

xyz

Association Française de Topographie



Coupe du système et forage.

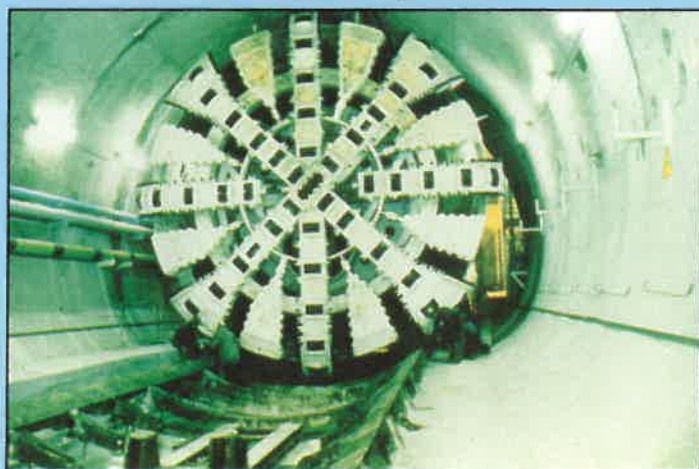


PHOTO MOULIER

Tête du tunnelier dans le tunnel de service.



Tunnel de service (côté anglais).

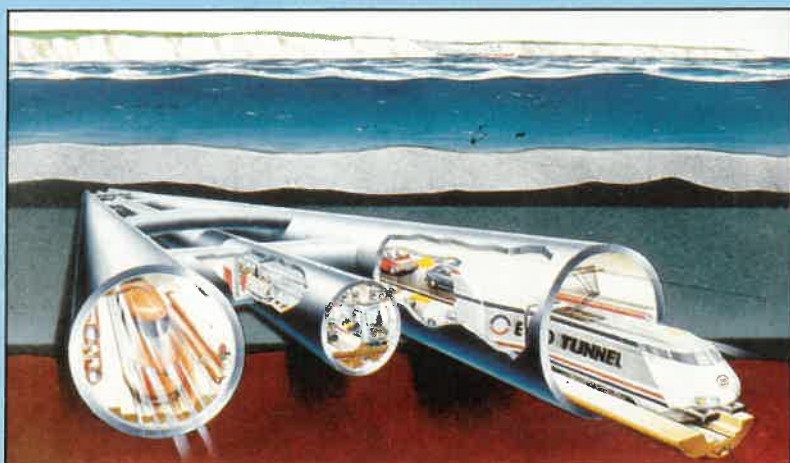


PHOTO O.A.

Coupe des 3 tunnels.

16^e colloque AFT - 8-9-10 juin 1989

Sangatte -  - (TransManche-Link - Tunnel sous la Manche)

TOPOMETRIE SOUTERRAINE

11^e année
ISSN 0290-9057
N° 40
JUILLET 1989
Prix : 105 F

L'OBJECTIF: ETRE PLUS PRECISE

ET PLUS RAPIDE QUE JAMAIS



Découvrez les étonnantes possibilités du nouveau système de mesure Wild Leitz.

Si vous tenez à faire avancer vos projets à grands pas, en toute fiabilité, avec les techniques de mesure des années 90, contactez votre conseiller Wild Leitz sans plus attendre. Il vous proposera des solutions exceptionnelles et le plus large éventail qui soit dans la topométrie industrielle.

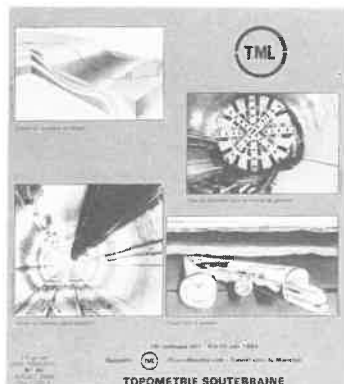
De l'équipement haute performance WM102 pour la détermination des coordonnées par GPS jusqu'au distancemètre infrarouge, antidéflagrant, pour les mesures sans contact avec l'objet à relever.

Du théodolite électronique et de la station totale, tous deux dotés des fonctions COGO, jusqu'aux multiples combinaisons de matériel comme le gyroscope chercheur de nord Wild GAK et l'oculaire laser permettant de visualiser la ligne de visée.

Du niveau à nivelle de haute précision jusqu'au plomb optique et au niveau laser automatique.

Du Mekometer Kern ME5000 pour les mesures de distance de très haute précision, à 0,2 mm près, jusqu'au théodolite motorisé Wild TM3000 pour la recherche et le contrôle de la cible avec une précision de $\pm 0,15$ mgon.

Demandez notre documentation.



TRIMESTRIEL

Le numéro : 405 F
L'abonnement d'un an
(4 numéros) : 400 F

Secrétariat de l'AFT
et Rédaction XYZ

**136 bis, rue de Grenelle,
75700 PARIS**
Tél. : (1) 43.98.80.00
poste 7690

Ouverts les mardi et vendredi
de 10 h à 12 h

COMITE DE REDACTION**RAPPORTEUR**

André BAILLY
Ingénieur ETP

MEMBRES

Jean COMBE
Ingénieur ESGT
Guy DUCHER
Ingénieur Général Géographe
Jean-Jacques LEVALLOIS
Ingénieur Général Géographe
Jean PUYCOUYOUL
Ingénieur E.P.
Michel SAUTREAU
Directeur divisionnaire honoraire
du Cadastre
Roger SCHAFFNER
Géomètre DPLG
Bernard SCHRUMPF
Ingénieur Général
de l'Armement
Robert VINCENT
Ingénieur E.C.P.

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

André BAILLY

IMPRIMERIE MODERNE

U.S.H.A.
AURILLAC 15001
Tél. : 71.63.44.60

L'Association Française de Topographie n'est pas responsable des opinions émises dans les conférences qu'elle organise ou dans les articles qu'elle publie.

Tous droits de reproduction ou d'adaptation sont strictement réservés.

Manifestation AFT

- Le 30 mai 1990, journée AFT - Assemblée générale à 10 h 30
L'après-midi conférences - Thème : définitions des grands projets dans l'espace au Futuroscope de Poitiers.

XXX^e Congrès National des Géomètres-Experts Fonciers
Poitiers - Futuroscope - 30-31 mai - 1^{er} juin 1990

sommaire

	Page
— Eurotunnel, par MM. THIEVENT et BABINET, Ingénieurs ETP	3
— Colloque topométrie souterraine, 8, 9, 10 juin 1989 Présidents de séance : M. GERVAISE, M. MESENBURG, M. MORLOT	
— Introduction, par M. LEVY, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Directeur des travaux Eurotunnel France	11
— Ouverture du colloque, par M. PICAUVET, Ingénieur ESGT	11
— Méthode et construction du lien fixe transmanche : méthodes et instruments topométriques, par J.-J. MORLOT, Chef du Service Topographique, TLM (France)	13
— Géodésie et contrôle géométrique des ouvrages souterrains d'un grand accélérateur de particules, par MM. M. MAYOUD, M. HAYOTTE et G. TROUCHE, TML ...	21
— Le gyromat, un gyrothéodolite de grande précision et son emploi dans l'Eurotunnel, par Norbert KORITTKE et Thomas WUNDERLICH	25
— Utilisation d'un système inertiel pour la topographie souterraine, Résultats de quelques essais faits dans la galerie du LEP au CERN par VAN DEN HERREWEGEN M. et VANCRAENENBROECK J.	31
— Système de guidage automatisé et calcul de la suite d'anneaux, par H.-J. MARX, E. JACOBS et P. MESENBURG	35
— Suivi géométrique de galeries d'assainissement urbain visitables, par B. LEMOINE, Directeur de la société GSIT-Paris	39
— Mesure des sections transversales sur les tunnels du lien fixe transmanche, par L. BLAISE, Ingénieur au Service Topographique TML (France)	47
— Répertoire des annonceurs	50
— Etude géométrique des tunnels ferroviaires, par M. LABATUT, Ingénieur principal SNCF/Ouvrages d'Art Paris	51
— Clôture, par M. PICAUVET	57
— Actualités AFT	58

Calendrier



Les travaux France



Novembre 1986 : Lancement des travaux préliminaires (puits de Sangatte), usine de préfabrication, zone des déblais.



Janvier 1988 : Début des terrassements du Terminal de Coquelles.



Mars 1988 : Début des opérations de forage : tunnelier T1 - tunnel de service sous mer.



Juillet 1988 : Mise en service du tunnelier T4 - tunnel de service sous terre.



Décembre 1988 : Mise en service du tunnelier T2 - tunnel ferroviaire Nord sous mer.



Janvier 1989 : Mise en service du tunnelier T5 - tunnel ferroviaire Sud sous terre.



Avril 1989 : Mise en service du tunnelier T3 - tunnel ferroviaire Sud sous mer.



27 Avril 1989 :

Sortie du tunnelier T4 sur le Terminal de Coquelles: achèvement du tunnel de service sous terre.



Les prochaines étapes du projet



1989 : Passation des principales commandes des équipements et du matériel roulant.



1989 : Achèvement des terrassements des terminaux et développement des travaux de génie civil. Forage : 10 tunneliers en activité.



Fin 1990 : Première jonction sous la Manche dans le tunnel de service.



Fin 1991 : Jonction sous la Manche dans les tunnels ferroviaires.



1991-1992 : Equipement du système.



15 Juin 1993 :

Mise en service du Tunnel sous la Manche.

EUROTUNNEL

par MM. Gilles THIEVENT et Luc BABINET, Ingénieurs ETP

Héritage et aboutissement de projets dont les premiers datent de plus de deux siècles, la liaison fixe Transmanche entre la France et la Grande-Bretagne représente un des plus grands marchés internationaux dans lequel les Entreprises de BTP Françaises se trouvent engagées.

HISTORIQUEMENT

Que ce soit pour le premier projet proposé par le géologue François-Nicolas Desmarests en 1751, celui de l'Ingénieur des Mines Albert Mathieu-Favier en 1802, celui de l'hydrographe Aimé-Thomas de Gamond en 1867 ou ceux, plus proches de nous, proposés par les différentes Sociétés ou groupements Anglais ou Français, ce sont les projets de Tunnels qui ont paru les plus vraisemblables et les plus réalisables.

On est techniquement, loin maintenant du projet de A. Mathieu-Favier qui prévoyait deux tunnels superposés dont celui du dessous servait à recueillir les eaux d'infiltration de celui du dessus, bien qu'il ne soit pas trop précisé comment était envisagée l'évacuation de ces eaux (fig. 1).

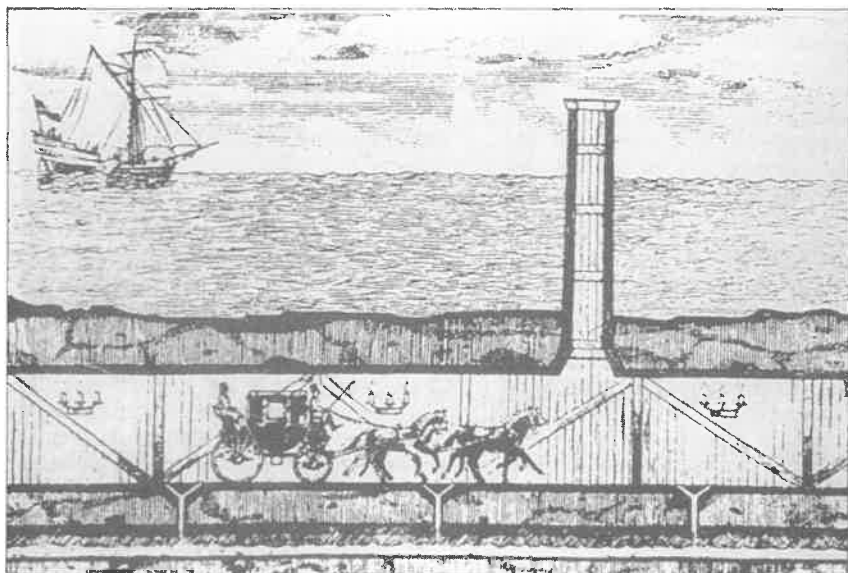


Fig. 1 - Projet de tunnel de A. Mathieu-Favier en 1802.

Photo BORIE-SAE. ▼



En outre, ce projet prévoyait une chaussée pavée, parcourue en cinq heures par des attelages de chevaux alors que le projet de A. Thomé de Gamond envisageait déjà un tunnel ferroviaire entaillé dans la craie. Par la suite d'ailleurs les concessionnaires, Anglais ou Français, se détermineront toujours vers ce type de solution.

Pourtant ce ne sont pas les variantes qui ont manqué, et ceci, dès le milieu du siècle dernier : ponts ferroviaires, jetées pour 4 voies ferrées avec écluses, tunnel central précédé de chaque côté par un viaduc, tout ou presque tout aura été envisagé.

Mais malgré les efforts de nombreuses associations, comités, sociétés concessionnaires, groupements d'études, que sais-je encore... tout projet visant à établir une liaison permanente, quelles que soient les études géologiques réalisées et les études économiques montrant l'intérêt du projet va rencontrer de la part des Anglais, parmi les conservateurs, une opposition farouche du Comité de défense Impériale : « Le Tunnel constitue un risque militaire ». Entre 1882 et 1954, le risque de perdre les avantages de son insularité amènera l'Angleterre à faire avorter tous les essais.

C'est à partir de 1954, qu'un véritable effort commun des deux pays va mettre tout en œuvre pour réaliser cette liaison et cela aboutira à la signature d'une convention en 1972 et au début des travaux l'année suivante de la construction d'un tunnel ferroviaire. Malheureusement le changement de gouvernement en Angleterre arrêtera de nouveau les travaux pour des raisons financières ; cette fois le contribuable trouve la facture trop chère.

Dès 1981 pourtant, le projet est repris car il apparaît qu'économiquement, quel que soit le projet envisagé, il est rentable. Les études successives et les démarches entreprises aboutiront à la signature le 12 février 1986 du traité Franco-Britannique sur le tunnel sous la Manche et à sa ratification par les parlements respectifs le 29 juillet 1987. Une différence de taille avec tous les précédents projets aura permis ce succès : le financement sera entièrement privé, sans aucune garantie gouvernementale.

JURIDIQUEMENT

Les deux textes conventionnels qui définissent le cadre juridique de la construction et de l'exploitation de la liaison fixe Transmanche sont très distincts.

Le premier : traité du 12/2/86 entré en vigueur le 29/7/87 est une convention internationale, ratifiée selon les procédures constitutionnelles propres au droit interne de chacune des parties et qui ne crée de droits et obligations que pour les deux états en cause.

Le deuxième : concession quadripartite conclue le 14 mars 1986, entre le Ministre des Transports des deux pays et les deux Sociétés Française et Anglaise conces-

sionnaires « France Manche SA » et « The Channel Tunnel Group LTD », n'est plus une convention internationale créant des liens juridiques entre États, mais un contrat par lequel les deux sociétés choisies reçoivent des deux ministres des transports, agissant dans le cadre des compétences qui leur sont propres « le droit et l'obligation d'assurer conjointement et solidairement la conception, le financement, la construction et l'exploitation » de la liaison fixe.

Désirant ainsi obtenir des engagements solidaires des sociétés, entendant confier l'exploitation du lien fixe aux Sociétés chargées de la construction, la France et l'Angleterre ont choisi la formule d'un contrat unique, ne relevant ni du droit Français ni du droit Britannique. C'est un contrat international gouverné par ses propres dispositions y compris celles renvoyant dans certains cas aux droits nationaux.

Un tel contrat définit d'une part une coopération entre les deux gouvernements qui ont été obligés de prévoir des aménagements dans le domaine de leurs frontières, de la modification de l'insularité britannique, du fonctionnement de leurs administrations propres dans l'enceinte de la concession, et d'envisager la création d'une commission inter-gouvernementale, chargée de traiter les problèmes au fur et à mesure qu'ils se présenteront, et dotée de pouvoirs larges d'investigation, d'inspection et d'instruction nécessaires à l'accomplissement de toutes les tâches.

L'exploitation, bien que laissée au libre arbitre des concessionnaires, est soumise à des règles de circulation minimum de jour comme de nuit, le service devant être continu et le même pour tous, sans discrimination de nationalité ni de sens de circulation.

Enfin, il est fait obligation aux concessionnaires de proposer, dans les dix ans après la mise en service, un projet de deuxième liaison fixe autoroutière.

En matière juridique, il s'agit certes d'innovation où des difficultés supplémentaires ont de grandes chances de survenir mais pour lesquelles des juristes compte tenu de la volonté tant des États que des Entreprises, sauront certainement trouver des solutions.

TECHNIQUEMENT

Le principe de la liaison retenue consiste en deux tunnels ferroviaires unidirectionnels, à voie unique, de 7,3 m de diamètre et d'un tunnel de service de 4,5 m de diamètre situé entre les précédents, pour les besoins de la ventilation, de l'entretien et de la sécurité. La longueur du tunnel sera approximativement de 50 km dont 37 km sous la mer. L'ensemble comprendra en outre des rameaux de liaison de 3,3 m de diamètre permettant de connecter les tunnels ferroviaires au tunnel de service tous les 375 m et des rameaux de pistonement de 2,2 m de diamètre, destinés à réduire la résistance aérodynamique sur les trains, et reliant les tunnels ferroviaires tous les 250 m (fig. 2).

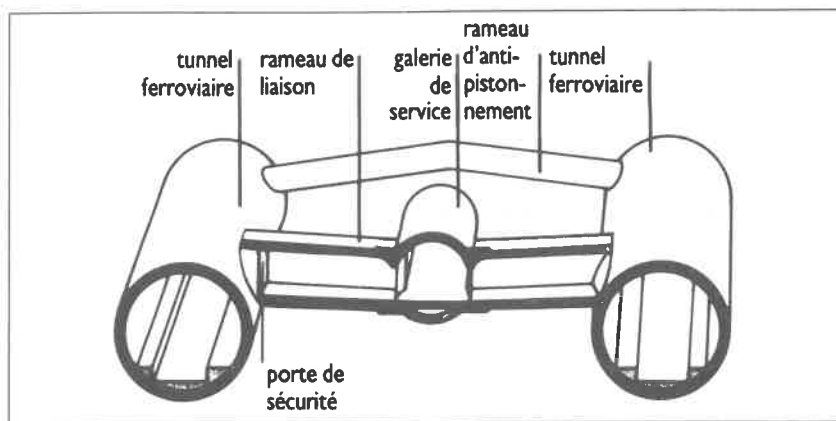


Fig. 2 - Coupe des tunnels.

Néanmoins le traité de Canterbury confie à un tribunal arbitral le soin de régler les différents entre les deux États, avec référence en dernier ressort au Président de la Cour de Justice des Communautés Européennes. Le lieu d'arbitrage est Bruxelles, la procédure est normalement confidentielle et la sentence rendue est définitive et sans appel.

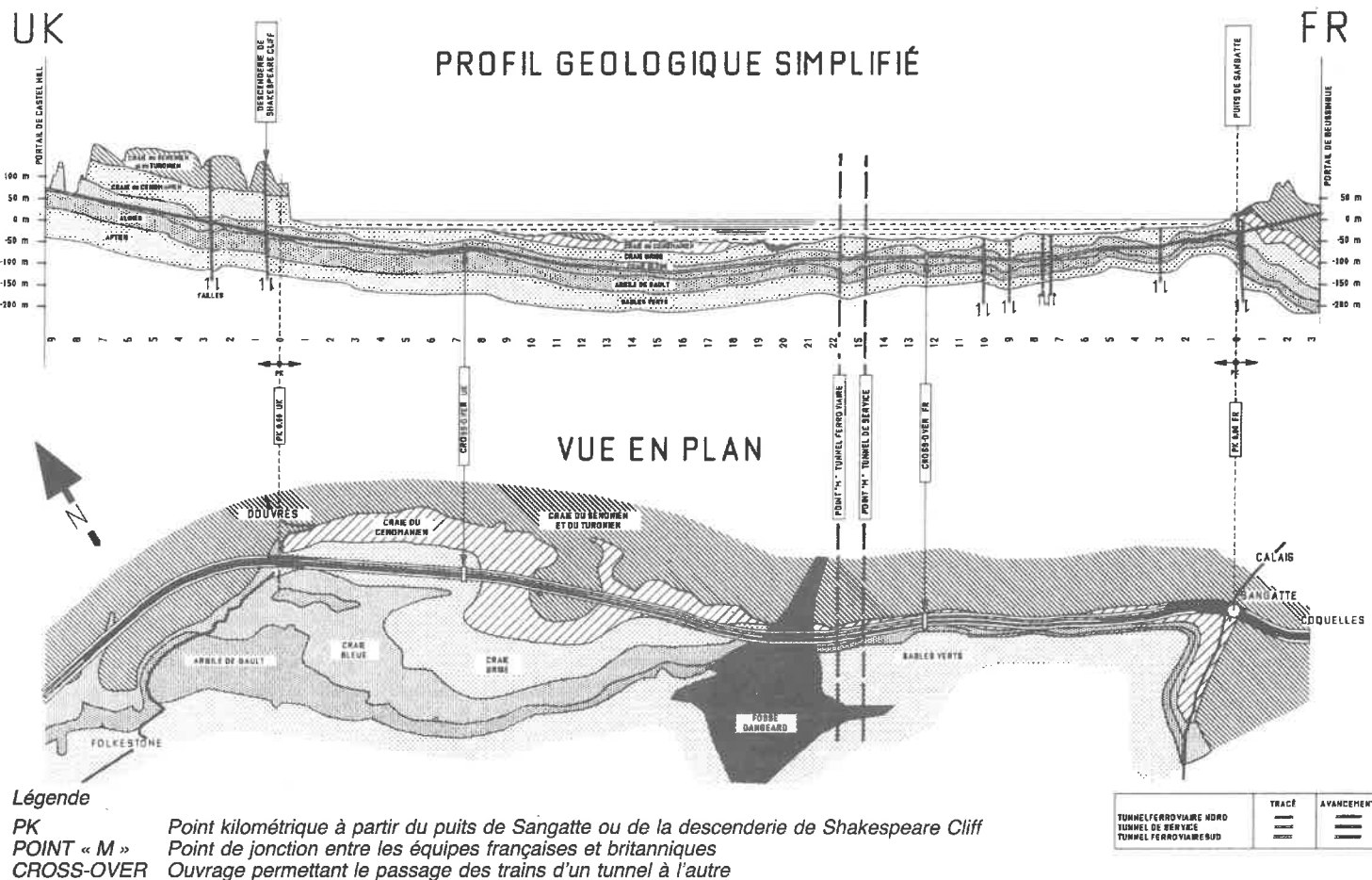
D'autre part, le contrat de concession donne aux deux concessionnaires le droit et leur crée l'obligation conjointe et solidaire de construire et d'exploiter la liaison fixe ; construction à leurs risques et périls mais avec en contrepartie le droit de percevoir pendant la durée de la concession (55 ans) des péages et redevances pour le tunnel et les installations annexes.

