de la caténaire, etc. (voir coupe Annexe 3).

L'arête supérieure de ces repères, réglée quasi horizontale, a été relevée en coordonnées absolues ( $\pm 3 \text{ mm}$ ) à partir de la polygonale. Ces dernières ont été ensuite transformées en coordonnées relatives à l'axe du tracé définitif.

Chacun de ces points a été repéré de la façon suivante : (Cf. Annexe 4)

- n° d'anneau (principal repérage en tunnel) ;

- point métrique ;
- coordonnées (XYZ) ;
- distance en plan à l'axe du tracé ;
- dénivelée par rapport au profil en long.

L'implantation des trous et gabarits de perçage s'est donc effectuée très aisément à partir de ces points, par soustraction entre la cote théorique d'implantation et celle du point de repère utilisé.

Ils ont également servi par la suite à l'implantation des fils de guidage pour les matériels de mise en œuvre des bétons de première phase (coffrages glissants), du radier et des trottoirs, puis pour la pose de la main courante le long des trottoirs d'évacuation.

## 6. INNOVATION DANS LES MÉTHODES ET LE MATÉRIEL

### 6.1 Innovation dans les méthodes

En tant que représentant du Maître d'Ouvrage pour les contrôles topographiques, n'ayant pas les mêmes contraintes que l'entreprise, ni les mêmes moyens en matériel, ma mission a été de contribuer à l'obtention de la qualité des travaux, comme stipulé dans une déclaration conjointe entre le Maître d'ouvrage et l'Entreprise (Cf. annexe 5).

Étant donné les difficultés rencontrées par les géomètres et les contrôleurs pour fournir au plus tôt les résultats de nos observations et calculs, afin de contribuer efficacement à la réalisation de ces travaux, de résoudre ces difficultés, et de faciliter ma tâche pour les contrôles, j'ai conçu un programme (en Basic) de transformation des points connus en coordonnées absolues (XYZ), en coordonnées relatives à l'axe du tracé (Pm, distance en plan à l'axe et dénivelée par rapport au profil en long), ou inversement pour les implantations, comparaisons, collationnement, etc.

Quelques exemples de son utilisation sont énumérés ci-après.

1 - Le contrôle de la position du revêtement par rapport au tracé théorique, derrière le train du tunnelier, avant connaissance du résultat des levés des profils en travers exécutés plus tard. La méthode utilisée consiste à lever trois points du revêtement dans une même section, à calculer les coordonnées du centre et le rayon inscrit à ces trois points, puis de transformer ces coordonnées en relatives à celui du tracé théorique pour en déduire les écarts, avec une précision de  $\pm 2 \text{ cm}$ .

2 - Une étape de la vérification du tracé définitif, en calculant une tabulation en coordonnées absolues sur un des tracés (théorique, provisoire ou définitif), puis en projetant cette tabulation sur le tracé à vérifier, pour en déduire les écarts en Pm, dx et dz.

3 - Le calcul de la position des points de repères pour l'installation des équipements fixes, cités au chapitre 5.

4 - Le contrôle de la position des arêtes du béton de première phase : (radier de la voie et trottoirs), ceci tous les 3 m env., à raison d'un avancement de plus de 150 m par jour.

5 - Le contrôle de la position de la voie ferrée, point d'arrêt important, pour bétonner chaque jour 2 fois 300 m de voie en place dans les tolérances millimétriques :

- en plan :  $\pm 4 \text{ mm}$  (en alignement droit) et  $\pm 6 \text{ mm}$  (en courbe) ;

- en altimétrie :  $\pm 7$  mm ;
- en relatif :  $\pm 2$  mm.

Ce contrôle a nécessité la présence en tunnel de trois géomètres, sept jours sur sept en trois postes, plus un au bureau, pour les levés de contrôles, l'exploitation et la diffusion des résultats afin de lever ce point d'arrêt ou de signaler les corrections éventuelles. Cela a été le cas sur un tunnel ferroviaire d'abord, puis deux simultanément, compte tenu du délai d'exécution des travaux.