Les exigences requises en matière de ventilation ont entraîné le choix de mettre sous pression le tunnel de service pour que l'air s'échappe par les tunnels ferroviaires. Le tunnel de service sera donc toujours un refuge de sécurité en cas de circonstances graves. Une ventilation de secours et un système d'évacuation des fumées ont été prévus.

Les dimensions des tunnels ont été déterminées en fonction de leur utilisation de façon à conserver une tolérance hors tout encombrement de 300 mm.

La géologie de la zone que doit traverser le tunnel a été soumise à des investigations très nombreuses depuis 1865. Trois principaux types de terrains apparaissent tout le long du tunnel, de bas en haut, ce

AVANCEMENT AU 11 OCTOBRE 1989



sont : l'argile de Gault, la craie bleue et la craie grise. La première très imperméable est fortement plastique avec une déformation irrégulière sous contrainte. La craie bleue, modérément résistante, régulièrement et légèrement plastique, exempte de discontinuité ouverte et pratiquement imperméable, constitue une couche de terrain idéale pour un creusement de tunnel. La craie grise, quant à elle, est fracturée et relativement fragile.

Le tracé du tunnel a donc été conçu pour placer le maximum de la longueur dans le milieu le plus favorable.

Afin de minimiser les risques de terrains instables ou de zones à forte perméabilité des sondages, atteignant 100 m de longueur, seront forés à l'avancement du tunnel de service. En cas de nécessité, la zone instable ou de forte perméabilité sera injectée au mortier de ciment à prise rapide.

Les tunnels sont creusés à partir de deux points d'attaque, en France et en Angleterre, situés près de la côte, par 11 tunneliers à front ouvert ou convertibles suivant les nécessités du terrain. Le creusement de tous les tunnels se fait en parallèle à l'exception de la portion sous la terre française, de distance plus courte, où le même tunnelier servira deux fois.

Côté français, l'attaque se fait au puits d'accès de Sangatte, véritable usine souterraine de 55 m de diamètre et de 65 m de profondeur, approvisionnée par 4 as-

censeurs et 4 ponts roulants, dont un de 430 t, deux de 60 t et un de 30 t.

En Angleterre, l'installation se trouve au pied de la falaise de Shakespeare Cliff, avec galerie d'accès sous les falaises et chambre de montage souterraine.

Suivant les cas, tunneliers ouverts ou tunnelier de confinement, les déblais seront effectués par système classique (locomotives électriques tirant des wagons sur voies doubles installées dans le tunnel), ou par système hydraulique, sous forme de boues rejetées et traitées à l'entrée du tunnel.

Les revêtements seront de type voussoirs, soit clavetés, soit boulonnés lorsque l'étanchéité absolue sera nécessaire, ou aux bifurcations.

Le drainage est conçu pour récupérer les eaux aux quatre points bas du profil en long, centrale de pompage aux multiples fonctions, y compris celle d'éteindre les incendies.

Le programme de construction, établi dès l'origine pour permettre le début d'exploitation lors de la pointe estivale de la demande de la traversée de la Manche en 1993, dépend évidemment de la vitesse de construction des tunnels, car la construction des terminaux, opérations de terrassement en site terrestre et la construction de bâtiments, correspond à des travaux dont les techniques et les délais sont bien maîtrisés.

Un autre problème technique, complètement nouveau est posé par les navettes de transport, qui doivent répondre à des critères de fonctionnement et de sécurité très rigides.

Malgré l'avancement des travaux tels qu'ils apparaissent au graphique ci-joint, le pari n'est pas encore gagné même si chaque journée apporte son lot d'expérience et une meilleure maîtrise des différents aléas possibles.

ORGANISATION ET MANAGEMENT

Comment répondre aux obligations imposées aux concessionnaires français et britanniques, de concevoir, financer, construire et exploiter la liaison Transmanche tout en respectant la parité et en organisant la solidarité entre eux.

Pour mettre sur pied une organisation franco-britannique intégrée, dirigée par un conseil exécutif unique, il a été créé entre les Sociétés concessionnaires, une société en participation, EUROTUNNEL, chargée de répondre à ces obligations.

Afin de parvenir à un fonctionnement sans heurts de l'organisation, les statuts des différentes sociétés prévoient que les conseils d'administration seront, dans toute la mesure du possible, identiques.

Au sommet, un conseil commun est composé des administrateurs des deux Sociétés EUROTUNNEL SA et PLC. Cette

structure assure un mécanisme de décision intégré. Il est renforcé par le mécanisme de jumelage des actions, qui représente une innovation du projet.

L'actionnariat est conjoint. Les actions de EUROTUNNEL SA et PLC sont les mêmes. Chaque action d'une société est jumelée avec une action de l'autre société et constitue une « unité » indissociable. Ce sont ces « Unités », ces actions, qui ont été émises. Il s'agit donc bien d'un actionnariat commun qui renforce le principe de la structure intégrée (fig. 3).

Eurotunnel a confié la conception et la réalisation de son projet à un groupement franco-britannique, Transmanche Link (TML) formé de :

— Transmanche Construction, Groupe Français de Bouygues, Dumez, SAE, SGE, et Spie Batignolles.

— Translink, groupement britannique de Balfour Beatty, Costain, Tarmac, Taylor Woodrow et Wimpey (fig. 4).

Impliquant au maximum les groupements d'entreprise, en amont comme conseils et en aval comme réalisateurs du projet, l'organisation est conçue de telle façon que la direction générale puisse recevoir en permanence les informations en provenance des exécutants, ce qui lui permet d'exercer un contrôle continu et d'envisager les actions correctrices éventuelles. Le cycle de contrôle du projet (voir fig. 5) se répète tout au long du projet, la direction étant ainsi en mesure d'analyser les effets des demandes provenant des opérationnels, du commercial et du marketing, au même titre que les conséquences d'événements extérieurs, tels que : demandes imprévues des autorités, taux d'inflation plus élevé que prévu, etc...

L'organisation de la direction du projet d'Eurotunnel, qui assure l'essentiel des relations avec Transmanche Link et gère le contrat, mérite une attention particulière. Elle est du type matriciel :

Opérationnellement : suivant les lignes, l'ensemble est divisé en 6 projets regroupés deux par deux sous l'autorité d'un directeur :

— Travaux Grande-Bretagne, — Tunnel et Terminal.
— Travaux France, — Tunnel et Terminal.
— Systèmes de transport, — Organisation et matériel roulant.

Fonctionnellement suivant les colonnes, l'ensemble est divisé en 6 disciplines :

— Ingénierie du système de transport,
— Études Génie Civil,
— Construction,
— Direction des Équipements,
— Contrôle du projet — coûts délais,
— Administration générale.

A l'intersection des lignes et des colonnes les équipes de travail exécutent en rendant compte de façon permanente à la hiérarchie « ligne », tout en appliquant les consignes générales de la hiérarchie « colonne » (fig. 6).

L'ensemble ne peut fonctionner que dans la mesure où circule l'information en tous les points du système et où tout le monde aura pris conscience de l'importance de cette circulation.

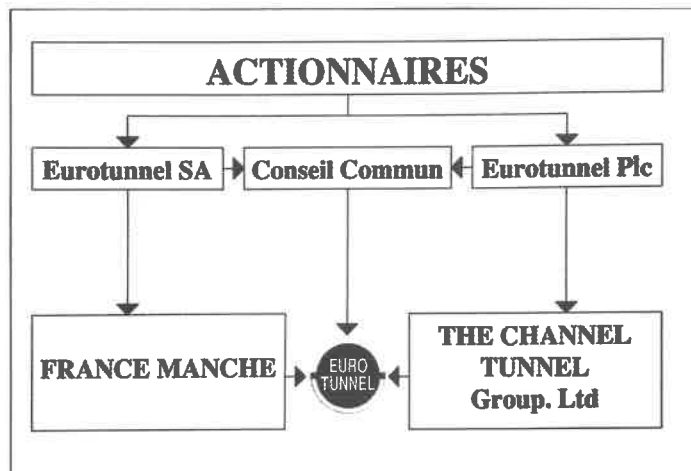


Fig. 3 - Eurotunnel : organisation.

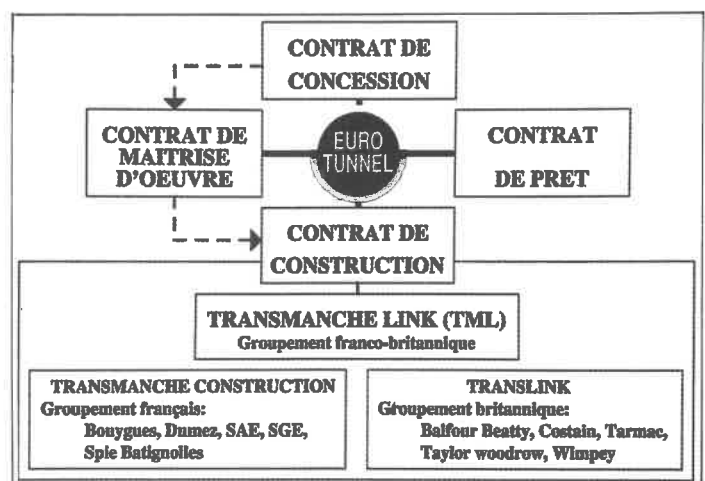


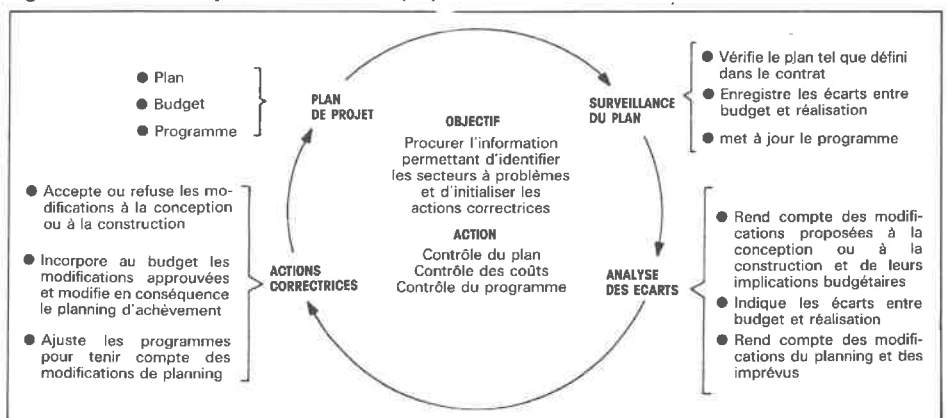
Fig. 4 - La conception et la réalisation du tunnel sous la Manche ont été confiées à TransManche Link.

FINANCIÈREMENT

Une des conditions fondamentales du lancement d'appel d'offres pour la construction, le financement et l'exploitation d'un lien fixe à travers la Manche était que le financement serait entièrement privé, sans aucune garantie des États. Ils exigeaient en outre des preuves que les

financiers soutiennent avec des engagements fermes ce qui n'était que des projets et que la construction soit soutenue par des engagements fermes des entreprises promotrices. C'était un défi auquel les banques et les marchés financiers ont répondu positivement.

Fig. 5 - Eurotunnel : cycle de contrôle du projet.



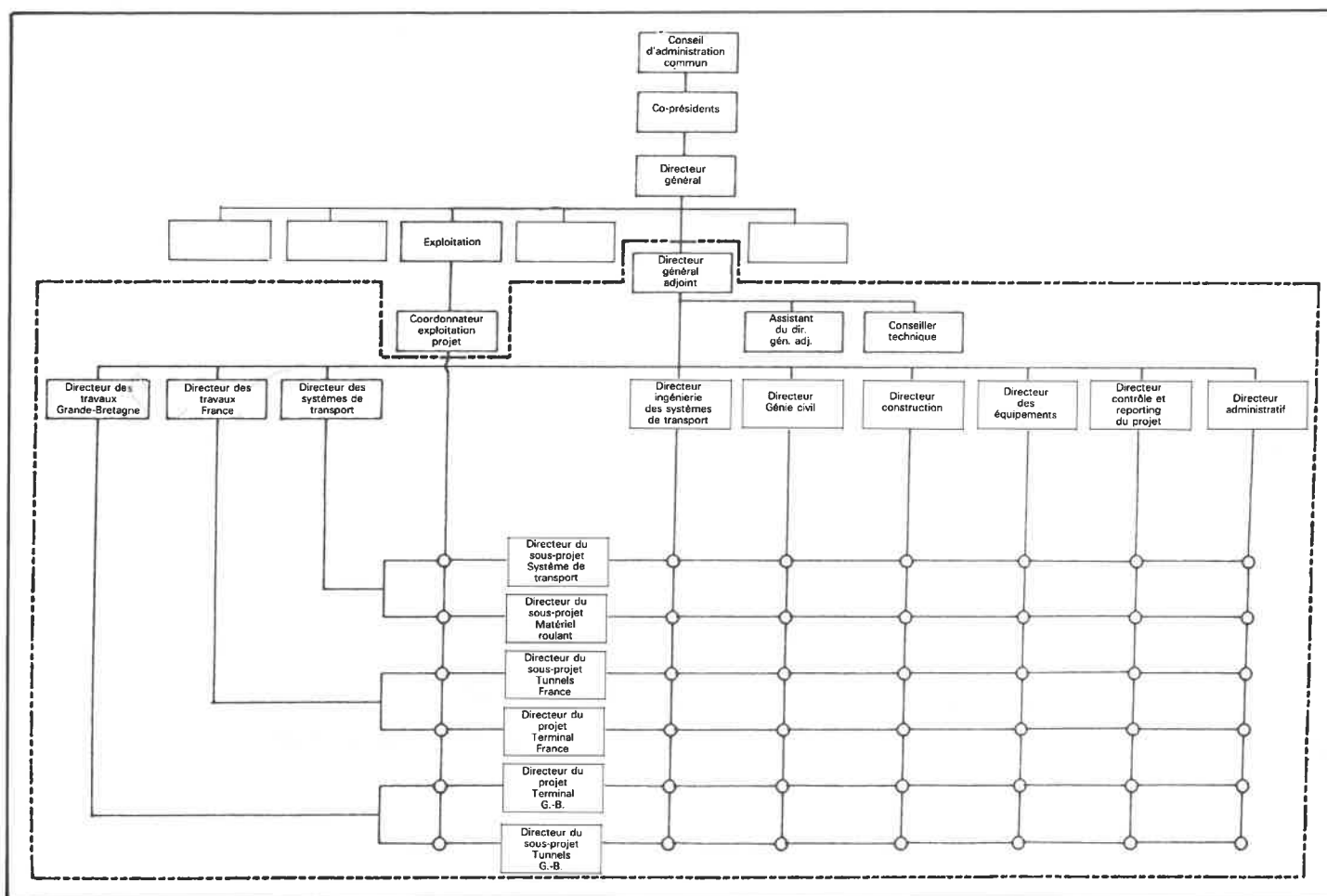


Fig. 6 - Eurotunnel : diagramme d'organisation matricielle. Direction du projet.

Le tableau ci-contre présente les estimations de l'ensemble des montants à financer :

Afin d'éviter d'avoir à se retourner par la suite vers les banquiers ou les actionnaires, en cas d'aléas ou de retards, c'est dès le départ qu'il a été nécessaire de prévoir un surfinancement et l'évaluation de la somme à lever a été portée de 49 à 60 milliards de francs.

Pour des raisons de garantie, basée d'une part sur l'actif et d'autre part sur la concession de 55 ans d'exploitation, les banques exigèrent un minimum de capitaux propres fixés à 10 milliards de francs ; ces fonds devant être réellement réunis et 7 milliards devant être utilisés pour le tunnel avant le tirage des premiers crédits.

Sans aborder les négociations entre actionnaires et prêteurs pour qu'ils aient chacun confiance dans le programme présenté par une Société, indépendante, créée « *ex nihilo* » de l'association de deux groupements d'Entreprises Français et Britanniques, nous dirons seulement qu'ils furent longs et difficiles et ne trouvèrent finalement leur solution que lors de la signature par les banques de l'accord de crédit, le 4 novembre 1987, juste avant l'appel public à l'épargne du 16 novembre 1987.

Estimations de l'ensemble des montants à financer :

	millions de francs
Coûts de construction (valeur juillet 1987) ...	27 881
Frais généraux et autres coûts (valeur juillet 1987) ...	6 416
Provision pour inflation jusqu'à l'ouverture du tunnel ...	4 691
Coûts de financement nets ...	9 751
Total	48 739

Coûts de construction

Les principaux postes de dépenses de construction sont estimés comme suit (valeur juillet 1987) :

	millions de francs
Tunnels et leur revêtement et autres structures souterraines (travaux en dépenses contrôlées) ...	13 670
Terminaux, équipements fixes, système de commande automatique des trains et système de refroidissement des tunnels (principalement travaux à forfait) ...	11 693
Navettes, locomotives et autres marchés de fournitures ...	2 518
Total	27 881

(Source : Note d'information de novembre 1987 pour l'appel public à l'épargne).

Le plan de financement définitif se présentait donc ainsi :

Capitaux propres	Millions de francs
— souscription privée	2 530
— émission publique	7 700
Total des Capitaux Propres	10 230
Crédits bancaires	
— principal	40 000
— crédit standby	10 000
Total des crédits bancaires	50 000
Total Général	60 230

Il fallait donc trouver 10 milliards de francs de capital. Au départ, les promoteurs, c'est-à-dire France Manche et Channel Tunnel Group, devinrent les actionnaires fondateurs et investirent 500 millions de francs jusqu'en septembre 1986. C'était « Capital 1 ».

En octobre 1986, les circonstances étant favorables et les actionnaires fondateurs ne pouvant plus le porter seul, il fut décidé de faire un placement de 2 milliards de francs auprès d'institutions financières pour la plupart Françaises et Britanniques. Ce fut « Capital 2 ».

Cela permit à la Société Eurotunnel de devenir vraiment indépendante puisque

ses actionnaires fondateurs (à la fois promoteurs et constructeurs) se retrouvaient largement minoritaires.

L'appel à l'épargne publique devait avoir lieu au début de l'été 1987, mais les problèmes techniques à résoudre pour « Capital 3 » n'étaient pas simples.

1) On n'émettait pas des titres d'une Société Anglaise ou d'une Société Française propriétaires chacune d'une moitié de Tunnel mais le titre unique d'une Société binationale.

2) Cette société n'existait pas, du moins n'avait pas de bilans et comptes d'exploitation passés : tout était des prévisions donc forcément entaché d'incertitude.

3) Le titre devait, pour pouvoir attirer le public, être « liquide », c'est-à-dire négociable en bourse donc coté au marché officiel.

4) Il devait être négociable aussi bien à Paris qu'à Londres donc se plier aux règles et usages des deux marchés.

5) Il n'y aurait pas de dividendes pendant 6 ans.

6) Il devait y avoir au départ égalité entre l'actionariat Français et Britannique.

En fait la souscription ne put avoir lieu que le 16 novembre 1987, les banques chargées de l'émission ayant, en quelque sorte, fait une avance sur l'augmentation de capital pour permettre d'attendre cette date sans arrêter les travaux, ce qui aurait été désastreux.

Malgré le « Krach » boursier du 19 octobre, 200 000 « petits porteurs » Français et 100 000 Britanniques devinrent acquéreurs d'actions, au prix de 35 F par Unité. Le titre tomba à 25 F peu après l'ouverture mais retrouva sa valeur dès mars 1988 et n'a cessé de croître depuis octobre 1988 jusqu'à juin 1989 où il dépasse 126 F. Cependant des nouvelles alarmistes font chuter de nouveau les cours qui sont actuellement proches de 50 F.

Que le titre monte ou baisse n'a pas de relation fondamentale avec le fonctionnement de la Société, puisqu'il ne s'agit que d'offre et de demande en Bourse, par contre c'est à l'évidence, un baromètre des difficultés de l'Entreprise. Or elles sont nombreuses et se traduisent toutes par une augmentation de la masse financière :

— pour les tunnels payés en dépense contrôlée, un retard, une baisse de rendement, des aléas techniques... se traduisent par une augmentation du coût ;

— pour le matériel de transport, une modification des règles de sécurité, le manque de définition initiale, les caractéristiques technologiques précisées petit à petit, la réalisation de véhicules entièrement nouveaux... se traduisent également par une augmentation du coût ;

— pour les terminaux, l'absence de définition précise du programme initial, l'évo-

lution de la conjoncture entraînant une révision de la hausse des besoins, les prescriptions imposées par le développement économique régional, etc. se traduisent encore par une augmentation du coût.

De 10 % prévue à l'origine, l'augmentation des coûts de construction est actuellement estimée à 40 % et certains prédisent même qu'elle sera de 70 % à la fin de l'opération. L'évaluation passerait ainsi de 49 à 85 milliards.

L'objectif de notre propos n'étant pas d'analyser des causes ou de rechercher des responsabilités on ne peut qu'essayer d'envisager les solutions possibles.

Une étude de la « Vie Française » en octobre 1989 fait état à ce sujet de 3 scénarios, intitulés « le compromis » où maître d'œuvre et Entreprises finissent par s'entendre, au détriment certes d'une rentabilité des titres émis, mais avec un rendement certain à plus long terme — « la dérive » où l'entente ne se fait que beaucoup plus tard moyennant un effort financier plus important tel que les banques se remboursant en premier lieu, le rendement du titre deviendra aléatoire — et enfin « le clash » qui conduit à un arrêt des travaux, les crédits ayant été supprimés par les banques, intervention des états pour relancer l'affaire, vu l'intérêt économique, nouveaux partenaires financiers pour apporter des capitaux frais. L'actionnaire d'origine sera alors la principale victime.

Quoi qu'il en soit, d'après les réponses faites par Monsieur André Bénard, Co-président d'Eurotunnel, à la Vie Française, les crédits actuels sont suffisants pour poursuivre jusqu'à la fin 1992, à condition que les banques autorisent les tirages de crédit. Or, suivant l'accord, cela n'est possible que si ce financement est suffisant pour l'achèvement du projet. Malheureusement ce n'est pas le cas : beaucoup de choses vont devoir être renégociées, et cela dépend essentiellement de la crédibilité que l'on peut accorder au projet.

COMMERCIALEMENT

Depuis plus de deux siècles, la seule chose qui n'a jamais été mise en doute, c'est l'intérêt économique et commercial d'une telle liaison. Mais si, sous l'époque Napoléonienne, on pouvait se contenter d'une simple intuition (comme celle qu'un peu plus tard Ferdinand de Lesseps aura pour le Canal de Suez), il est indispensable de nos jours d'apporter des preuves beaucoup plus palpables.

Or celles-ci s'inscrivent dans deux directions, d'une part la nécessité du trafic voyageurs et marchandises sans rupture de charge entre l'Angleterre et la France, l'Europe entière même, à l'échance de la mise en service. D'autre part l'immense impact du développement régional aussi bien d'un côté comme de l'autre de la Manche.

Bataille commerciale intense entre les tenants du tunnel et ceux qui assurent le trafic actuel, les prévisions et les accords passés par Eurotunnel apparaissent certains.

En effet, tant British Rail que la SNCF ont passé des accords pour obtenir d'Eurotunnel 50 % du trafic. En outre, le Tunnel sous la Manche a été un des facteurs principaux de décision de la construction, du TGV Nord qui est maintenant dans sa phase d'exécution. Enfin on peut déjà constater que l'ensemble du réseau Européen se prépare à mettre en place un réseau cohérent et concret.

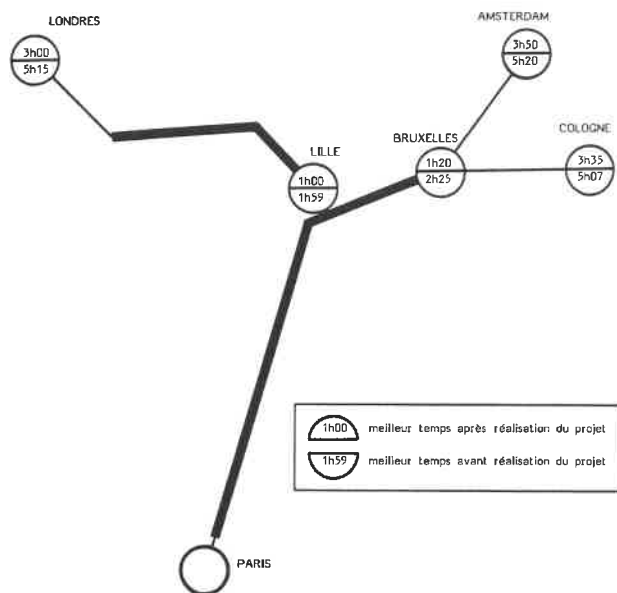
Sur le plan régional l'effet se fera sentir de deux manières différentes, d'une part pendant la construction puisqu'il y a volonté de la part des entreprises d'utiliser du personnel local et d'autre part pendant la période d'exploitation parce que du fait de leur position géographique les terminaux étaient à moins d'une heure trente minutes de PARIS-LONDRES et BRUXELLES, les régions Nord-Pas-de-Calais et du Kent sont bien décidées à développer leur économie.

C'est pourquoi, il apparaît que les tempêtes boursières, même si elles procurent une certaine gêne, ne remettront pas en cause la réalisation définitive du projet.

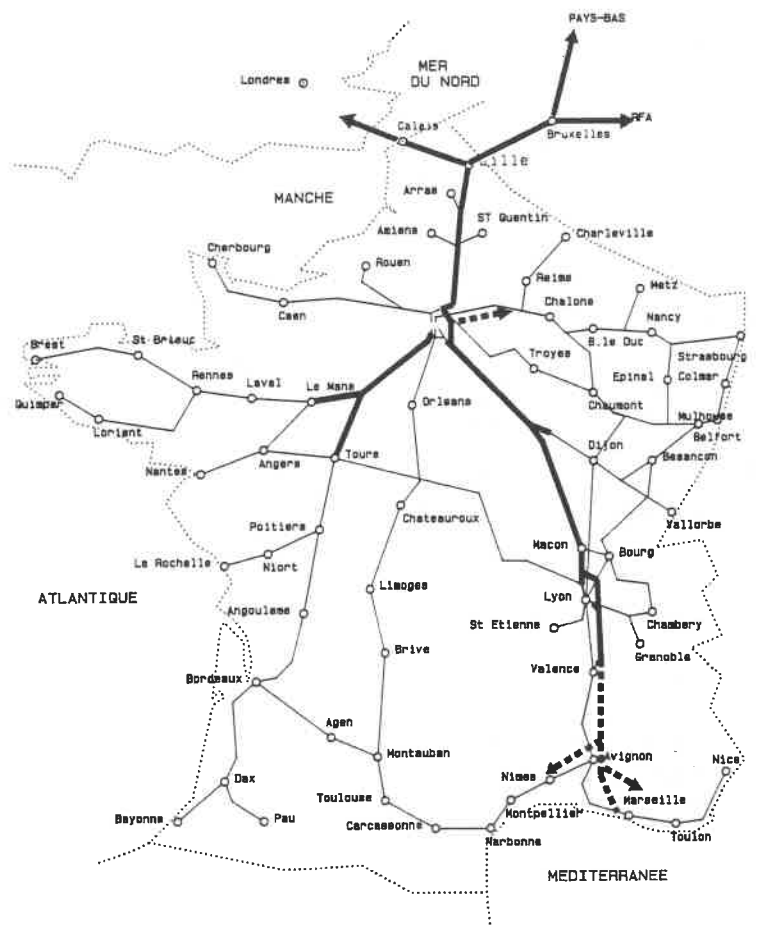
Gilles THIEVENT TP 58
Luc BABINET TP 58

Ingenieurs ETP

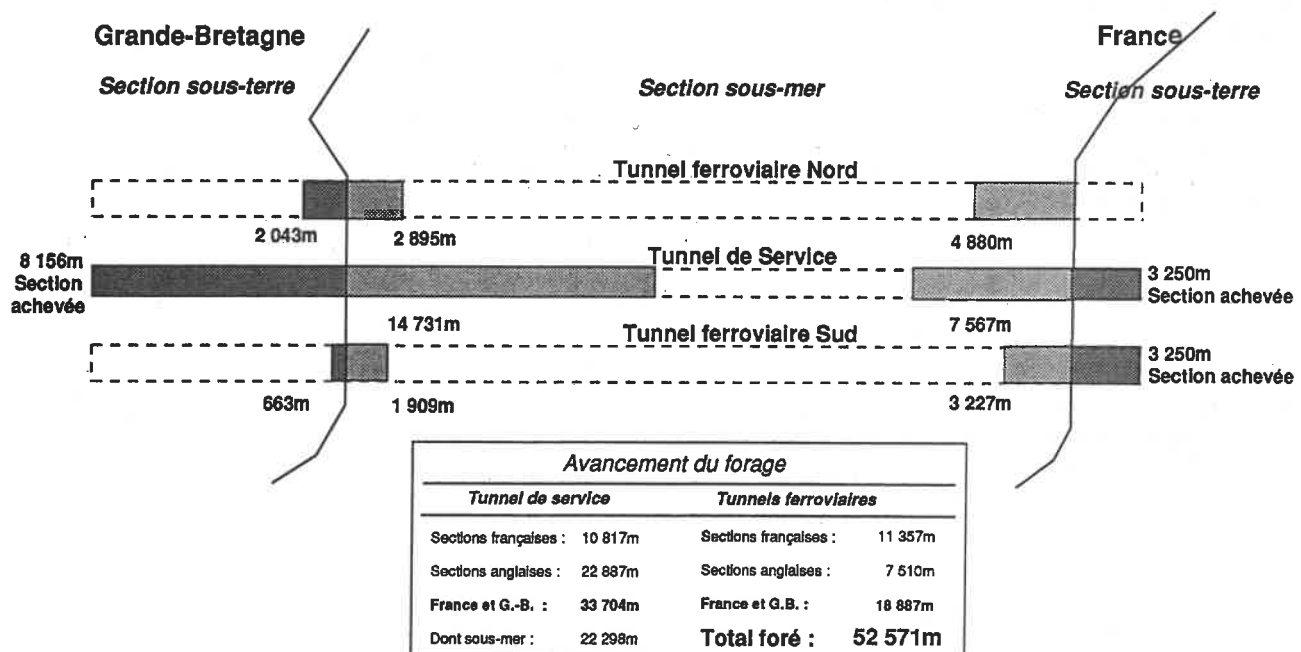
Article, extrait du numéro 368 de décembre 1989 de la revue l'Ingénieur Constructeur, avec l'aimable autorisation des auteurs et de la revue de la SID-ETP.



Desserte au départ de PARIS
Meilleur temps avant et après réalisation du projet jusqu'à BRUXELLES.



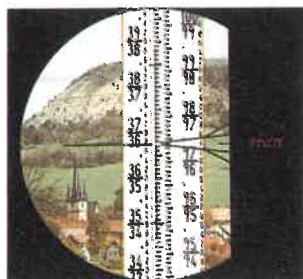
Avancement des travaux de forage au 22 janvier 1990



RENI 002 A



1^{er} NIVEAU DE PRECISION ENREGISTRANT



Contrôle automatique de la position de visée



Calcul automatique des résultats de nivellement



Carnet d'arpenteur superflu



Enregistrement électronique de données pour leur traitement automatique en continu



Equipement de mires pour l'industrie



op FAGUET

- Nivellements par cheminement de 1^{er} et 2^e ordres
- Nivellements motorisés
- Levés altimétriques de précision dans la technique et la science, par exemple :
 - pour mesures de déformation sur les barrages, les fondations de bâtiments et sur les terrains affaissés des mines,
 - pour la détermination de mouvements

récents de la croûte terrestre,
- pour les montages de navires, d'avions et de turbines,
- mesures au temps réel par sa sortie RS232 sur microordinateur IBM/PC ou HP.

- Divers accessoires : mires de précision (3 - 1,75 - 1 m). Mires pour l'industrie 0,26. OPTION : 10 mm / 5 mm micromètre. Oculaire interchangeable.

Avec nos niveaux, vous êtes toujours à la hauteur.



Agent général pour la France

COMPAGNIE GENERALE DE PHYSIQUE

Assistance - Maintenance

48, Bd de la Bastille - 75012 PARIS - Tél. : (1) 43.44.12.34. Fax : (1) 43.45.43.69
Télex : 220 231 Cogephy Paris

Introduction

par M. LEVY, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, Directeur des travaux Eurotunnel France

Monsieur le Président, Mesdames, Messieurs,

Permettez-moi au nom d'Eurotunnel que je représente ici, de vous souhaiter la bienvenue sur le chantier du tunnel sous la Manche et de vous remercier d'avoir choisi ce lieu pour y organiser le 16^e colloque "Topométrie souterraine" de votre Association Française de Topographie.

J'ai en effet appris, sur un certain nombre de chantiers de travaux souterrains (Sainte-Marie-aux-Mines, Frejus, TGV Atlantique... etc) à apprécier tout particulièrement le travail, la compétence et la discrétion des géomètres et topographes en galerie qui utilisent des techniques sophistiquées et des méthodes scientifiques dans un environnement très difficile et en perturbant le moins possible le déroulement des travaux. Le chantier d'Eurotunnel ne fait pas exception à la règle ; d'une longueur exceptionnelle il est piloté, du côté français, par les équipes de M. MORLOT de TML avec qui nos représentants MM. JOSEPH et MONTBERTRAND coopèrent dans le meilleur esprit au titre du contrôle ; l'erreur n'est pas permise car la rectification n'est pas possible sans dépenses "astronomiques" et nous aurons tous un pincement au cœur lorsque nous approcherons de la première rencontre avec nos collègues anglais.

Je suis également heureux de voir que, sur ce chantier, un certain nombre de personnes continuent à se préoccuper de l'amélioration des méthodes et de la diffusion de l'information technique malgré les contraintes que nous imposent les coûts et les délais. Je souhaite donc un plein succès à votre colloque et une longue vie à votre Association.

Ouverture du colloque

par M. PICAUVET, Ingénieur ESGT, Vice-président de l'Ordre des Géomètres-Experts,
Président du Conseil Régional Nord-Pas-de-Calais

Lorsque le Président Roger SCHAFFNER m'a demandé de bien vouloir présider, après M. LEVY, le colloque de l'Association Française de Topographie à Sangatte, j'ai immédiatement accepté, d'abord parce que membre de l'AFT on ne peut rien refuser à son Président, et ensuite comme Président du Conseil Régional de l'Ordre des Géomètres-Experts, Région Nord-Picardie, je le félicite d'avoir choisi ma région, si souvent mise à l'index à tort d'ailleurs des organisateurs de congrès et manifestations.

J'espère qu'il n'aura pas à regretter son choix et pour ma part, connaissant bien les organisateurs, je pense qu'il n'y aura aucun problème de ce côté-là.

Ma région Nord-Picardie, regroupant cinq départements (Nord-Pas-de-Calais - Somme - l'Aisne et l'Oise) reprend deux régions économiques le Nord-Pas-de-Calais et la Picardie ; très urbanisée et très peuplée (1/10^e de la population de la France y réside), la région était également très industrialisée, et rurale à la fois.

Sinistrée dans ses industries après la crise, l'exploitation charbonnière cessant, la région actuellement bénéficie, il me semble, d'un renouveau compensateur, il était temps car cette région a le plus fort taux de chômage de France, record dont nous nous passerions bien.

Si certains envisagent 1993 et l'Europe avec appréhension, je pense que pour notre région cette échéance sera bénéfique, placée au carrefour de l'Europe, dans la ligne de force Nord-Sud Européen qui va de Londres à Milan, grand axe fédérateur de l'Europe future, notre région grâce au Tunnel sous la Manche (qui entre autre démarre sous la Mer du Nord), sillonnée de TGV, autoroutes et autres axes, espère que ces flux comme les vaisseaux du corps humain, bien irrigués, engendreront une bonne santé économique et culturelle due aux échanges plus faciles.

Depuis que presque deux cents ans l'on parle du Tunnel sous la Manche, avec plus de 100 projets et deux tentatives avortées, le Tunnel sous la Manche est le "Chantier Mondial du siècle". Je me félicite pour notre branche professionnelle, que dans ce chantier le Topographe soit enfin un intervenant à part entière ;

Je m'explique :

Habituellement les topographes ou les géomètres sont essentiellement considérés comme mineurs (sans allusion ici au creusement du tunnel) dans la réalisation d'un ouvrage et c'est normal, intervenants les premiers pour l'établissement du canevas, du plan et l'implantation, ils disparaissent très vite du circuit et ne laissent, lors de l'inauguration finale aucune réalisation concrète et visible.

Dans le cas présent, s'il en est de même pour le canevas, les plans et l'implantation, l'intervention du topographe est non seulement permanente mais indispensable à la bonne marche du chantier et du bon avancement des travaux. Le topographe est ici "l'ouvrier" permanent de l'ouvrage, au même titre que les servants des tunneliers, avec en plus, l'énorme défi à tenir, de la précision des rencontres entre les forages anglais et français.

Nous allons donc voir comment avec les méthodes, les techniques et les matériels actuellement mis à notre disposition, nous pourrions relever et tenir ce défi.

Avant de passer la parole au Professeur GERVAISE, pour la partie technique, M. GUYOT-SIONNEST va vous présenter le montage financier Eurotunnel car rien ne peut, vous le savez, se réaliser sans financement préalable.

Je vous remercie de votre attention.

* * *

L'AFT tient à adresser ses vifs remerciements à MM. J. BERLEEN, J.-J. MORLOT et leurs collaborateurs pour la parfaite organisation de ce colloque.

Du nouveau en matière de détermination du Nord véritable :

La station totale gyroscopique de Sokkisha

Le Gyroscopie, en tant qu'instrument de mesure des azimuts a toujours eu une place, bien qu'assez marginale, en géodésie. C'est un appareil animé d'un mouvement de rotation autour de l'un de ses axes et qui peut être déplacé sans que la direction de cet axe soit modifiée.

A ses débuts, l'utilisation du gyroscopie était une expérience hasardeuse : des équipements lourds et volumineux, la durée d'observation trop longue, une précision trop limitée donnant des résultats peu satisfaisants.

De plus les géomètres, pour la plupart, ne maîtrisaient pas bien le fonctionnement du gyroscopie. Pas tellement du point de vue théorique mais le gyroscopie restait, dans la pratique, un instrument éloigné de l'expérience quotidienne. Le gyroscopie acquit pour ces raisons une réputation d'instrument "exotique" et complexe, réputation qui subsiste encore aujourd'hui, bien que la situation soit complètement différente.

Pendant ces vingt dernières années, des progrès significatifs ont été accomplis dans la technologie des gyroscopes conventionnels. Les instruments ayant acquis une plus grande précision, l'introduction des méthodes d'observation chronométriques plus performantes ont permis une automatisation de l'observation de la ligne centrale d'oscillation. Les procédés de mesures sont ainsi simplifiés et rapides ; il est devenu possible de mesurer l'azimut avec une déviation standard de 3'' à 6'' en l'espace de 15 à 30 minutes selon le type d'appareil.

Actuellement, les systèmes gyroscopiques optiques, théodolites gyroscopiques, attirent une attention croissante et, de plus en plus, se substituent aux gyroscopes mécaniques sur les plates-formes de navigation. Leurs performances sont telles qu'ils deviennent très compétitifs dans la nouvelle génération d'instruments de détermination du Vrai Nord.

Ainsi, **SOKKISHA**, un des premiers producteurs de matériels de topographie, commercialise depuis plusieurs années le GP1 théodolite gyroscopique qui permet le relevé

des angles et la détermination du Nord Géographique et du gisement vrai.

Cependant, il nécessite encore l'utilisation d'un analyseur et d'un chronomètre extérieurs ainsi que la prise de notes de terrains et de calculs manuels.

LES APPORTS DU GP1-2

Aujourd'hui **SOKKISHA** propose une véritable station totale gyroscopique : le GP1-2. Combiné à la station totale SET3, le gyroscopie GP1 permet la **détermination entièrement automatique des coordonnées vraies**. Plus de chronomètre et d'analyseur extérieurs, plus de calculs manuels... tout est automatique. Par simple pression d'une touche au clavier, on localise rapidement le Nord Géographique **de jour comme de nuit**. Une fois le Nord Géographique localisé, la SET3 affiche sur ses deux écrans le Gisement Vrai et l'angle horizontal lu, tous deux continuellement remis à jour en temps réel à partir du point de référence. Ce travail s'effectue dans toutes les conditions de visibilité, avec une précision de $\pm 20''$ (6 mgon) en moins de 20 minutes.

LES UTILISATEURS

Le GP1-2 intéresse toutes les sociétés de constructions publiques et privées impliquées dans les grands chantiers de travaux souterrains. Idéal sur tous terrains où les méthodes conventionnelles ne peuvent être utilisées pour la lecture du Gisement Vrai, tels que les tunnels et autres lieux clos, dans la construction de routes, de voies ferrées et de lignes électrifiées. L'Armée et la Marine au Japon et aux Etats-Unis sont déjà utilisatrices pour toutes les opérations de contrôle des appareils de navigation. D'autres applications sont possibles en études géomagnétiques pour mesurer les anomalies ou pour l'orientation des antennes de communication radio.



Méthode et construction du lien fixe transmanche : méthodes et instruments topométriques

J.-J. MORLOT — Chef du Service Topographique — TML (France)

INTRODUCTION

C'est le 13 août 1986 que la conception et la réalisation du lien fixe TRANSMANCHE et de son système de transport furent confiées au groupement franco-anglais TRANSMANCHE-LINK.

Le projet, long de 50 km, dont 37 sous mer, est constitué de deux tunnels ferroviaires de 7,60 m de diamètre dans lesquels circuleront des navettes entre les terminaux de Coquelles près de Calais et de Folkestone qu'elles relieront en 35 minutes. Celles-ci pourront accueillir tous les types de véhicules avec leurs passagers ainsi que les poids lourds jusqu'à 44 t.