Pour la pose et le contrôle interne de la voie, une version de ce programme, réécrite par un membre de l'entreprise sous-traitante, a permis à l'aide d'un micro-ordinateur portable connecté au tachéomètre électronique, de lever les rails et de connaître instantanément les écarts et les corrections éventuelles à apporter.

Une autre innovation a été l'emploi de la méthode "Station-Libre", application de la transformation de Helmert, à l'aide d'un programme réécrit pour être utilisable sur une calculatrice portable, puis sur micro-ordinateur.

Cette méthode a l'avantage de ne stationner qu'une seule fois pour calculer sa position, sans être obligé de faire un cheminement, d'où moins de matériel à transporter en tunnel. Elle a permis :

- l'implantation des rameaux de communication, en se calant à partir des points de la polygonale ou des petits repères cités au chapitre 5 ;
- certains levés de contrôles, tant à l'extérieur qu'en tunnel ;
- le contrôle de la stabilité des points de la polygonale principale avant remise de celle-ci à l'entreprise sous-traitante chargée de la pose de la voie.

Avec cette méthode, en recalculant les coordonnées d'un des points de la polygonale à partir des observations faites sur le maximum de points d'appui (4 à 8), le résultat du calcul, des coordonnées puis des résidus, permet d'estimer si le point stationné ou si l'un des points d'appui est susceptible d'avoir bougé, avant d'entreprendre un nouveau calcul en bloc d'une zone particulière.

## 6.2 Innovation dans le matériel

### 6.2.1 L'éclairage d'un prisme

Tous les géomètres ou topographes travaillant en souterrain connaissent la difficulté de pointer un prisme éloigné, et quelle est la consommation que l'on peut faire de piles électriques de tout genre.

Suite à une visite de Jean-Jacques MORLOT chez nos confrères britanniques, un jeune topographe, Philippe ROS-MARYNOWSKI, a eu l'idée d'améliorer leur procédé (une diode électroluminescente collée sur un prisme).

Une diode, de couleur verte pour un meilleur pointé, a été montée à l'arrière du prisme, après avoir percé le fond de celui-ci et enlevé le tain sur les arêtes, la diode étant alimentée par deux petites piles de 1,5 V, fixées en haut du prisme.

### 6.2.2 La règle pour le contrôle des voies

Le contrôle de la position de la voie avant son blocage dans le béton nécessite une grande sûreté des observations au cours de cette opération.

Pour ce faire, Jean-Jacques MORLOT a aménagé la règle spécifique pour la mesure de l'écartement des voies et du dévers, en y adjoignant deux prismes (éclairés par une diode), ajustés à la distance de l'écartement mesuré, et deux repères hémisphériques pour la mesure du nivellement (sur mire à code barres éclairée par un projecteur halogène).

Grâce à cette règle il y avait redondance des observations :

- les valeurs de l'écartement et du dévers, lues sur la règle ;
- les coordonnées absolues (XYZ) des deux prismes ;
- les altitudes absolues des repères hémisphériques.

Toutes ces données (enregistrées sur module mémoire) ont pu après exploitation des calculs de la position relative à l'axe, de la distance d'écartement, du dévers et des écarts, être communiqués avec sécurité.

## 7. CONCLUSION

L'ensemble des travaux topographiques exécutés sur ce chantier, la compétence et la motivation de tous ceux qui y ont participé, ont contribué à la réussite de cet ouvrage.

L'extrait du rapport d'essais des voies, après le passage du train Mauzin, lors de l'enregistrement des paramètres géométriques (Cf. annexe 6), est une preuve de la qualité de la topographie.

En résumé : voie qualifiée d'exceptionnelle.

En conclusion, mon souhait est que l'expérience acquise lors de ces travaux puissent être communiquée et serve à beaucoup d'autres professionnels.