En alternance avec ces navettes, des trains de voyageurs et de marchandises, ainsi que des trains à grande vitesse traverseront le détroit en moins de 30 minutes.

Entre ces deux tunnels ferroviaires, le tunnel de service de 4,80 m de diamètre assurera la sécurité et la ventilation par l'intermédiaire de rameaux transversaux d'un diamètre de 3,30 m, disposés tous les 375 m. D'autre part, afin de limiter l'effet de pistonnement provoqué par le passage des navettes et des trains qui pourront atteindre 160 km/h, des galeries de diamètre 2,20 m relieront les tunnels ferroviaires tous les 250 m. Enfin, deux traversées-jonction, dont l'une est située à 12,4 km du puits de Sangatte et l'autre 18 km plus loin, permettront aux trains de changer éventuellement de tunnels en cas de nécessité. Ces traversées-jonction rassemblent les tunnels ferroviaires dans un ouvrage unique appelé "CROSS OVER".

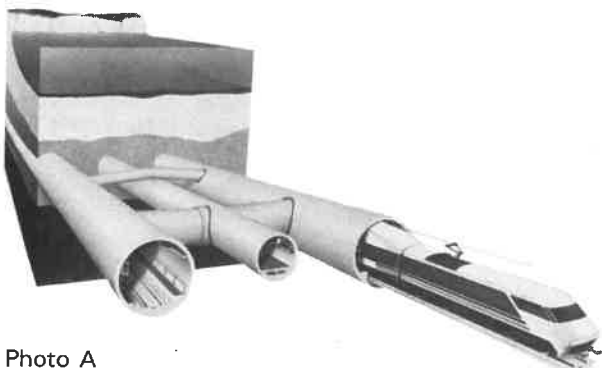


Photo A

LES CONTRAINTES

Différentes contraintes conditionnent le choix des méthodes et des instruments topographiques :

- Le tracé, défini pour satisfaire à la fois à des critères géométriques liés au passage de trains à grande vitesse, à des critères géotechniques et géographiques, ne peut être régulier. Ainsi par exemple, dans la zone du portail et dans celle du cross over, les tunnels ferroviaires se rapprochent pour laisser passer le tunnel de service au-dessus ou au-dessous d'eux avec des rayons réduits à 2 000 m.

- Les tolérances locales de construction de ± 150 mm qui doivent absorber les erreurs inhérentes au guidage et à la conduite des tunneliers, à la définition de la suite d'anneaux, à la fabrication, à la pose, à la déformation des voussoirs et des anneaux.

- Le planning, qui prévoit des avancements mensuels supérieurs à 900 m pour une jonction franco-anglaise du tunnel de service fin octobre 1990, et une liaison ferroviaire fin août 1991 au PK 15,8.

- Enfin, les équipements fixés sur le parement pendant la construction, et ceux définitifs mis en place quelques km seulement en arrière des tunneliers, ainsi que le gabarit des trains de marinage circulant toutes les vingt minutes, réduisent considérablement la surface de la section courante du tunnel ainsi que le temps de travail imparti aux opérations topographiques.

La politique adoptée par TML pour implanter et piloter ces tunnels sans ralentir la production, et malgré ces contraintes inévitables, a été de confier la topographie à des équipes internes à l'entreprise, pour plus de souplesse. Chargés du contrôle qualité de nos opérations, nous avons choisi de faire appel à un spécialiste pour intervenir à des dates-clés de l'avancement de la construction, pour confirmer le respect des tolérances fixées initialement, ou pour les opérations qui nécessitent la mise en œuvre ponctuelle de matériels onéreux et de spécialistes (géodésie spatiale confiée à I.G.N.F.I., cinq interventions de topométrie souterraine sur la durée du chantier confiées à l'Institut des Mines de Bochum).

LE RESEAU TRANSMANCHE

Pour permettre la conception, l'implantation et le contrôle des ouvrages de ce projet "à cheval" sur deux pays, il était essentiel d'utiliser un système de référence unique.

En effet, la représentation en vigueur dans la région de Calais utilise le système Lambert. Nos voisins travaillent en projection cylindrique UTM. Les systèmes altimétriques sont également différents : IGN 69 et NGF pour le Pas-de-Calais, Ordnance Datum Newlyn pour l'Angleterre.

Nous chargeons donc les deux spécialistes que sont l'IGN et son homologue britannique Ordnance Survey (O.S.) d'établir un système de projection spécifique. La projection Mercator Transverse utilisée pour le dernier projet de 1974 est reprise. Le méridien origine est sensiblement au milieu de notre tracé. Pour éviter toutes confusions dans le jeu de coordonnées des points géodésiques existants, obtenues à la suite de campagnes d'observations complémentaires, on effectue une translation des axes qui porte l'intersection du méridien origine $1^{\circ}30' E$ avec le parallèle 49° à $X - 40\ 000$ m et $Y - 1\ 000$ m. Ce jeu de coordonnées est appelé Channel Tunnel Grid 86. Les précisions de l'ordre de ± 10 cm sur ces coordonnées sont insuffisantes pour réaliser la jonction franco-anglaise des tunnels sous mer. Aussi, nous demandons à IGN et à

O.S., conformément à notre politique de la qualité, d'effectuer une campagne de contrôle G.P.S. sur dix points du canevas de base, dont deux au moins devaient être visibles depuis le chantier. Le but était d'atteindre une précision de 10^{-6} , et ± 5 cm sur le décalage altimétrique entre les systèmes français et anglais.

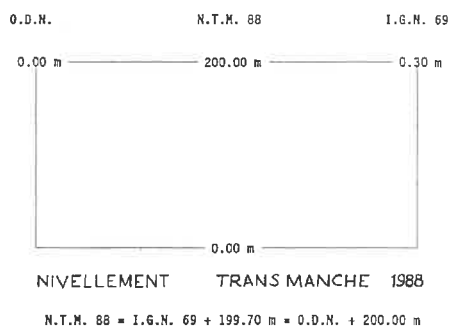
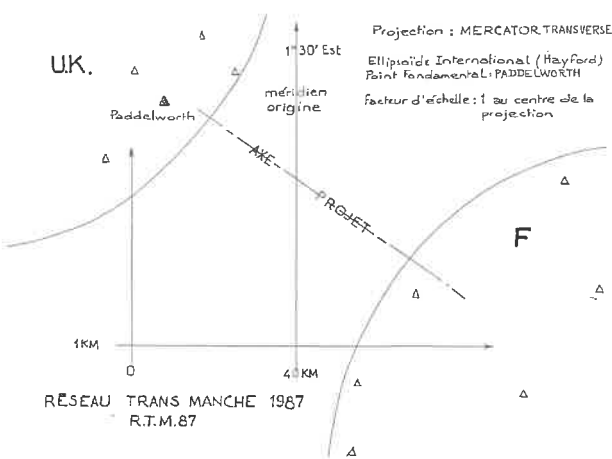
Cette campagne menée fin 1987 donnait lieu à un nouveau jeu de coordonnées dénommé Réseau TRANSMANCHE 87 (RTM 87) avec lequel nous travaillons aujourd'hui. La précision de 10^{-6} était atteinte.

En altimétrie, la valeur du décalage connue jusqu'alors entre les deux systèmes de référence français et anglais était de $0,442$ m à ± 2 cm près. Cette valeur s'appuyait sur des hypothèses établies par Cartwright et Crease en 1962, obtenues par nivellement hydrodynamique, et le système commun, utilisé au début de la construction s'appelait alors le Channel Tunnel Hight Datum 86 (CTHD 86).

A la suite du contrôle externe demandé à I.G.N./O.S. fin 87, le décalage altimétrique qui a été finalement retenu est de 30 cm, moyenne pondérée des estimations obtenues à partir de données marégraphiques, et des observations G.P.S. des campagnes d'août 86 et de décembre 87. L'écart-type a posteriori calculé par I.G.N. est de ± 8 cm.

Afin de n'utiliser que des altitudes positives sur le projet, nous décidons de l'origine du nouveau système appelé Nivellement TRANSMANCHE 88 (NTM 88) à 200 m sous le zéro du système anglais O.D.N.

Photo D



LE CANEVAS D'APPUI DE SANGATTE

De façon à avoir des points directement utilisables pour les besoins du chantier, il fallait densifier le réseau géodésique et altimétrique.

En planimétrie, cinq points I.G.N. existants et cinq nouveaux points matérialisés par des piliers forment ce canevas complémentaire, à l'intérieur duquel deux réseaux de six piliers augmentent la densité dans la zone du puits et dans celle du portail. Après observation des angles et des distances de ce canevas, le calcul et la compensation en bloc selon les moindres carrés mettent en évidence une précision de ± 8 mm sur ces points.

En altimétrie, une maille de 14 km, composée de 17 repères de nivellement, relie les repères I.G.N. de Sangatte à ceux de Coquelles. Le but de ce nivellement était de vérifier la stabilité des repères existants et de définir l'altitude de nouveaux repères pour les besoins du chantier. Les fermatures des cheminements sont inférieures au mm.

Ce réseau appelé "canevas d'appui de Sangatte" nous a permis d'implanter le puits, le portail, ainsi que toutes les installations de chantier. Il nous sert surtout d'appui pour la construction et le contrôle des tunnels.

CANEVAS DE SANGATTE

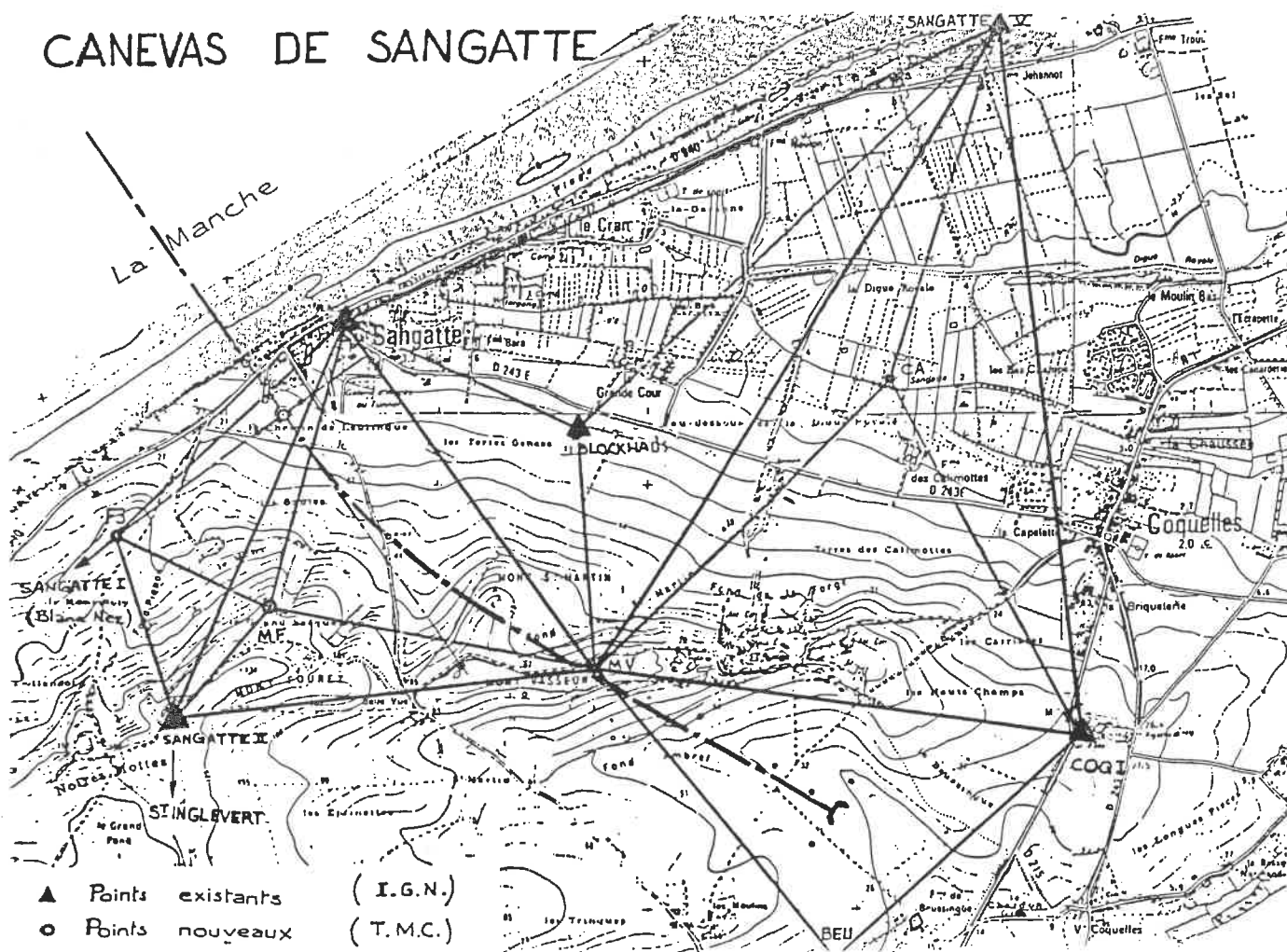
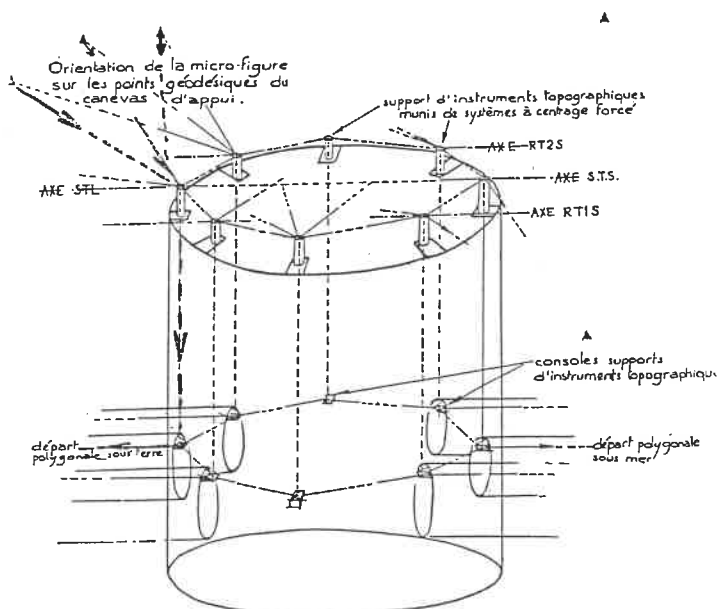


Photo E

LA DESCENTE DE BASE

Le transfert de la géométrie au niveau des tunnels "dans le mm" ne peut se faire que par le puits de SANGATTE. Pour réaliser la descente de base, nous avons mis en place huit tubes métalliques en surplomb au-dessus du puits, au niveau du couronnement, selon les axes des tunnels et un diamètre perpendiculaire. Huit points homologues situés 45 m plus bas ont été positionnés à l'aide d'une lunette nadiro-zénithale. Ils sont solidaires de la paroi, seul élément stable, en voûte des gares, et ont servi à l'orientation des tunnels. L'octogone haut est rattaché aux points du canevas d'appui, et toutes les distances entre ses points ont été mesurées. Les résidus obtenus après compensation de cette trilatération sont inférieurs à 0,5 mm. Le gisement suivant l'axe du tunnel de service a été obtenu à partir de trois cheminements différents à 5 dmgr près.

L'encombrement du puits par les équipements de toutes sortes nous interdisait les visées plongeantes en biais — entre points hauts et points bas —. Nous avons essayé une première méthode qui



Descente de base

Photo F

consistait à observer le point haut dont l'alésage d'1 mm de diamètre était éclairé, à l'aide d'une lunette zénithale montée sur deux plateaux micrométriques croisés, stationnée sur le point bas. Le but étant alors d'amener le point bas sur la verticale du point haut. Le réglage délicat de la lunette zénithale et le coût de l'équipement nous ont amenés à mettre au point une méthode plus simple, réalisable avec nos instruments, et réitérable pendant la construction des tunnels :

Stationner le point bas avec un théodolite muni d'un oculaire coudé et observer le point haut dans diverses positions du limbe, ce qui est possible en raison du faible écart entre les deux points. On remarque toutefois que les couples observés (α i, Zi) suivent une fonction sinusoïdale du type $Z_i = A \cos(\alpha + B) + C$ dont les coefficients A, B, C peuvent être calculés pour obtenir les écarts d et l'orientation α pour chaque point bas. Finalement, la précision obtenue sur ces points est meilleure que $\pm 0,6$ mm, celle du gisement transféré au niveau des tunnels de ± 6 dmgr.

De même, deux méthodes ont été testées pour transférer l'altimétrie :

- Une chaîne étalonnée suspendue et maintenue verticale par un poids tendeur de 5 kg est observée simultanément à l'aide de deux niveaux munis de micromètres, l'un en haut, l'autre au niveau des tunnels. Le contrôle s'effectue par réitération après décalage vertical du ruban et changement de station. Il est à noter l'incidence non négligeable d'une variation de température de 1 à 2°C sur la longueur du ruban.

- Les distancemètres actuels nous permettent de mesurer la dénivelée entre un réflecteur monté sur l'un de nos tubes, et le point bas sur lequel on a stationné un théodolite muni du distancemètre. Des observations de la distance zénithale sur mire centimétrique permettent le calcul de l'altitude de repères scellés dans la paroi du puits.

Les deux méthodes donnent des résultats à $\pm 0,6$ mm près. La dernière est cependant plus pratique.

LES POINTS DE REFERENCE EN TUNNELS

Les points polygonaux et les repères de nivellement scellés en tunnels sont les points de référence pour le guidage des tunneliers. Ils servent aussi à vérifier la géométrie des sections, à implanter les rameaux transversaux, les équipements définitifs et les voies, enfin, à assurer la jonction des tunnels français et des tunnels anglais. Ces points sont mis en place depuis la dernière remorque du train suiveur : consoles amovibles se positionnant sur des parties fixes à l'aide d'un doigt de centrage pour le tunnel de service où les portiques qui suivent le train de foration à 1 km passent à 6 cm seulement du parement — consoles fixes dans les tunnels ferroviaires où les équipements sont moins contraignants.

L'objectif que nous nous sommes fixés au début de ce projet était d'atteindre le PK 14,8 — point de jonction franco-anglais du tunnel de service avec une probabilité de 0,99 d'obtenir un écart transversal inférieur à 20 cm par rapport au tracé projeté, ce qui correspond à une tolérance à 1 de ± 77 mm pour le seul cheminement français, géodésie comprise.

La méthode retenue consiste à observer des modules standards de 375 m, longueur égale à l'entraxe des rameaux de communication. Quatre des six sommets principaux sont stationnés avec un gyrothéodolite choisi pour sa précision de ± 10 dmgr et pour sa rapidité d'emploi. Les six points sont stationnés à l'aide d'un théodolite informatique, les angles sont mesurés à ± 5 dmgr près, les distances à $\pm 0,6$ mm. Six points supplémentaires disposés tous les 47 m forment une polygone secondaire que l'on observe avec les mêmes instruments. Elle permet de s'affranchir de tout systématisme sur les distances, et sert d'appui au cheminement destiné à la détermination des stations de guidage, ainsi qu'au positionnement du profilomètre. Les observations obtenues sont traitées et compensées en bloc par la méthode des moindres carrés. La précision obtenue sur les coordonnées de ces points est meilleure que ± 2 mm dans le module. L'utilisation du gyrothéodolite est indispensable si l'on veut réduire considérablement les effets de la réfraction (de 5 à 20 dmgr par angle), par la mesure d'azimuts directe et réciproque. Il nous permet surtout d'obtenir au PK 1 comme au PK 14, un azimut avec la même précision. De ce choix, l'écart transversal prévisible après 14,8 km de cheminement serait :

$$\sigma = \frac{\pm 10'' \cdot \sin 1'' L}{\sqrt{n}}$$

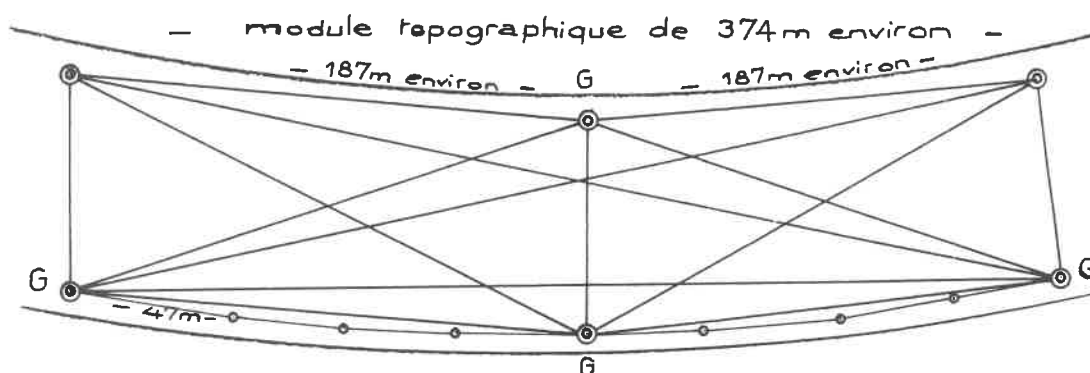
soit ± 37 mm pour un cheminement de 40 côtés de 375 m.

D'autres imprécisions viennent se combiner à ces ± 37 mm : celles affectant les points géodésiques (± 50 mm), les réseaux complémentaires (± 15 mm), la descente de base (± 1 mm), les différentes opérations de topométrie souterraine, qui, composées quadratiquement portent la tolérance (1σ) à ± 77 mm, soit ± 20 cm à $2,58\sigma$ pour nos seuls tunnels français.

L'imprécision résultante d'un cheminement altimétrique de précision — de l'ordre du cm — reste négligeable par rapport à celle de ± 8 cm sur le décalage altimétrique entre les systèmes français et anglais.

Pour absorber un éventuel décalage au point de jonction, il est prévu d'arrêter la foration de façon à laisser entre les tunneliers français et anglais une distance L suffisante pour permettre d'effectuer un forage horizontal à travers la roue de coupe, pour déterminer par mesure directe la position relative des deux fronts de taille. Une courbe de rattrapage éventuelle répondant aux spécifications sera alors calculée pour réaliser la jonction au cm près.

Photo G



LE PILOTAGE ET LA CONSTRUCTION

Le pilotage du tunnelier englobe les méthodes et les moyens topographiques qui permettent la foration du tunnel et la mise en place du revêtement au plus près du tracé théorique, dans les tolérances prévues.

La foration du tunnel au bon endroit est facilitée par l'utilisation d'un système de guidage qui indique au conducteur la position de sa machine en temps réel par rapport au tracé projeté. Le système allemand TUMA est utilisé pour les tunnels "terre" entre le puits et le terminal de Coquelles.

Le système anglais Z.E.D. utilisé sur les tunnels sous mer met en œuvre une cible solide du tunnelier, et situé à 6,70 m en arrière de la tête de coupe, qui reçoit le faisceau émis par une source laser située en arrière, sur une console fixée au parement. Les paramètres de la source laser (coordonnées, gisement et pente du faisceau), la position de la cible par rapport à l'axe du tunnelier, et le tracé à suivre (jeu de coordonnées de points de l'axe) sont introduits dans l'ordinateur du système.

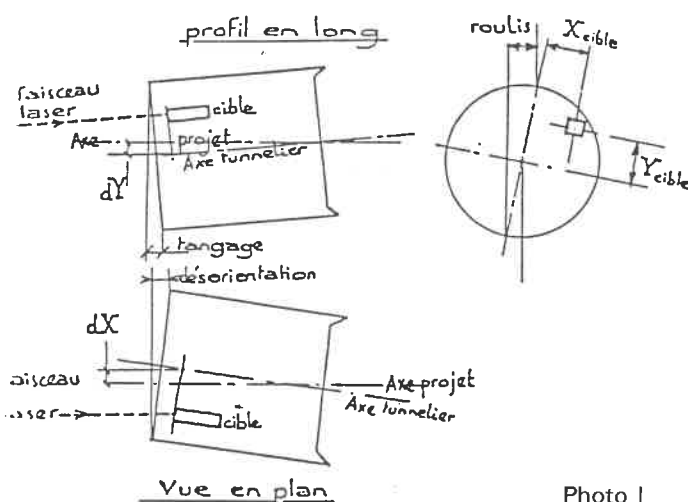
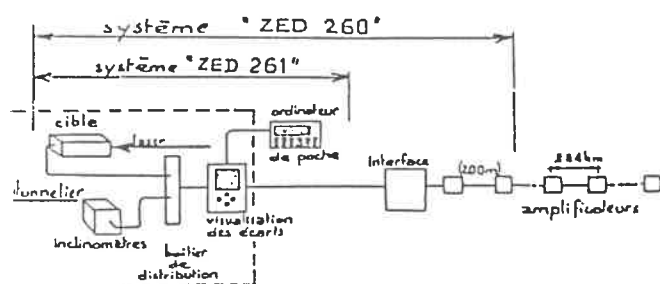


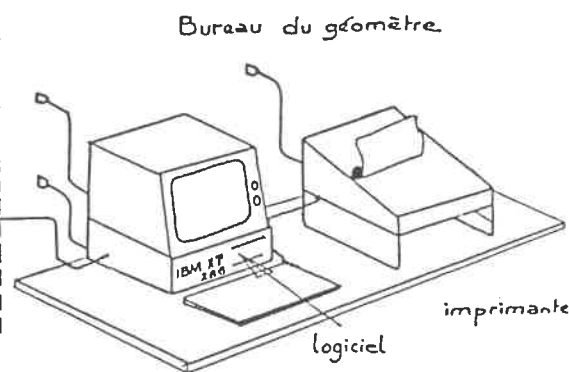
Photo I

Après avoir guidé et foré le tunnel, il s'agit de mettre en place le parement, constitué d'une suite d'anneaux boulonnés entre eux. Chaque anneau est formé de six voussoirs en béton préfabriqués, assemblés dans la jupe du tunnelier. Des brosse

Photo H



La cible détermine le barycentre de l'impact du faisceau sur deux mires parallèles et coaxiales espacées de 30 cm. Le segment de droite ainsi défini est comparé avec le segment théorique. Deux clinomètres à amortissement magnétique mesurent en continu le roulis et le tangage de la machine. Les écarts en mm de la position du tunnelier au droit de la cible et sa tendance à l'avancement sont visualisés dans le poste de conduite. Une impression de ces informations est faite systématiquement à chaque avancement correspondant à la largeur d'un anneau. La source laser est associée ici à un théodolite informatique muni d'un oculaire laser. Une interface du système ZED lit et affiche en temps réel les angles du théodolite — ce qui évite la présence d'un opérateur en permanence.

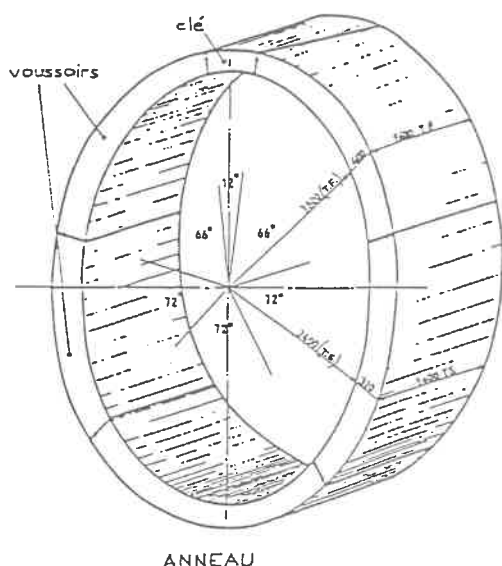


métalliques injectées de graisse sous pression assurent l'étanchéité entre les anneaux et la jupe. Ainsi, le tunnelier est conçu pour construire le tunnel avec une pression hydrostatique pouvant aller jusqu'à 10 bar. Le pincement des anneaux permet de réaliser des courbes de rayons donnés. Mais, en raison du faible jeu (25 mm) entre l'extrados de l'anneau et la jupe, et des contraintes de positionnement des anneaux entre eux et de la clé, une étude de calepinage est nécessaire. En effet, un calepinage théorique prévu à l'avance ne pourrait être utilisé que si le tunnelier suivait parfaitement l'axe théorique. Il est donc nécessaire de définir de nouvelles suites d'anneaux à l'aide d'un programme

de calcul qui tient compte de la déviation accidentelle du tunnelier, du centrage du revêtement dans la jupe, des anneaux en cours d'approvisionnement, et du tracé théorique. Ainsi, 8 distances sont mesurées au mm près, avant et après pose de chaque anneau entre la face avant du dernier anneau posé et une face de référence du tunnelier, ainsi qu'entre l'intrados de l'anneau et la jupe, et ceci selon le diamètre horizontal et vertical. Avec le roulis et la pente de la machine, le géomètre connaît la tendance du tunnelier et en déduit la trajectoire que la machine devra suivre sur les 15 à 20 anneaux suivants.

Cet axe de conduite défini, toutes les combinaisons possibles d'anneaux sont testées pour conserver le meilleur centrage dans la jupe. Lorsque la suite d'anneaux est définie, le programme calcule les valeurs théoriques des mesures à relever suivant les deux diamètres, et édite une fiche de pose que devra respecter le conducteur. Une nouvelle fiche sera éditée lorsque les valeurs mesurées différeront de plus de 20 mm des valeurs prévues.

De façon à éviter toute dérive de l'ensemble tunnelier et anneaux, provoquée par des phénomènes essentiellement dus à la réfraction ou à un mouvement éventuel des anneaux au voisinage des consoles utilisées pour le guidage, nous faisons régulièrement la liaison entre le laser et les points de référence situés derrière le train suiveur long de 250 m. Ce cheminement polygonal le long du train a pour but de déterminer les coordonnées de la source laser et d'en vérifier la stabilité.



LE SUIVI DE LA GEOMETRIE

D'autre part, un suivi journalier des trajectoires prévues et effectives des tunneliers et des anneaux est établi sous forme de graphes à l'échelle (vue en plan et profil). Il permet de vérifier que les limites de tolérance ne sont pas atteintes, de définir une éventuelle courbe de rattrapage, de choisir la position de profils en travers à lever. Ces profils constituent la base du levé tel que construit destiné au tracé définitif des voies. Ils sont réalisés au profilomètre à laser AMBERG.

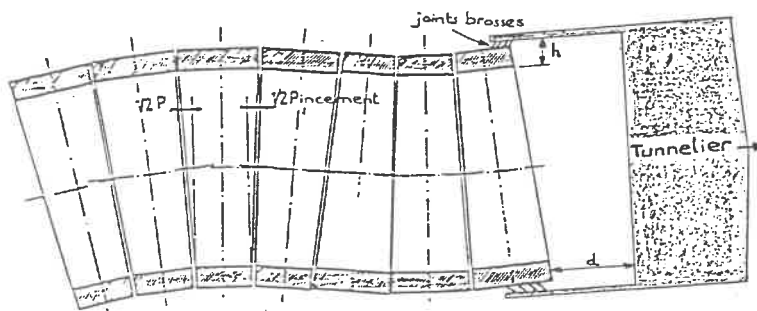
Enfin, différentes sections des tubes réalisés sont auscultées à l'aide d'un distancemètre orientable à fil d'invar pour déterminer la convergence des sections.

CONCLUSION

Les résultats que nous avons obtenus jusqu'à ce jour avec ces méthodes sont encourageants pour l'avenir. En effet, le tunnel de service sous terre long de 3 250 m est terminé. Le tunnelier T4 est sorti le 27 avril au centre du tympan du portail, ouvrage réalisé avant l'arrivée du tunnelier, et que nous avons implanté à partir du canevas de surface.

Les fermetures de nos cheminements mesurées après percement sont de : 17 mm transversalement, 10 mm en longueur et 12 mm en altitude. L'étude de la précision faite a priori prévoyait des valeurs correspondantes (à 1σ) de ± 23 mm, ± 16 mm, et ± 6 mm. Ces résultats valident en quelque sorte nos méthodes pour les tunnels en cours de construction.

Photo J



Système de guidage Z.E.D.

TRANSMANCHE LINK - TUNNELS FRANCE

S.T.S. T 1

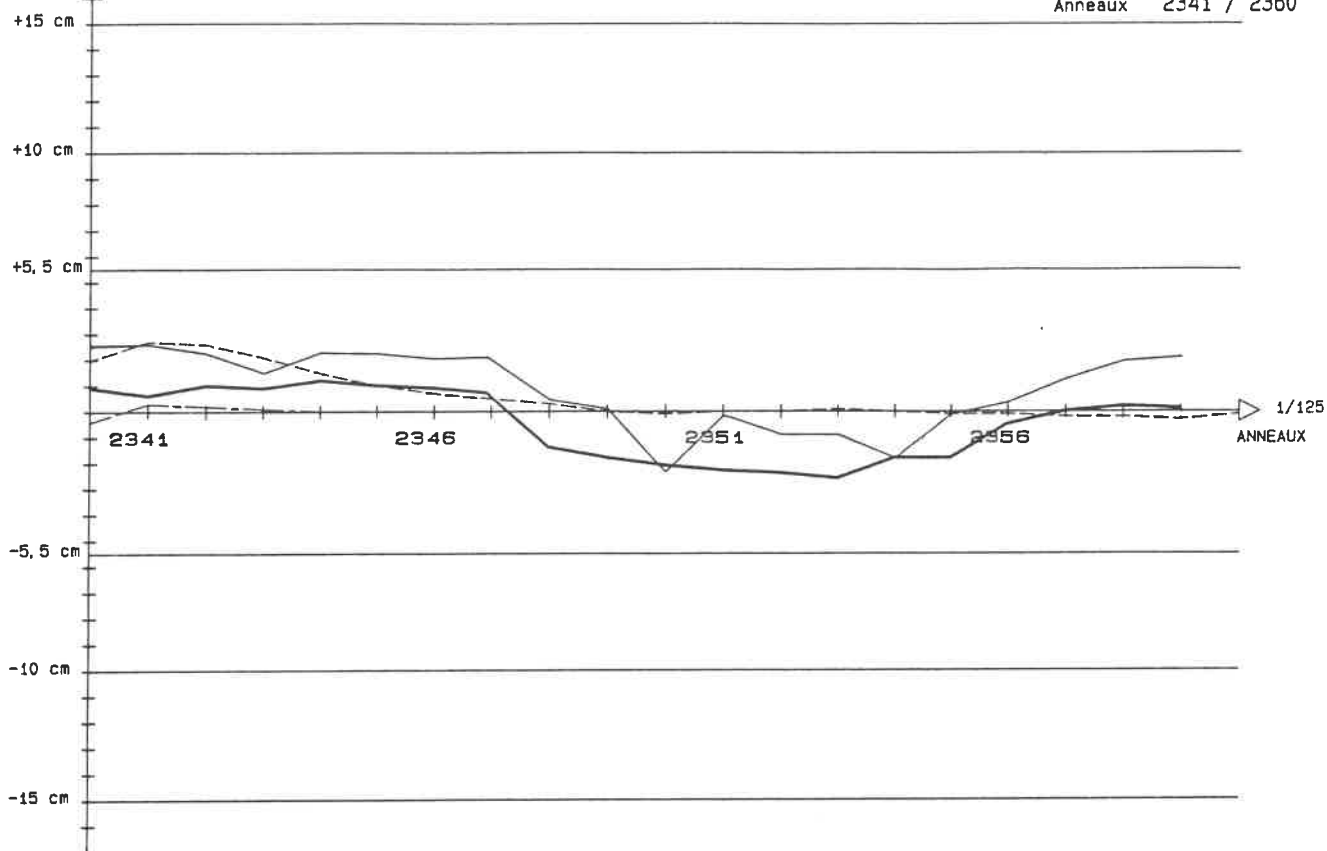
Service Topographique

P.M. 3354.7 / 3381.3

Anneaux 2341 / 2360

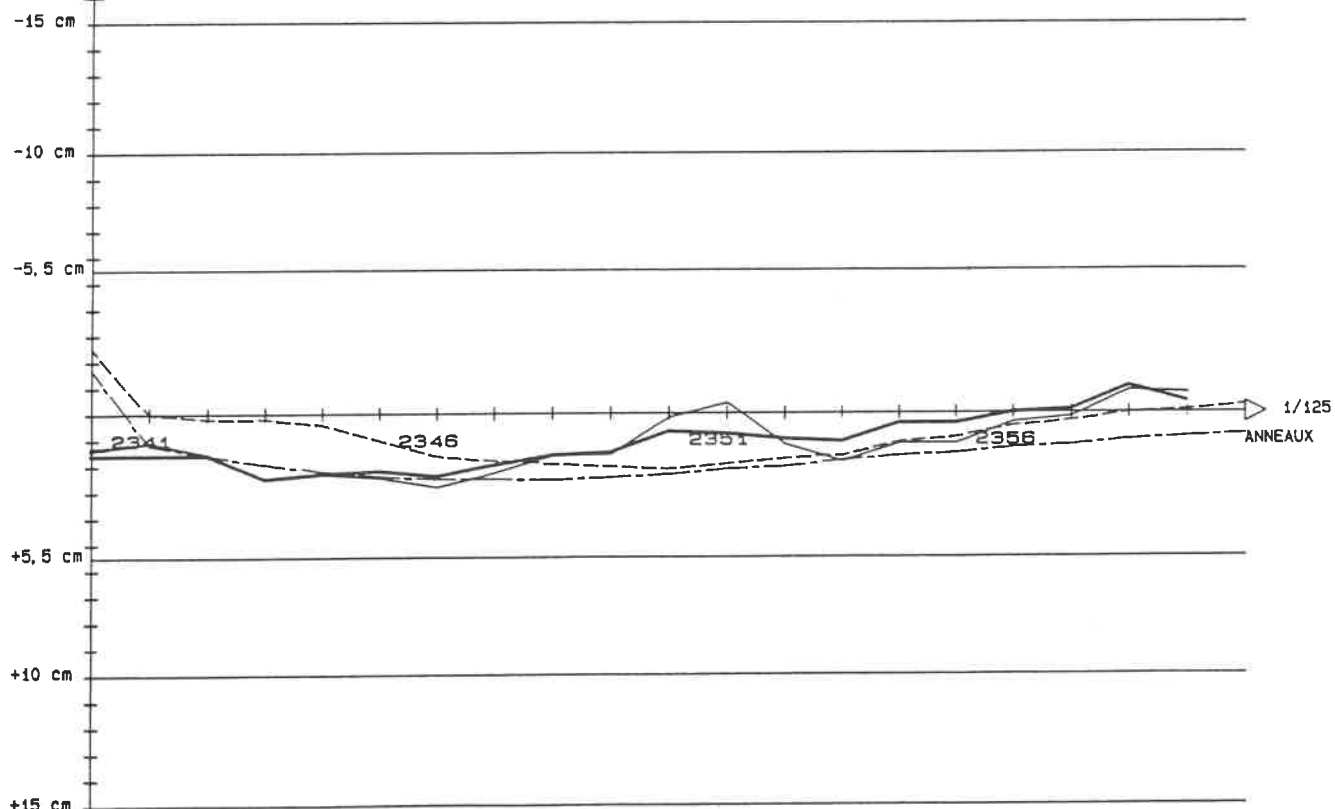
ALTIMETRIE

ech 1/2



PLANIMETRIE

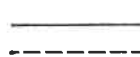
ech 1/2



TRAJECTOIRES



SUIVIE PAR LE TUNNELIER
PREVUE



SUIVIE par les ANNEAUX
PREVUE

Géodésie et contrôle géométrique des ouvrages souterrains d'un grand accélérateur de particules

M. MAYOUD, Ingénieur ESGT, Post-Graduate ITC, Chef du groupe de Géodésie Appliquée du CERN
M. HAYOTTE, G. TROUCHE, Géomètres Principaux, Responsables de la Topométrie Souterraine

I - INTRODUCTION

La construction d'un accélérateur de particules exige une très grande précision de mise en place des composants de la machine : de proche en proche, le positionnement doit être assuré à 0,1 mm près (1σ) et la précision absolue de l'anneau doit être aussi bonne que possible. Cette géométrie de l'accélérateur est rigoureusement fixée par les paramètres du système de confinement magnétique, qui déterminent l'orbite théorique du ou des faisceaux de particules.

Le contour géométrique ainsi défini n'est pas modifiable. Il ne peut donc s'accommoder d'aucune manière des éventuelles déformations imposées par l'ouvrage de génie civil. D'autre part, des raisons économiques conduisent à dimensionner plutôt faiblement les galeries, et cela augmente les risques de problèmes topologiques lors de l'installation de l'accélérateur et de ses infrastructures. C'est pourquoi des tolérances géométriques extrêmement sévères ont été imposées aux tunnels et cavernes du LEP.

S'appuyant sur la longue expérience particulière du Groupe de Géodésie Appliquée, ces tolérances ont été spécifiées aux frontières du possible, mais en fournissant un ensemble de données initiales parfaitement cohérent et en définissant précisément les moyens techniques permettant d'y parvenir, dans une bonne collaboration entre les géomètres du CERN et ceux des entreprises. Les marges des erreurs admissibles ont été fixées aussi bien pour le stade brut ou semi-fini que pour l'ouvrage fini, afin de garantir les épaisseurs minimales de béton.

Sans détailler ici l'ensemble des spécifications, il convient néanmoins de mentionner les tolérances suivantes :

- le tunnel brut ou semi-fini doit être tel que son axe réel soit toujours dans un cercle de tolérance $\varnothing 16$ cm centré sur l'axe théorique de référence, en garantissant l'épaisseur minimale de béton sur toute section et le libre passage d'un gabarit minimum $\varnothing 3,60$ m (figure 1) ;
- le rayon des tunnels finis est tolérancé à ± 1 cm ;
- la chape finale des ouvrages est définie à $+0, -1$ cm ;
- les puits, cavernes et ouvrages annexes sont tolérancés à $+1, -3$ cm.

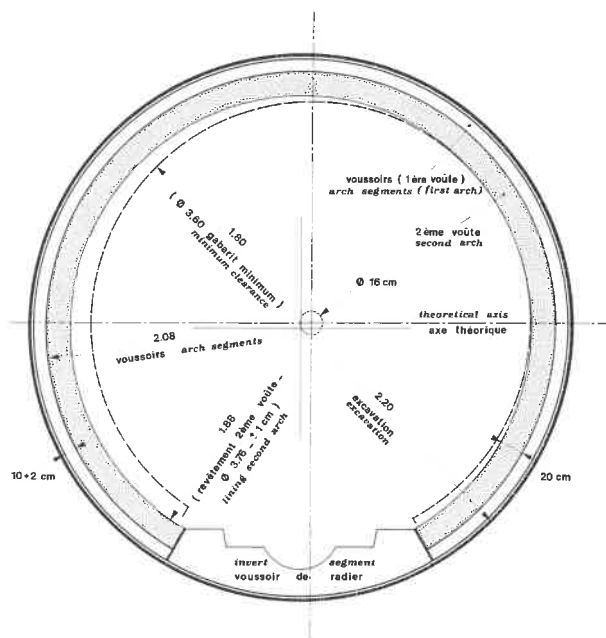


Figure 1 : Tolérances géométriques - Tunnel Principal.