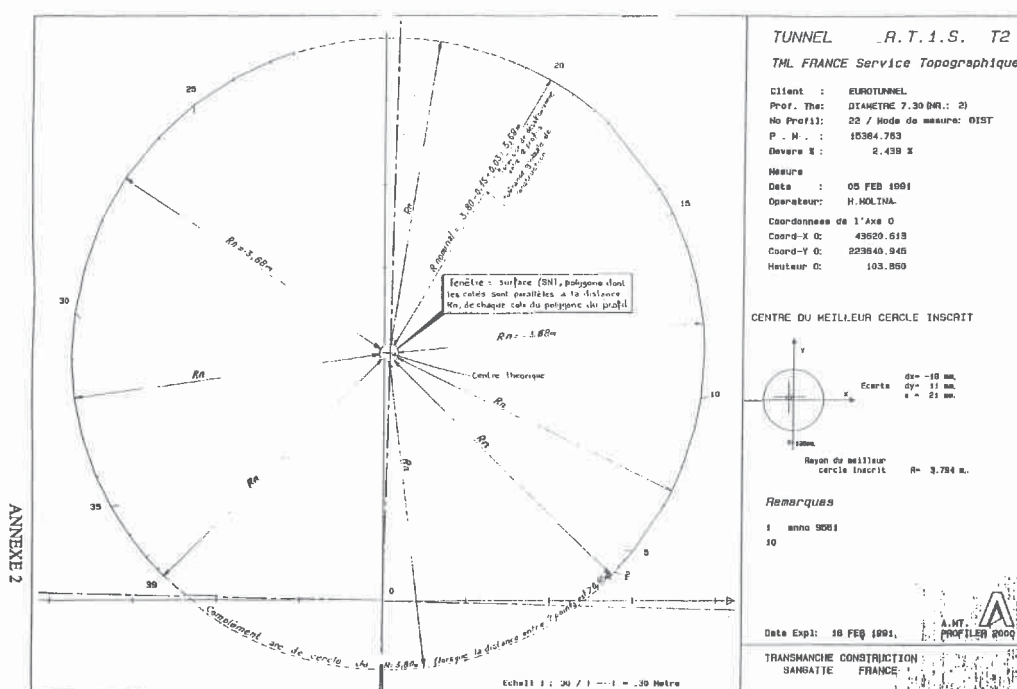


Figure 1

P.M.	Tunnel de service		Tunnel Ferroviaire Nord		Tunnel Ferroviaire Sud	
	dt	dz	dt	dz	dt	dz
Coté Terre						
Retail	-18	+12	0	0	+8	+11
FUTIS	0	0	0	+6	0	0
FUTIS	0	0	0	+1	0	+1
1473			+31		+22	
3716			+27		+1	
4462			-3		+3	-9
4900						-23
5959			-20	-3	+3	-25
7540						-23
8614			-18	+2	+6	
9080				+4		-34
9320						-36
11133		-25			+25	
11209		-43	+14	+18		-37
12160		-58				
		-42				
14000		-46				
		-22				
15618	+148	-24				
15900			+40	+36	+69	-50
16673					+82	-52
					+12	-3
17378			+91	+32		
17695			+49	0		
17833					+29	-6
					+31	
					+2	
18546			+85	0		
18831			+35	0		
			+45	0	+16	-6
19315			+66			
			+16			
19988			+44	0		