Dans le soutien apporté aux entreprises, les objectifs et les prestations de la Section Topométrie Souterraine du Groupe de Géodésie Appliquée ont été essentiellement motivés par les considérations suivantes :

- fournir des données géodésiques et un ensemble de points de référence aussi irréprochables que possible, afin que cette qualité garantisse un maximum de confiance et de crédibilité dans les diverses opérations de forage et de construction ;
- préserver les intérêts du CERN quant à la conformité géométrique des ouvrages par des contrôles rigoureux à divers stades des travaux ;
- limiter les risques d'erreurs - donc de conflits - par des contrôles préventifs, opportuns et judicieux, qui facilitent la tâche des entreprises.

II - INFRASTRUCTURE GEODESIQUE EN SURFACE ET EN FOND DE PUIITS

Les exigences propres à la géométrie de l'accélérateur nécessitaient un réseau géodésique de surface d'une très grande précision, qui a été maté-

réalisé par des piliers stables, dotés d'une isolation thermique et d'un système de centrage forcé. Ce réseau a été mesuré à l'aide d'un distancemètre électronique à deux lasers modulés, le Terramètre, d'une précision de 10^{-7} (1 mm à 10 km).

La détermination des altitudes a été effectuée par un réseau maillé de nivellement de haute précision, représentant environ 80 km de cheminements, pour rattacher l'ensemble des piliers. Des mesures gravimétriques ont été prises aux nœuds des boucles de nivellement, afin de calculer les corrections orthométriques afférentes à chaque segment.

Enfin, en raison de la proximité de la haute chaîne du Jura, une étude complète des déviations de la verticale a été entreprise. Ce phénomène physique résulte des anomalies gravimétriques engendrées par les masses topographiques, avec pour effet de générer des déformations notables des surfaces équipotentielles. Les altérations locales de la gravité affectent non seulement les calculs géodésiques (et surtout l'altimétrie absolue, qui perd toute cohérence) mais aussi les mesures d'orientations au gyroscope, qui sont fortement déviées par les anomalies de gradient. Cette étude du champ de pesanteur a été effectuée par des calculs d'intégration numérique et de collocation dans un modèle de masse (figure 2), complétés par des mesures astrogéodésiques à la caméra zénithale.

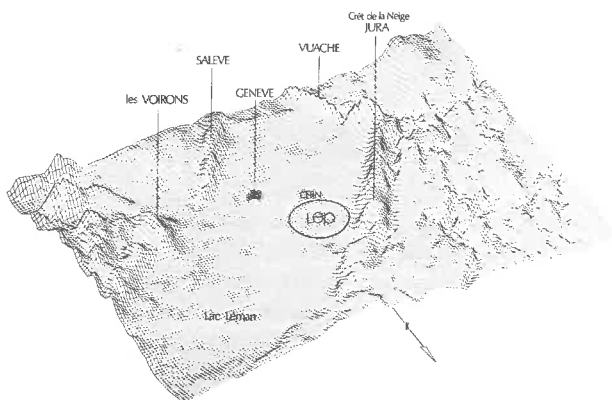


Figure 2 : Modèle de masse local.

L'ensemble de ces opérations a permis de déterminer les piliers géodésiques avec une précision de 2 mm (1σ) dans les trois dimensions, et de connaître les déviations de la verticale à environ 1 seconde d'arc près (soit $5\ \mu\text{rad}$ ou $0,0003\ \text{gon}$).

A partir du réseau géodésique principal, des mesures de rattachement sont ensuite effectuées pour calculer les coordonnées de points matérialisés en bordure des puits d'accès. La liaison géodésique entre surface et fond se fait alors par une opération complexe, dans laquelle un triplet de points temporaires est déterminé par un ensemble de mesures spatiales (angles, distances) rattachées à une station de gyro-théodolite, qui détermine les deux premiers piliers du réseau géodésique souterrain (figure 3).

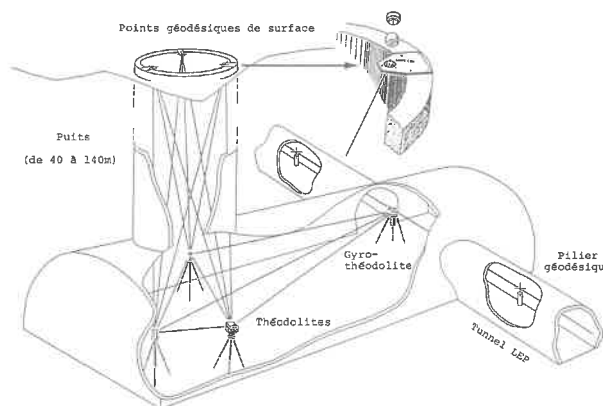


Figure 3 : Liaison géodésique entre surface et tunnel.

La figure ainsi formée est calculée en un seul bloc à l'aide d'un programme de compensation tridimensionnelle par moindres carrés. Cette méthode fiable et précise est parfaitement adaptée aux conditions des chantiers en bas de puits, qui ne permettent pas de matérialiser des points permanents et stables.

Ces premiers piliers, rattachés à la géodésie de surface, servent d'appui à la figure souterraine de référence et constituent les points de contrôle pour le départ ou l'arrivée des tunneliers.

III - REFERENTIEL DE GUIDAGE DES FORAGES

L'expérience acquise lors du percement du SPS (7 km de circonférence, puits espacés de 1 100 m), la maîtrise des développements apportés aux instruments et aux méthodes de gyroscopie géodésique de précision, ainsi que la rareté des firmes ou organismes qualifiés — capables d'assumer les exigences techniques et les contraintes temporelles de ce chantier — ont conduit à ce que le Groupe de Géodésie Appliquée prenne en charge la détermination du référentiel de guidage, sans dégager pour autant la responsabilité des entreprises. Ce choix était le meilleur dénominateur commun entre les intérêts conjugués du Maître d'œuvre et du Maître d'ouvrage.

La ligne de référence des forages est une figure polygonale, dont les sommets sont espacés de 39,50 m (maille cellulaire de l'accélérateur) et matérialisés par des piliers à centrage forcé. Connaissant les coordonnées des piliers les plus proches du front de taille, les géomètres des entreprises peuvent déterminer des points sur potences latérales, destinés à supporter, centrer et orienter le laser de guidage des forages, à hauteur convenable.

La détermination de proche en proche des piliers, au plus près des engins ou tunneliers, résulte d'un ensemble redondant de mesures d'angles, de distances au fil d'invar et aux télémètres électroniques, d'orientations précises au gyro-théodolite, de nivellement direct et indirect, le tout étant traité par moindres carrés par notre programme de compensation tridimensionnelle.

Les mesures au gyroscope chercheur de Nord, dûment effectuées et corrigées de diverses altérations, sont le seul moyen d'orientation de la figure. Elles constituent l'opération la plus délicate et la plus sensible de la géodésie souterraine, surtout dans les tolérances spécifiées pour le tunnel du LEP. Une désorientation systématique de 0,0015 gon (soit 5 secondes d'arc ou $24 \mu\text{rad}$) conduirait en effet au dépassement de l'erreur maximale de 8 cm en fin d'octant, après 3 300 m de forage en antenne.

Deux gyro-théodolites ont été utilisés : le WILD GAK1, automatisé au CERN, et surtout le MOM Gibl, plus précis mais avec un mode opératoire plus long — environ 3 h — et plus complexe (figure 4). Ces instruments délicats étant sujets à des dérives (variations du couple de torsion du ruban de suspension, frottements, effets thermiques, etc.), chaque opération de mesure dans le tunnel doit être encadrée par des mesures d'étalonnage sur le réseau de surface, avant et après. Avec un suivi régulier des instruments et une grande rigueur dans les mesures, on peut obtenir un écart-type de répétition proche de 0,0006 gon. Une telle précision permet d'augmenter l'intervalle des mesures entre piliers, ce qui allège les temps d'intervention dans le tunnel.

Outre les paramètres d'étalonnage et les corrections de dérive, il est essentiel de s'affranchir de l'influence des déviations de la verticale. Nos calculs dans le modèle de masse et les observations astrogéodésiques ont montré que celles-ci pouvaient atteindre 10 secondes d'arc (30 cc) dans la partie de tunnel située sous le Jura. Mais une marge d'incertitude d'environ 1 seconde d'arc (1σ) demeure dans ces évaluations, ainsi que dans la paramétrisation des surfaces équipotentielles et dans le calcul de la courbure des verticales. Selon la source des données, on peut donc trouver des valeurs légèrement différentes aux points de mesure ou d'étalonnage.



Figure 4 : Gyroscopie MOM Gibl en station.

En appliquant aux corrections les valeurs de déviation et de courbure des verticales les plus cohérentes, les écarts de fermeture de la polygonale de référence, observés sur les points de contrôle des huit octants forés, ont été les suivants (en mm) :

- planimétrie : + 9, + 12, - 6, + 8, - 10, - 11, + 16, - 3
- altimétrie : + 1, + 1, - 3, - 6, + 2, + 2, - 7, + 4

Ces différences entre le point théorique (issu de la géodésie de surface) et le point réel d'arrivée caractérisent donc la dispersion des erreurs de positionnement après 3 300 m de polygonation gyroscopique en antenne. Une statistique sur ces valeurs donne des écarts-types de 10,5 mm pour la précision (radiale) planimétrique et 4,1 mm pour la précision altimétrique.

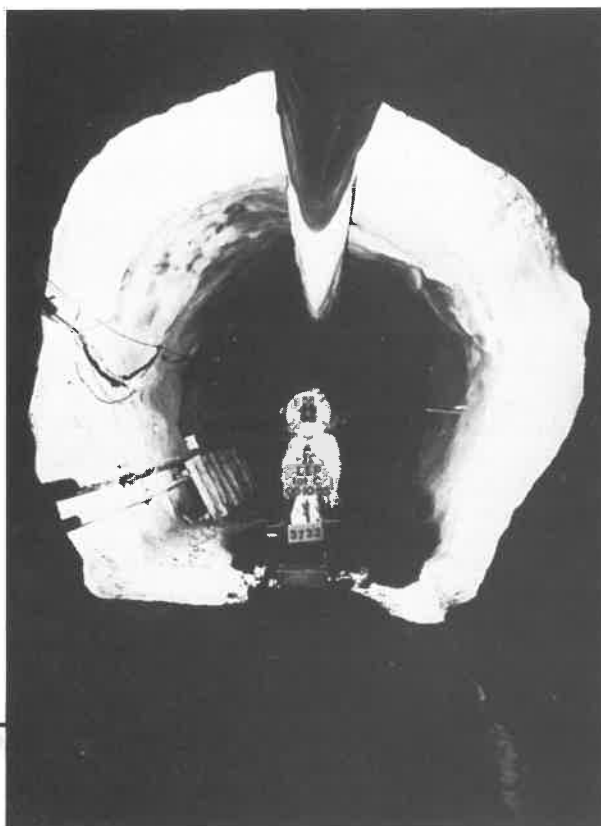
Les écarts réels de forage, par rapport à la ligne de référence, sont estimables à partir du contrôle des sections de l'ouvrage.

IV - CONTROLE DE LA GEOMETRIE TRANSVERSALE DES GALERIES ET CAVERNES

Afin de vérifier la section des ouvrages — à l'état brut ou semi-fini — et de garantir que les épaisseurs minimales de béton puissent être respectées, deux méthodes de relevé de la géométrie transversale ont été mises en œuvre. Des moyens rapides, fiables, de précision centimétrique et à base de matériels simples et robustes ont été recherchés. Ces mêmes techniques ont été utilisées pour le relevé de l'ouvrage fini, aussi bien pour contrôle final avant réception que pour description géométrique complète des ouvrages, sous une forme directement assimilable en CAO.

Pour les galeries, la méthode des photoprofils a été retenue. La section est illuminée par un flash dont une moitié du flux est occultée par une plaque, ce qui crée une zone de contraste découpant clairement le contour transversal (figure 5). Ce flash du système d'éclairage est déclenché par celui de l'appareil photographique (HASSELBLAD SWC/M), qui saisit le profil.

Figure 5 : Photoprofil d'une section sous le Jura.



Le système originel (Photosect 40 - ROCKET AB) de cette méthode monophotogrammétrique a été modifié, en vue d'un traitement purement analytique. Quatre tiges porte-cible et une cible centrale matérialisent un ensemble de cinq points, dont les positions (répétitives), connues par micro-triangulation, constituent le référentiel du plan-objet. La mesure des coordonnées-image des points homologues sur les agrandissements permet d'exprimer rigoureusement la relation homographique entre le plan-objet et la photo, quel que soit l'axe de prise de vue. Cette méthode, dite de redressement analytique, est bien plus rapide et plus précise qu'un traitement analogique : en moyenne 3 mn pour la saisie d'un profil et 18 mn pour les opérations de digitalisation, calcul et report. En outre, la précision résultante est améliorée. Divers essais effectués sur un profil-test ont fait ressortir un écart-type radial de 7 mm. Plus de 5 000 photoprofils auront été effectués pour le contrôle des galeries du LEP.

Une analyse des photoprofils effectués sur les voûtoirs posés derrière les tunneliers ou sur la gunite permet de caractériser la qualité topométrique du forage - ce qui englobe la précision de transfert de la géométrie entre piliers et supports de laser, et la précision du pilotage proprement dit. Pour les sept octants forés dans la molasse, une statistique sur environ 2 200 sections transversales fait ressortir une moyenne de 8 mm et un écart-type de 33 mm pour les écarts radiaux, pour 13 mm et 39 mm respectivement pour les écarts altimétriques. Cela montre que la maîtrise des tunneliers dans le plan vertical est un peu plus difficile que leur contrôle radial.

La méthode des photoprofils n'est pas précisément applicable à des dimensions de 20 à 25 m (figure 6), ce qui en excluait l'usage pour les cavernes. Pour de telles mesures, la technique des profilomètres électro-optiques est plus appropriée et nous avons eu recours au système FENNEL FET2. Cet appareil est en fait un théodolite électronique doté d'un distancemètre à laser pulsé. La cohérence et la monochromaticité de la lumière émise et réfléchie par un matériau quelconque donne un signal retour suffisant pour se dispenser de l'usage d'un prisme rétro-rélecteur. L'instrument mesure donc directement des rayons de l'ouvrage, dont il mémo-



Figure 6 : Vue d'une grande caverne en cours de réalisation.

rise les coordonnées polaires. Moyennant des étalonnages appropriés à la nature du matériau, on peut obtenir une précision centimétrique de ce système. Le temps d'opération sur le terrain est plus long que pour la photogrammétrie mais le traitement des données est évidemment plus rapide.

V - CONCLUSION

D'autres techniques, parfois originales, ont été mises en œuvre pour des contrôles particuliers (par exemple fût des puits et position des inserts) mais il serait trop long de les évoquer dans cet article.

Beaucoup de vigilance et de soins ont été apportés dans le contrôle régulier de la position et de la géométrie des ouvrages du LEP, en utilisant des méthodes géodésiques parfois très élaborées, pour satisfaire à des exigences extrêmement sévères. Une bonne partie de l'effort étant de toute façon nécessaire à la métrologie d'installation de l'accélérateur, ce travail était au carrefour d'intérêts réciproques entre le CERN et les entreprises, afin d'éviter autant que possible les problèmes topologiques dans la réalisation des ouvrages et la construction de la machine.

Si les précisions exceptionnelles du référentiel de guidage sont redevables à la haute technicité du Groupe de Géodésie Appliquée, il serait injuste de ne pas dire que nos contrôles de maître d'ouvrage nous ont amenés à constater le savoir-faire tout à fait louable des géomètres des maîtres d'œuvre.

Dans un ouvrage aussi complexe, pour une tâche aussi difficile, les ingénieurs et techniciens des entreprises ont accompli un travail excellent, en se dotant des moyens appropriés et en élaborant des méthodes et procédures qui ont prouvé leur efficacité. Au jour le jour, ils ont su réduire à un minimum la part inéluctable d'erreurs géométriques dans les diverses phases de construction.

Par rapport à ce que nous avons connu, l'effort des entreprises du LEP pour le positionnement et la géométrie des ouvrages, ainsi que la collaboration avec les géomètres du CERN, ont été exemplaires. Des résultats remarquables ont été obtenus et aucun problème majeur, à caractère contradictoire ou contentieux, n'est venu troubler sur ce point la bonne réalisation des travaux. Pour un coût rarement supérieur à 1 % du montant des marchés, il est toujours profitable aux entrepreneurs d'ouvrages complexes de se pourvoir d'une bonne équipe de géomètres.

Bibliographie

Burki S., Gurtner W. : *Deviation of the Vertical, CERN Accelerator School "Applied Geodesy for Particle Accelerator"*, CERN 87-01, 1986.

Fischer J.C. : *Contribution à l'Automatisation du Gyroscope de Théodolite Wild GAK1 en vue de son utilisation au CERN lors de l'implantation du LEP, Mémoire de Soutenance de Diplôme d'Ingénieur Géomètre, ENSAIS, 1986.*

Le gyromat, un gyrothéodolite de grande précision et son emploi dans l'Eurotunnel

par Norbert KORITTKE et Thomas WUNDERLICH

1 - INTRODUCTION

L'Institut de Géométrie souterraine de Westfälische Berggewerkschaftskasse, Bochum, a fourni deux gyrothéodolites du type gyromat à Transmanche-Link (TML), le consortium anglo-français pour la construction du tunnel sous la Manche. Ces gyromats assurent l'orientation correcte du creusement de l'Eurotunnel réalisé des deux extrémités. Entre-temps un troisième gyrothéodolite a été commandé par TML (Grande-Bretagne).

Au surplus l'Institut de Géométrie souterraine réalise des mesures de contrôle principales dans l'Eurotunnel tant du côté français que du côté anglais à intervalles réguliers.

2 - LE GYROTHEODOLITE gyromat

Notre institut conçoit et construit des gyromètres depuis 35 ans. C'est depuis cette époque également qu'on effectue, sur demande des clients, des mesures gyroscopiques et de percement.

A ce jour, l'Institut a fait environ 12 000 mesures gyroscopiques dans le cadre de 2 300 commandes extérieures. A présent, le débit de ces mesures est d'environ 600 par an.

Le gyrothéodolite le plus récent et le plus précis développé par l'institut est le gyromat (fig. 1). Nor-

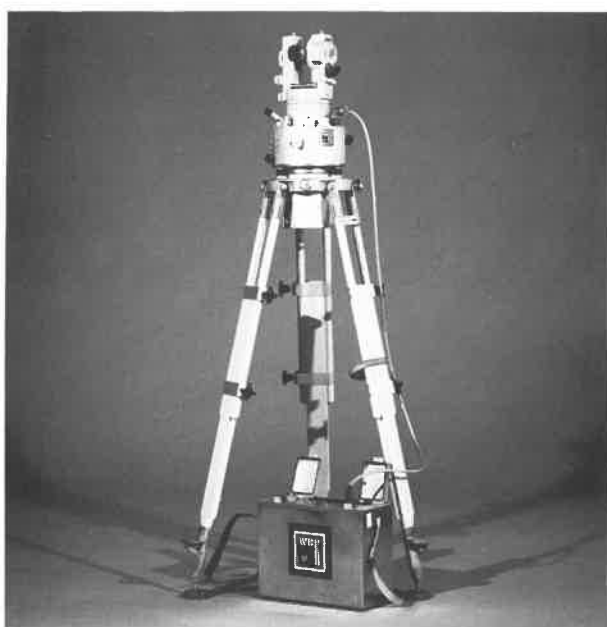


Figure 1 : Le gyrothéodolite gyromat avec groupe électronique.

malement, la détermination du nord se fait en observant un certain nombre de points de rebroussement de l'oscillation gyroscopique et c'est pourquoi il faut considérer plusieurs oscillations.

Le gyromat est, au contraire, capable de déterminer le nord d'une façon continue par l'enregistrement automatique d'une seule oscillation à amplitude réduite. Dans ce but, l'oscillation libre du gyrothéodolite est balayée et intégrée en permanence par un système opto-électronique pendant une période T (voir fig. 2).

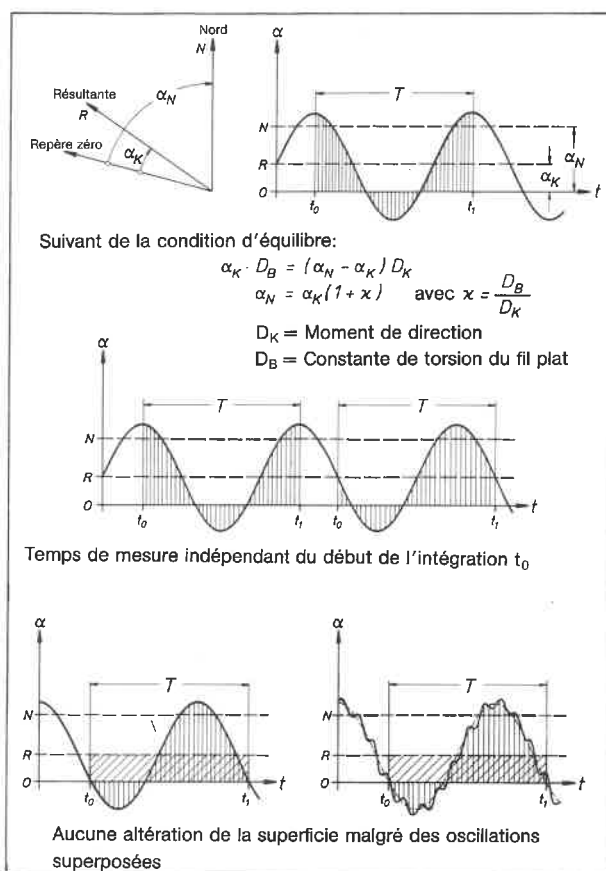


Figure 2 : Procédé d'intégration pour le gyromat.

Le zéro du balayage opto-électronique est déterminé par une orientation préliminaire et itérative. La résultante de la mesure suivante, la position centrale R de l'oscillation est dérivée des moments de la bande de suspension et du gyromètre. Maintenant, le zéro du balayage montre deux déviations : une déviation α_K par rapport à l'axe de l'oscillation et une déviation d'orientation α_N par rapport au nord géographique.

α_N , qui est la déviation d'orientation cherchée ressortit de l'équilibre des moments du gyromètre et de la bande et se calcule par simple multiplication d' α_K avec $(1 + x)$. α_K est déduit du montant de l'intégrale.

Les avantages de ce procédé d'intégration sont évidents :

- Le montant de l'intégrale est indépendant du début de l'intégration, c'est-à-dire qu'on n'a pas besoin d'un point spécifique (préféré) de la courbe d'oscillation. Indépendamment du diagramme temporaire d'oscillation la durée de mesure correspond donc à une seule période d'oscillation T ou bien au minimum possible qu'il faut pour un gyrothéodolite automatique. La durée d'oscillation T ne dépend que de la latitude géographique B , par exemple :

$B = 0^\circ \quad T = 150 \text{ sec}$

$B = 55^\circ \quad T = 170 \text{ sec}$

$B = 75^\circ \quad T = 210 \text{ sec}$

- Le montant de l'intégrale de l'oscillation et, par conséquent, les valeurs respectives d' α_K et α_N ne sont pas affectées par les oscillations superposées de l'instrument même (fig. 2). Ceci réduit en même temps les influences de perturbations extérieures (p. ex. vibrations de travail au chantier) qui pourraient fausser les résultats de mesure.

Ces perturbations provoquent des dérives d'oscillation qui, de leur côté, inévitablement, produisent une orientation déformée. Dans ce cas les dérives sont identifiées lors de l'intégration des oscillations et indiquées à l'unité électronique.

Voici le procédé de mesure du gyromat :

- mesure du zéro de bande 1 min. env.
- orientation préliminaire et itérative 3 à 4 min. env. entre $0,05$ à $0,1$ grade
- mesure gyroscopique ($B = 45^\circ$ à 60°) 3 min env.

Durée totale de la mesure 7 à 8 min env.

La déviation d'orientation du limbe par rapport au nord est donc indiquée à l'unité électronique après une durée totale de 7 à 8 minutes.

Les études extensives de Korittke et Schmidt (1986) ont montré une déviation standard de 59 cc comme précision pour la détermination d'azimut par le gyromat.

Donc, le gyromat est un gyrothéodolite de précision dont les caractéristiques sont : courtes durées de mesure, fiabilité et précision supérieure !

3 - MESURES DE CONTROLE PRINCIPALES DANS L'EUROTUNNEL

Lors des campagnes de mesure jusqu'ici réalisées par l'Institut de Géométrie souterraine tant du côté français qu'anglais, il est apparu que les mesures du cheminement polygonal dans les tunnels étaient largement affectées par la réfraction latérale. L'angle de réfraction Δ (voir fig. 3) atteignait parfois 30 cc.

La seule possibilité d'éliminer l'influence systématique de la réfraction latérale sur l'orientation des cheminements polygonaux est la configuration des mesures représentée dans la figure 3.

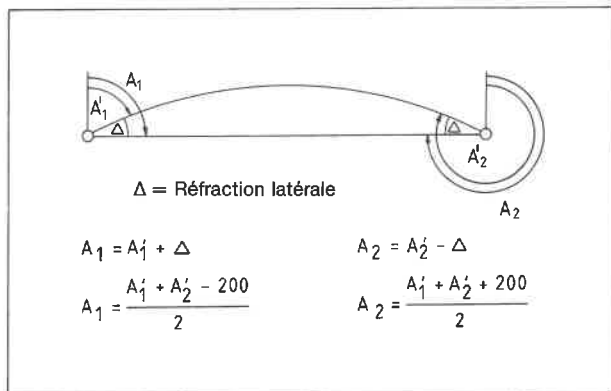


Figure 3 : Configuration de mesure pour éliminer la réfraction latérale lors des mesures gyroscopiques.

Si l'on détermine la direction d'un côté polygonal quelconque par rapport au nord à l'aide de mesures gyroscopiques aux deux points terminaux, on obtient les azimuts correspondants A_1 et A_2 . Néanmoins si l'on tient compte des angles de réfraction Δ , les mesures permettent de calculer les azimuts corrects A_1' et A_2' .

Dans les mesures de contrôle principales les responsables de TML exigent une précision maximale pour la détermination de position. Les grands demi-axes des ellipses d'erreur ne doivent pas dépasser de la valeur limite suivante :

$$A_{\max} < 4,4 \cdot 10^{-6} \cdot L \text{ [m]}$$

L = distance totale de mesure (tunnel), en mètres

Ceci veut dire que, pour une distance de mesure de 15 km lorsqu'on approche du percement dans la galerie de service du côté français, le grand axe de l'ellipse d'erreur au dernier point de mesure ne doit pas excéder 6,6 centimètres.

La figure 4 montre une configuration possible pour le contrôle global de positionnement des trois tunnels, côté mer, immédiatement avant le percement. Les trois polygonaux dans chacun des tunnels sont liés entre eux par une galerie sur trois. La distance entre les points est 375 m. Les tolérances suivantes sont supposées pour les mesures dans la polygonale :

- Directions (orientations) : $\sigma_R < 4 \text{ cc}$
- Distances : $\sigma_s < (2 \text{ mm} + 2 \text{ mm/km})$
- Mesures gyroscopiques : $\sigma_A < 10 \text{ cc}$

Les mesures gyroscopiques sont disposées comme indiqué dans les figures 3 et 4. Quoique les mesures gyroscopiques soient prévues sur chaque

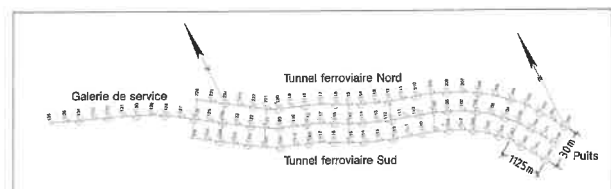


Figure 4 : Configuration de la mesure de contrôle principale peu avant le percement.

sommet, en effet on ne mesure que un côté sur deux des polygones. Ainsi la détection et l'élimination de la réfraction latérale sont suffisamment garanties.

Si l'on calcule une simulation de réseau sur la base des tolérances indiquées et de la configuration de mesure d'après la figure 4, on obtient les mesures de précision sur les résultats. Les ellipses d'erreur correspondantes sont représentées sur la figure 5.

Les cheminements polygonaux sont arrangés parallèlement dans les trois tunnels. Conséquemment les ellipses d'erreur sont parfaitement identiques tant du point de vue orientation que de dimension. Dans la figure 5 elles ne sont guère discernables. L'accroissement des ellipses d'erreur dans la galerie de service jusqu'au point polygonal le plus avancé reste dans des limites justifiables. A ce point-là le grand demi-axe atteint 27 mm ce qui est une valeur nettement en dessous de la précision demandée par les responsables de TML.

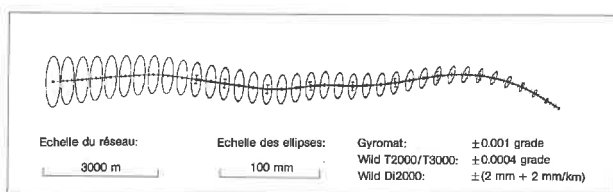


Figure 5 : Simulation de réseaux de la mesure de contrôle principale.

4 - PREVISION PROVISOIRE QUANT AU PERCEMENT DE L'EUROTUNNEL

Il n'y a pas de doute que dans le projet Eurotunnel on s'intéresse à la précision présumée du percement ou bien à l'influence des mesures gyroscopiques sur cette dernière.

Le calcul présenté ici ne considère que les mesures polygonales dans la galerie de service. Cependant, nous ne tenons compte ni de la mesure de réseau de liaison au-dessus de la Manche, ni du transfert des points polygonaux dans le puits près de Sangatte, donc des possibilités d'erreur qui peuvent influencer la précision du percement.

D'avoir choisi la forme géométrique la plus simple pour les mesures du creusement (polygonale simple dans la galerie de service) nous fournit une première estimation de la précision du percement prévu. Avec les deux dernières ellipses d'erreur des polygonales du côté français et anglais nous avons calculé une ellipse commune de percement. Celle-ci permet d'évaluer la précision du percement présumable dans le sens transversal ainsi que longitudinal.

En supposant de nouveau une distance de 375 m entre deux points et une précision constante de mesures, nous avons calculé deux variantes ;

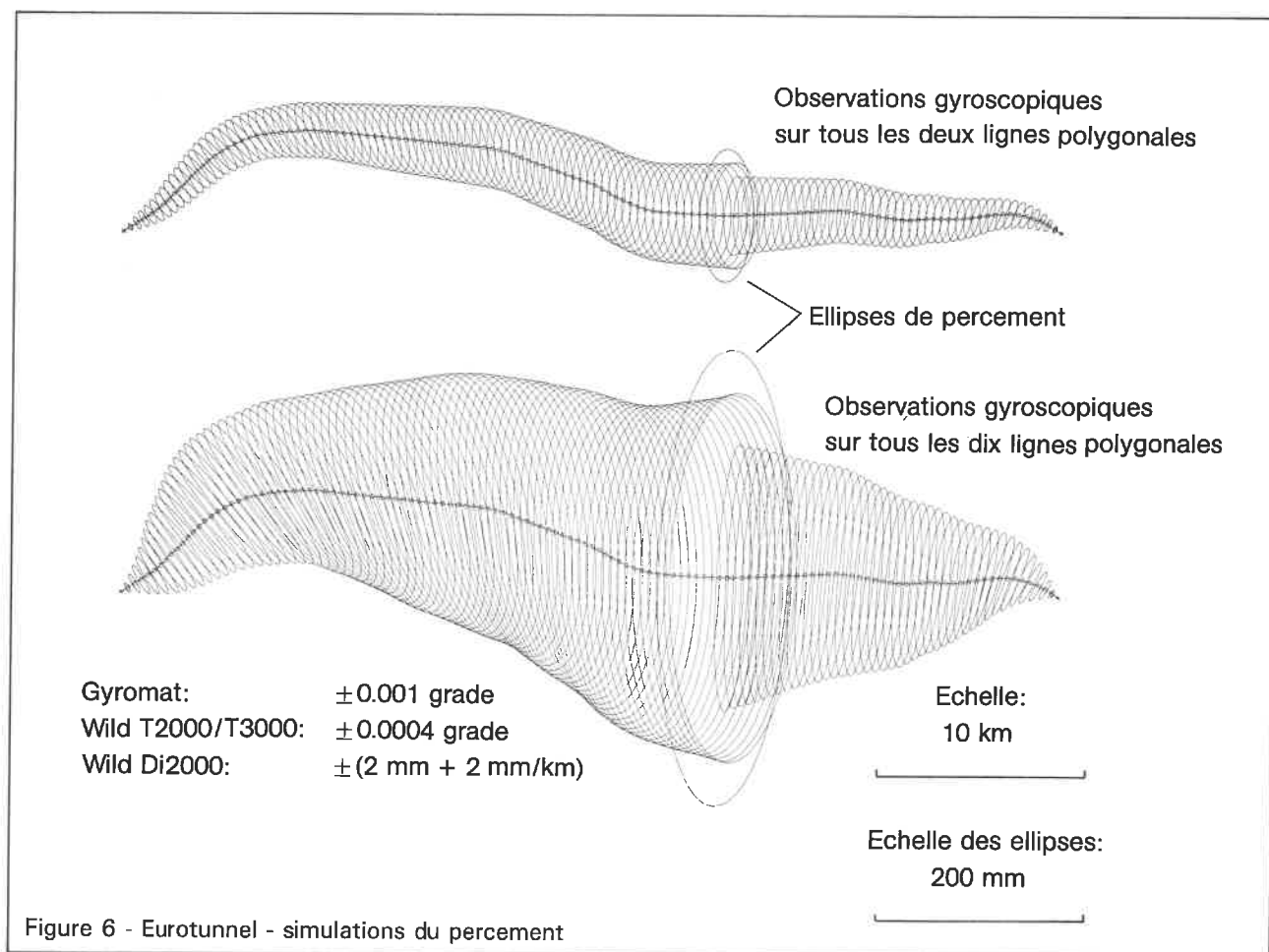


Figure 6 - Eurotunnel - simulations du percement

Mesures gyroscopiques à un sur deux côtés de la polygonale :

- Précision de percement
- Au sens transversal $\sigma_0 < 63$ mm
- Au sens longitudinal $\sigma_L < 26$ mm

Mesures gyroscopiques
à un sur dix côtés du polygonal

- Précision de percement
- Au sens transversal $\sigma_0 < 217$ mm
- Au sens longitudinal $\sigma_L < 65$ mm

Les deux simulations de percement possibles, basées sur les ellipses d'erreur sont représentées dans la figure 6. Il en ressort que au cours du creusement des deux côtés de l'Eurotunnel l'erreur de percement sera minimisée par un nombre élevé de mesures gyroscopiques de précision.

5. Bibliographie

Korittke, N. Die begleitenden Vermessungsarbeiten und das Durchschlags-ergebnis bei der Auffahrung des Förderberges Prosper
Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, 94 Jg (1987). S 273-281

Korittke, N. Ausgleichung und Genauigkeitsuntersuchung von überbestimmten untertägigen Durchschlagmessungen
Das Markscheidewesen, Jg. 95 (1988). S 133-137

Korittke, N. Einsatz des Präzisionsvermessungskreisels Gyromat beim Bau des Eurotunnel
X. Internationaler Kurs für Ingenieurvermessung. München, 1988, Beitrag D4, 12 S.

Korittke, N. et Schmidt, G. Rückblick und Genauigkeitsanalysen anlässlich des 2000. Einsatzes mit Vermessungskreiseln der Westfälischen Berggewerk-kasse
Allgemeine Vermessungsnachrichten. Jg. 93 (1986). S 235-244

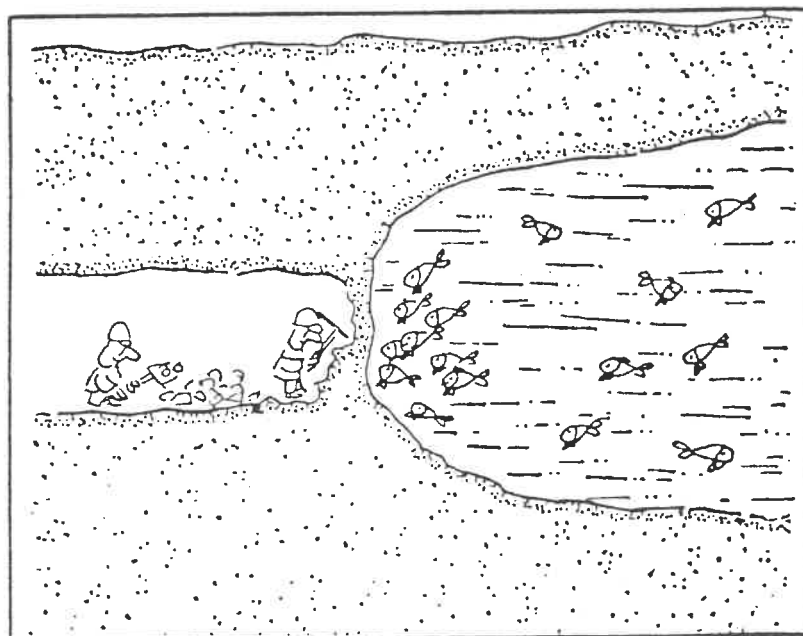
Wunderlich, Th. et Kugler, R. Netzentwurf für den Semmering-Basistunnel unter Bedachtnahme auf mehrere Projektvarianten
IX. Internationaler Kurs für Ingenieurvermessung. Graz. 1984 Beitrag D16, 6 S.

Wunderlich Th. "Die voraussetzungs-freie Bestimmung von Refraktionswinkeln", *Geowissenschaftliche Mitteilungen der TU Wien*, Nr 26, 1985, 193S.

Adresses des auteurs :

Dipl.-Ing Norbert Korittke. Institut für Markscheidewesen, Westfälische Berggewerkschaftskasse
Herner StraBe 45. D-4630 Bochum

Dipl.-Ing. Dr. techn. Thomas Wunderlich, Institut für Ingenieurgeodäsie, Université Technique de Vienne, GusshausstraBe 27-29. A.1040 Vienne.



Dessins tirés de "La nouvelle borne hilare", de Martin BÖHM.

PLANIX 5000

LA NUMERISATION REVOLUTIONNAIRE



**PLANIX
AVEC CHARGEUR
ET COFFRET :
10.800 HT**

**AVEC CHARGEUR,
COFFRET
ET INTERFACE RS 232 C,
CABLE DE LIAISON :
14.900 HT**

- Digitaliseur portable : 1,2 kg
- Aussi performant qu'un grand. C'est aussi un planimètre électronique autonome
- Evolutif. Le PLANIX 5000 peut être utilisé avec ou sans calculateur. Conectable directement sur imprimante, via l'interface RS 232 C
- En mode autonome, le PLANIX 5000 sans calculateur donne instantanément les surfaces, les longueurs, les sommes et les moyennes.

MESURES ET SYSTEMES
développe des logiciels
pour le traitement des
données de PLANIX



Le Planix 5000 a sa place dans tout bureau d'études et cabinet de Géomètre.

Applications :

- Numérisation de levées de plans. Banques de données.
- Homogénéisation de plans anciens et nouveaux.
- Toutes surfaces et distances graphiques pour plans d'étude et d'aménagement, remembrements, lotissements, recensements, documents d'arpentage.
- Profils en long et en travers, cubatures, terrassements, mètres.
- Surfaces de levés d'intérieur, d'ouvertures de façades, Monuments historiques.
- Projets de bâtiments et constructions : architectes.
- Aménagements de parcs et jardins : Paysagistes, urbanistes.
- Surfaces de pièces mécaniques, éléments de machines, diagrammes : Bureaux d'études, mètres.

• Peu encombrant, il peut être emmené avec soi ou au bureau de chantier ou en voyage. Il ne prend aucune place dans votre bureau.

• Immédiatement prêt à l'emploi. Vous apprendrez son utilisation en 10 minutes.

• Fonctionne sur batterie rechargeable sur secteur.

• Il mesure les coordonnées x, y, du plan qui sont alors envoyées dans votre calculateur pour traitement.

• Polyvalent et autonome, il calcule instantanément et affiche à son clavier les surfaces et longueurs, à l'échelle du terrain, les valeurs moyennes, les valeurs cumulées, les totaux. Plus les 4 opérations.

• Fini les planimétrages longs et fastidieux ; avec le planix il suffit de pointer les coins des parcelles ou les extrémités des segments. Les valeurs affichées : surfaces, longueurs peuvent être envoyées, si on le souhaite, dans un calculateur ou imprimante, via l'interface RS 232 C du planix.



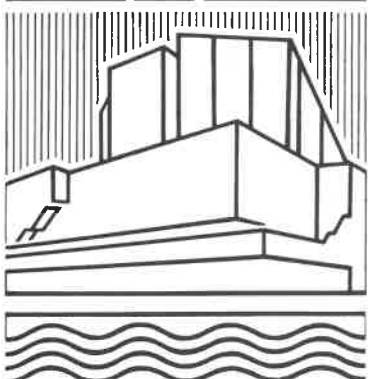
MESURES ET SYSTEMES

6, Rue des Jardins 60500 CHANTILLY - FRANCE

Tél. 44 57 27 97 (16 obligatoire depuis la Région Parisienne) Télex 150 153 F



FEDERATION
INTERNATIONALE
DES GEOMETRES



XIX ème CONGRES

10 AU 19 JUIN, 1990

HELSINKI, FINLANDE

Le Pays du Soleil de Minuit!

Neuf Commissions Techniques
Les Expositions Commerciales et
des Associations Nationales
Excursions et Visites Techniques
Excursions et Voyages Avant et Après Congrès
Tours et Excursions
Programme Social

BIENVENUE EN FINLANDE – la fraîche alternative!

Pour information supplémentaire,
Veuillez contacter:

FIG 1990

Congress Management Systems
P.O.BOX 151
SF-00141 HELSINKI
tel. +358 - 0 - 175 355
fax. +358 - 0 - 170 122

Utilisation d'un système inertiel pour la Topographie souterraine

Résultats de quelques essais faits dans la galerie du LEP au CERN
par Van Den Herrewegen M. - Vancraenenbroeck J.