ANNEXE 1

Figure 2



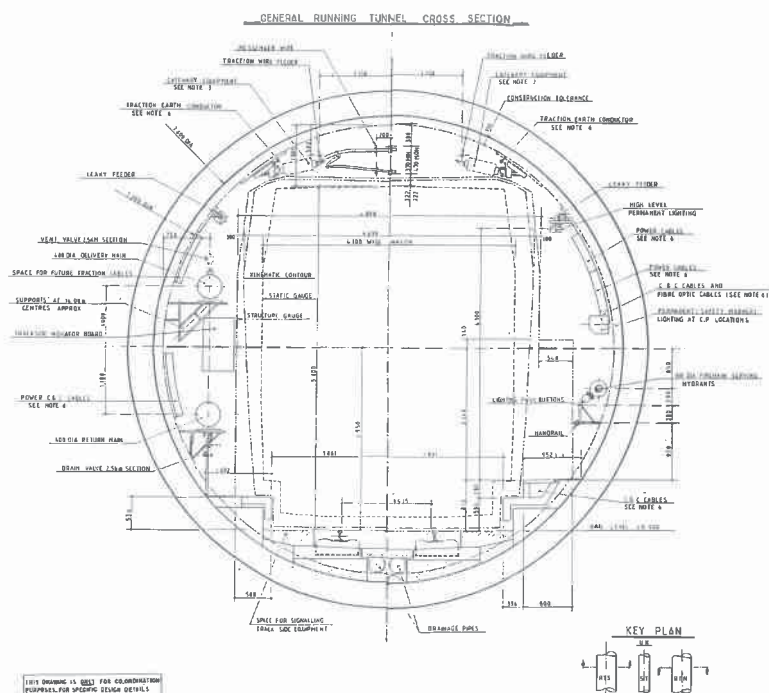


Figure 4

TRANSMANICHE LINK						PAGE 5 11
NUMERO: F15 141 TOO 210 1361						
TUNNEL E / T6 / RTIL						
POINTS DE REFERENCE POUR LES EQUIPEMENTS DEFINITIFS						
REF: TRACE THEORIQUE TUNNEL FERROVIERE NORD C10 105 S BETU 0393-3						10.01.90
N° Anneau	X	Y	Z	distance p/r axe voie	PK	denivelee p/r axe voie
289	57548.036	216513.466	175.744	-3.097	-535.189	0.967
296	57555.692	216505.190	175.858	-3.105	-546.456	0.957
303	57563.311	216496.974	176.033	-3.130	-557.652	1.010
310	57570.985	216488.794	176.173	-3.120	-568.860	1.027
317	57578.639	216480.611	176.317	-3.157	-580.056	1.048
324	57586.362	216472.482	176.415	-3.135	-591.261	1.023
331	57594.093	216464.358	176.564	-3.136	-602.467	1.049
338	57601.855	216456.249	176.652	-3.132	-613.684	1.014
345	57609.619	216448.179	176.806	-3.131	-624.874	1.046
352	57617.403	216440.115	176.908	-3.141	-636.074	1.025
359	57625.214	216432.060	177.043	-3.155	-647.286	1.037
366	57633.040	216424.038	177.179	-3.165	-658.484	1.050
373	57640.904	216416.045	177.287	-3.158	-669.688	1.035
380	57649.109	216407.741	177.431	-3.157	-681.353	1.051
387	57656.686	216400.109	177.536	-3.160	-692.100	1.038
394	57664.604	216392.188	177.660	-3.153	-703.291	1.040
401	57672.551	216384.283	177.795	-3.145	-714.492	1.052
408	57680.504	216376.381	177.943	-3.159	-725.694	1.077
415	57688.513	216368.524	178.039	-3.133	-736.906	1.050
422	57696.526	216360.667	178.161	-3.133	-748.120	1.049
429	57704.537	216352.843	178.286	-3.141	-759.309	1.051
436	57712.581	216345.023	178.404	-3.154	-770.520	1.046
443	57720.657	216337.244	178.526	-3.145	-781.724	1.046
450	57728.742	216329.499	178.654	-3.135	-792.912	1.051
457	57736.870	216321.759	178.761	-3.121	-804.128	1.035
464	57744.977	216314.007	178.903	-3.160	-815.336	1.054
471	57753.120	216306.304	179.019	-3.168	-826.537	1.047
478	57761.299	216298.627	179.135	-3.164	-837.746	1.040
485	57769.510	216290.976	179.262	-3.148	-848.960	1.044
492	57777.726	216283.335	179.387	-3.153	-860.172	1.046
499	57785.956	216275.724	179.518	-3.154	-871.373	1.054
506	57794.229	216268.144	179.632	-3.134	-882.585	1.046
513	57802.496	216260.583	179.735	-3.134	-893.780	1.026
520	57810.784	216253.024	179.899	-3.148	-904.989	1.057
527	57819.431	216245.201	180.006	-3.147	-916.641	1.046
534	57827.429	216238.012	180.120	-3.142	-927.387	1.042
541	57835.792	216230.532	180.241	-3.136	-938.599	1.040