1. Description générale

1.1. La plate-forme inertielle

Le cœur d'un système inertiel est composé par la plate-forme. La plate-forme inertielle comporte essentiellement trois accéléromètres et trois gyroscopes. Les axes sensibles de ces trois accéléromètres forment un trièdre accélérométrique dont l'orientation vis-à-vis d'un système de référence est assurée par l'asservissement à trois gyroscopes (Fig. 1)

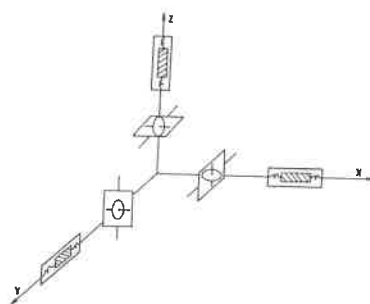


Fig. 1

Le principe de fonctionnement est très simple. Toute accélération imprimée à la plate-forme est détectée par les trois accéléromètres, puis intégrée deux fois par rapport au temps pour fournir le déplacement du véhicule suivant chacun des trois axes. Les constantes d'intégration correspondent aux coordonnées du point de départ.

$$X = X_0 + \Delta X = X_0 + \int v \, dt = X_0 + \int \int a \, dt \, dt$$

Il existe différentes catégories de systèmes inertiels : ceux à plate-forme liée (strap down system) et ceux à plate-forme stabilisée (gimbal system). Le système inertiel qui a été acquis par L'Institut Géographique National de Belgique est le FERRANTI FILS II. Il est du type "plate-forme stabilisée" et le système de référence choisi est défini par un système local d'axes géographiques.

Les gyroscopes utilisés à bord du système FILS II sont des gyroscopes à un degré de liberté. Ils ne peuvent détecter une rotation qu'autour d'un seul axe et il en faut donc trois pour fixer l'attitude du trièdre accélérométrique.

Les accéléromètres employés sont du type pendulaire. Un changement dans la vitesse du véhicule ou dans la valeur de la pesanteur, provoque la déviation du bras du pendule. Celle-ci perturbe l'équilibre d'un pont électrique et le signal détecté est utilisé pour restaurer l'équilibre dans le pont. On peut démontrer que la différence en tension est proportionnelle à l'amplitude de la force subie et que le déphasage vis-à-vis du signal de référence permet de déterminer la direction de la force.

1.2. Détermination des erreurs de vitesse (UPDATE)

Il sort du cadre de ce texte d'établir les équations de navigation d'un système inertiel. Pour plus d'informations à ce sujet, nous renvoyons le lecteur à une conférence donnée lors du premier symposium international de l'Association Française de Topographie et publiée dans le Bulletin XYZ (Paris - Décembre 1984).

Il est toutefois utile de rappeler ici la notion de "l'update". Afin de limiter la propagation des erreurs de positionnement en temps réel et d'assurer la linéarité des équations de navigation, le véhicule doit être arrêté toutes les trois à cinq minutes pour mesurer les erreurs de vitesse le long des trois axes de la plate-forme. L'exécution d'un update doit se faire manuellement et prend environ 20 secondes.

Le principe d'un update est très simple. Après une première intégration, nous obtenons la vitesse du véhicule v_v ainsi que l'erreur de vitesse v_e (Fig. 2).

L'origine de cette erreur de vitesse n'est d'aucune importance. Elle peut provenir aussi bien de défauts de construction dans la plate-forme que d'influences externes. Après la deuxième intégration, nous obtenons la position du véhicule P_v ainsi que son erreur de position P_e . Mais quand le véhicule est arrêté, la vitesse v_v est nulle et le seul signal détecté par les senseurs est l'erreur de vitesse v_e . Après correction, nous obtenons la "position vraie" du véhicule.

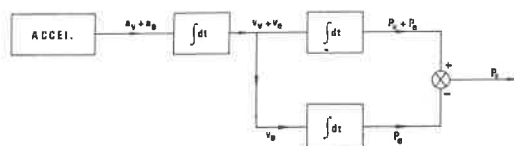


Fig. 2

Il existe essentiellement deux méthodes pour exploiter les informations données par les updates :

1. l'emploi d'un filtre de KALMAN

2. l'intégration de la courbe des vitesses.

A l'Institut Géographique National nous avons opté pour la méthode simple d'intégration de la courbe des erreurs de vitesses.

Pendant chaque update, les erreurs de vitesses $v_e = (v_N, v_E, v_H)$ le long de chaque axe de la plate-forme sont mesurées. Après plusieurs updates, la courbe des erreurs de vitesses peut être établie. Comme outil d'interpolation, nous avons choisi une fonction quadratique simple :

$$v_e = A + Bt + Ct^2$$

Les coefficients A, B et C de cette fonction sont déterminés sur trois updates successifs par la méthode des moindres carrés. La correction entre deux updates successifs (t_i et t_{i+1}) est obtenue par intégration de la courbe des erreurs de vitesses.

$$S = \int_{t_i}^{t_{i+1}} (A + Bt + Ct^2) dt$$

1.3. Détermination des paramètres

Bien que la technique de l'"update" permet d'éliminer la plus grande partie des erreurs, les coordonnées inertielles doivent encore être corrigées d'un nombre certain de paramètres. Le modèle fonctionnel, utilisé à l'IGNB, a la forme suivante :

$$X_j = x_j + c_1 \Delta x_j + c_2 \Delta y_j + c_3 (\Sigma \Delta t \Delta y)_j$$

$$Y_j = y_j + c_4 \Delta x_j - c_5 \Delta y_j - c_6 (\Sigma \Delta t \Delta x)_j$$

avec :

$(X, Y)_j$: les coordonnées réelles du point j

$(x, y)_j$: les coordonnées inertielles du point j

c_1, c_2 : les facteurs d'échelles

c_3, c_4 : les erreurs d'orientation initiales

c_5, c_6 : la dérive des gyroscopes

$\Delta x_j, \Delta y_j$: les déplacements relatifs par rapport au point de départ.

Pour la détermination des paramètres inconnus c_i ($i=1$ à 4) il est indispensable de connaître au moins les coordonnées du point de départ et du point d'arrivée. Un système inertiel est donc essentiellement un outil d'interpolation. Il y a donc une grande correspondance entre la technique du cheminement classique en topométrie et la technique inertielle.

Mais dans un cheminement classique, la propagation des erreurs est indépendante du temps. Dans un cheminement inertiel, ceci n'est pas le cas à cause de la dérive des gyroscopes. Pour déterminer les coefficients c_5 et c_6 , et pour avoir en même temps un contrôle sur des erreurs grossières éventuelles, un cheminement inertiel est généralement exécuté dans les deux sens : aller (d) et retour (r). Pour un point j , nous obtenons donc deux valeurs pour par ex. la coordonnée x_j du point :

$$X_j^d = x_j^d + c_1 \Delta x_j^d + c_2 \Delta y_j^d + c_3 (\Sigma \Delta t \Delta y)_j^d$$

$$X_j^r = x_j^r + c_1 \Delta x_j^r + c_2 \Delta y_j^r + c_3 (\Sigma \Delta t \Delta y)_j^r$$

Après soustraction et tenant compte que :

$$\Delta x_j^d \approx \Delta x_j^r$$

$$\Delta y_j^d \approx \Delta y_j^r$$

nous obtenons :

$$x_j^r - x_j^d = c_5 [(\Sigma \Delta t \Delta y)_j^d - (\Sigma \Delta t \Delta y)_j^r]$$

Autrement dit, la différence entre les coordonnées levées à l'aller et au retour est uniquement due aux effets de dérive. Les paramètres c_5 et c_6 sont généralement déterminés par moindres carrés.

Après élimination des paramètres de dérive, les autres paramètres inconnus peuvent être déterminés selon l'une ou l'autre méthode classique de compensation d'un cheminement.

2. Expériences au CERN

2.1. Descriptions des essais

En coopération avec le Groupe de Géodésie Appliquée du CERN (Mr Mayoud - Mr Coosemans) trois types d'essais différents avaient été conçus pour évaluer la précision d'un lever inertiel en topométrie souterraine.

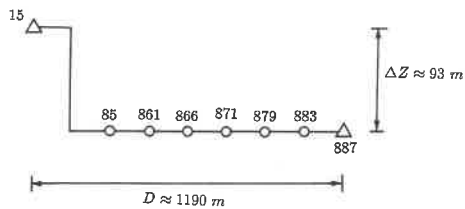


Fig 3

Le premier essai consistait essentiellement à évaluer la précision pouvant être atteinte avec une plate-forme inertielle pour "descendre" des coordonnées dans une galerie.

Le deuxième essai avait pour but d'évaluer la précision sur le "transport de coordonnées" dans une galerie souterraine. Dans ce cas, on supposait qu'au moins deux points souterrains étaient déjà connus au préalable.

Le troisième essai comportait un lever complet, c-à-d., en démarrant d'un point connu à la surface, on a étudié le comportement du système en essayant de lever autant de points que possible dans la galerie du LEP. Les erreurs ϵ_i dans les différents tableaux sont les différences en mètre entre les coordonnées inertielles et les coordonnées de référence fournies par le CERN.

Avant de présenter les résultats de ces trois essais, il est important de noter que le FILS II avait déjà été acquis en 1980 et que ce système n'est équipé que d'un processeur 8 bits. Il s'ensuit que par la mise en échelle des différentes valeurs numériques emmagasinées dans la mémoire du système et à cause de la résolution des mesures off-sets, le niveau de bruit des résultats se situe approximativement à 10 cm. Dans sa configuration actuelle, notre système ne permet d'obtenir qu'une précision décimétrique.

2.2. Descente de coordonnées

Un seul essai de ce type n'a pu être exécuté pendant la période d'expérimentation. Pour des raisons pratiques (travaux en cours) la plate-forme a été alignée au point 85 (Fig. 3) et les coordonnées ont été "remontées" vers le point 15. Cette inversion du mode opératoire n'a aucune influence sur les résultats bruts présentés dans le Tableau 1.

Point	ϵ_X (m)	ϵ_Y (m)	ϵ_Z (m)
15	0.16	0.16	-0.40
85	0.02	0.40	0.31
15	0.06	0.33	-0.39
85	-0.20	0.45	0.09

Tableau 1

Comme la distance entre le point 85 et le point 15 (≈ 45 m) est relativement faible, le modèle fonctionnel a été modifié légèrement en négligeant les corrections pour le facteur d'échelle et pour l'erreur d'orientation initiale. Après correction, les résultats finaux sont donnés dans le Tableau 2.

Point	ϵ_X (m)	ϵ_Y (m)
15	0.20	0.05
15	0.17	-0.09

Tableau 2

2.3. Transfert de coordonnées

Trois essais différents ont été exécutés pour le transfert des coordonnées. Chaque fois, le point 85 avait été choisi comme point de départ et le point 882 comme point d'arrivée. Les résultats (moyenne des trois essais) après correction sont donnés dans le Tableau 3.

Point	ϵ_X (m)	ϵ_Y (m)	ϵ_Z (m)
881	0.17	-0.18	-0.59
866	0.06	-0.07	-0.23
871	-0.04	-0.12	0.12
875	0.08	-0.12	0.17
879	0.16	-0.13	0.05

Tableau 3

A l'exception près de l'erreur en Z pour le point 861, on peut considérer que toutes les autres erreurs sont de l'ordre de grandeur de la précision pouvant être atteinte avec l'équipement dont nous disposons.

2.4. Lever complet

L'essai le plus intéressant est indiscutablement le lever complet. Démarrant du point 15 à la surface, nous avons essayé de transférer les coordonnées dans la galerie du LEP aussi loin que possible, c-à-d., en deans les deux heures d'opération autorisées par notre équipement.

Afin de se faire une idée de la précision pouvant être atteinte par un navigateur inertiel, le point 887 a été fixé. Les résultats sont donnés dans le Tableau 4.

Point	ϵ_X (m)	ϵ_Y (m)	ϵ_Z (m)
85	-0.19	0.01	0.20
861	-0.07	-0.11	-0.06
866	-0.14	-0.07	0.24
871	-0.15	-0.02	0.19
875	-0.16	0.02	0.11
879	-0.13	0.04	0.08
883	-0.11	0.04	0.11

Tableau 4

Les résultats du Tableau 4 sont obtenus par interpolation entre les points 15 et 887. Il est plus intéressant d'étudier la précision qui peut être atteinte par extrapolation. Toutefois, il est toujours nécessaire de fixer les coordonnées d'au moins deux points pour la détermination des facteurs d'échelle et des erreurs d'orientation initiales. Dans la première variante, les points 15, 85 et 861 ont été fixés. Dans la deuxième variante, nous avons considéré les points 15, 85, 861, 866 et 871 comme connus. Les résultats respectifs sont donnés dans les Tableaux 5 et 6.

Point	ϵ_X (m)	ϵ_Y (m)	ϵ_Z (m)
866	-0.05	0.09	0.45
871	-0.06	0.21	0.46
875	-0.05	0.32	0.45
879	-0.01	0.41	0.48
883	0.02	0.48	0.33
887	0.15	0.50	0.62

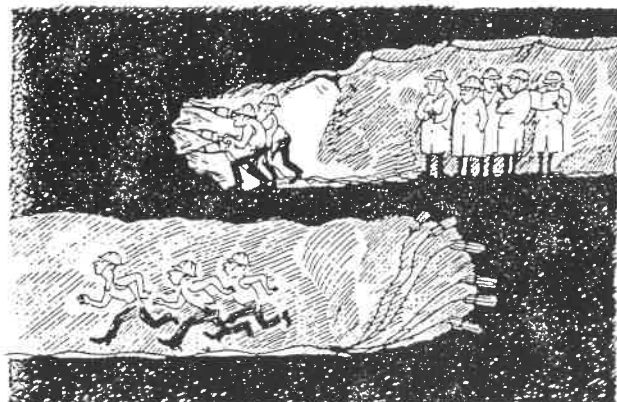
Tableau 5

Point	ϵ_X (m)	ϵ_Y (m)	ϵ_Z (m)
875	0.01	0.10	0.07
879	0.07	0.13	0.10
883	0.10	0.14	0.21
887	0.23	0.11	0.23

Tableau 6

3. Conclusions

- En premier lieu, il faut constater que pour obtenir une plus grande précision, une plus petite résolution (< 10 cm) du navigateur est indispensable. La nouvelle génération de systèmes inertiels a une résolution de quelques cm ou mieux.
- Pendant les 2.5 jours d'essai au CERN, nous n'avons pas eu le temps de mettre au point une technique d'observation adaptée au besoin d'un lever souterrain. Nous avons cependant constaté que :
 - il est nécessaire de répéter plusieurs fois les observations afin d'augmenter la fiabilité des résultats.
 - un soin particulier doit être consacré à la calibration de l'équipement (alignement initial, mesure des off-sets fixes).
 - il est souhaitable de compléter le système inertiel par d'autres senseurs tels que clinomètres et nivelles électroniques.



Les risques du métier.

Dessins tirés de
"La nouvelle borne hilare"
par Martin BÖHM.

LA TECHNOLOGIE DE L'EXTRÊME



CLICHÉ TOPO-FRANCE BOURGOIN-JALLIEU
NORVÈGE - LATITUDE DU CERCLE POLAIRE

GTS-4

- Portée avec 1 prisme : 2.000 m.
- Précision :
Distances : $\pm (3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$.
Angles : 2 cc.
Écart type : 5 cc (selon norme DIN 18723).
- Programmes de calculs intégrés.

GTS-4 B

- Portée avec 1 prisme : 1.400 m.
- Précision :
Distances : $\pm (3 \text{ mm} + 3 \text{ ppm})$.
Angles : 10 cc.
Écart type 15 cc (selon norme DIN 18723)
- Programmes de calculs intégrés.

2 ÉCRANS A 4 LIGNES D'AFFICHAGE.



MENU SÉQUENTIEL A L'ÉCRAN

QUAND LA PRÉCISION S'IMPOSE

11 bis, rue du Perche - 75003 PARIS - Tél. : (1) 42 71 28 30
Télex : 240 729 - Télécopie : (1) 42 78 37 18

UN GEODIMETER C'EST UN GEODIMETER

DECOUVRIR 48 48 98 87

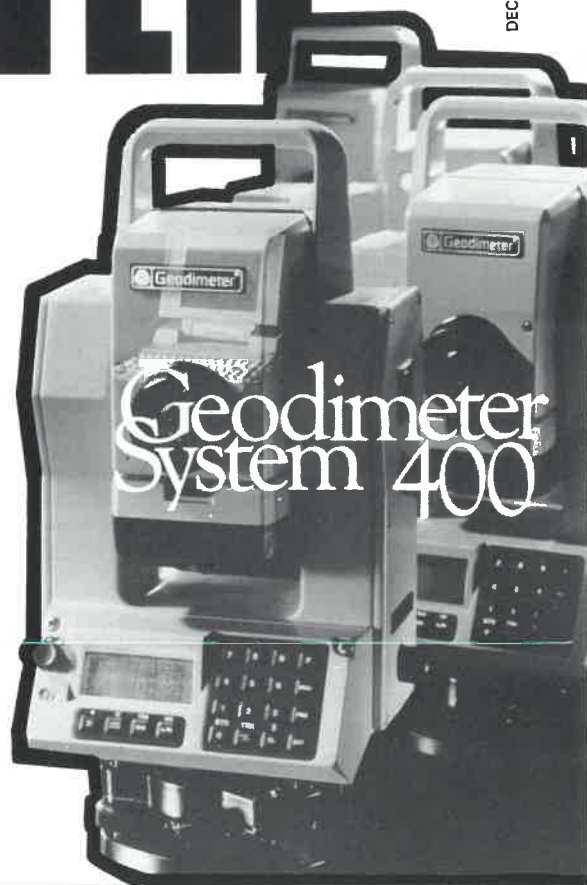
Un Geodimeter, ce n'est pas une quelconque station totale. Un Geodimeter, c'est la rencontre des plus hautes qualités de précision et de robustesse d'un instrument et des performances de simplicité et d'intelligence d'un système évolutif

"LE SYSTEM 400"

Depuis le premier instrument de la gamme réellement économique pour travaux courants jusqu'aux équipements les plus sophistiqués pour travaux de haute précision.



c'est la signature de la qualité



Parc d'Activités "Les Portes de la Forêt" - Allée du Clos des Charmes
77090 COLLEGIEN
Tél. : (1) 60 05 13 14 - Télex : 693 099 - Télécopie : (1) 60 17 40 56

Système de guidage automatisé et calcul de la suite d'anneaux

*Dipl.-Ing. H.-J. MARX, Oberhausen,
Prof. Dr.-Ing. E. JACOBS, Essen
présenté par Prof. Dr.-Ing P. MESENBURG, Essen*

Le développement technique des machines de creusement, leur vitesse d'excavation devant être de plus en plus rapide, exigent des prescriptions de plus en plus rigoureuse ; pour ce qui concerne la coordination géométrique des tracés en plan et des tracés en nature. Pour résoudre les problèmes concernant le pilotage d'un tunnelier, M. MARX, directeur du Bureau d'Etudes H.J. MARX et M. le docteur ingénieur E. JACOBS, professeur à l'Université GH Essen ont développé en coopération un nouveau système de guidage automatique du tunnelier.

Les tunnels de Sangatte font partie des plus longs du monde. Ils sont forés par des tunneliers hydrauliques avec pose d'un revêtement en béton ou en fer au fur et à mesure de l'avancement. Le guidage géométrique exact de ce tunnelier d'environ 15 mètres de long, est un des problèmes les plus difficiles pour le responsable de la topographie, d'autant plus compliqué que l'axe du tunnel n'est pas droit mais décrit un tore dans l'espace (ceci à cause de la géologie et de l'avancement propre de la machine). Le revêtement en béton est constitué d'anneaux préfabriqués soit en béton soit en fonte (de 1 à 2 m) qu'il faut assembler pour constituer au mieux le tore.

Le gros problème géométrique est de concilier la combinaison des anneaux de telle sorte que la courbe constituée respecte l'axe théorique et permette une bonne avance de la machine en évitant les coincements des tunneliers.

Les deux opérations, c'est-à-dire le guidage du tunnelier et la détermination de la suite des anneaux nécessitaient jusqu'à présent des conditions extrêmement difficiles d'opérations "manuelles" du géomètre (précision et fidélité des calculs). Le but était donc, avec l'aide de toutes les possibilités de la technologie moderne, d'élaborer un système automatique de guidage du tunnelier. Le résultat des recherches est le système TUMA.

La vitesse d'avancement et les données géométriques nécessitent des données d'exécution disponibles en temps réel et d'une façon complètement automatique.

Avec l'aide de la société Géodimeter, dont le siège est en Suède, nous avons mis en place un théodolite motorisé qui par un rayonnement infrarouge est en mesure de rechercher et de viser exactement un prisme de référence en prenant la mesure des angles horizontaux et verticaux, ainsi que la distance.

Le théodolite motorisé est une partie du nouveau système de guidage automatique du tunnelier, qui se compose aussi d'un ordinateur, de deux inclinomètres électroniques, de quatre appareils à ultrasons et d'un software confortable.

Le mode opératoire du système peut se décrire de la façon suivante :

1. Le tracé théorique en X, Y, Z est mémorisé dans l'ordinateur ainsi que la définition en plan et en profil des courbes.

2. Les coordonnées X, Y, Z de la station du théodolite sont à déterminer avec une haute précision, voire même par contrôles au gyroscope.

3. Le théodolite motorisé suit pendant l'avancement d'une façon permanente le prisme à réflexion totale et prend des mesures à intervalles définis par avance et enfin transmet toutes ces observations à l'ordinateur.

4. En même temps le tangage et le roulis mesurés par des clinomètres en poste fixe sur la machine sont transmis, à la demande, à l'ordinateur.

5. Le programme de calcul détermine les coordonnées X, Y, Z du point visé (le prisme à réflexion totale) et en tenant compte de l'inclinaison réelle transversale et longitudinale et calcule les coordonnées du point avant de l'axe du tunnelier.

6. En composant les coordonnées réelles de la machine et les coordonnées du tracé théorique on peut en déduire immédiatement les écarts horizontaux et verticaux de l'axe réel du tunnel foré. Ceux-ci sont indiqués sur un graphique sous la forme d'un spot lumineux et numérique apparaissant à l'écran dans la cabine de pilotage et au bureau situé en surface.

7. Le chef de poste surveille le bon avancement géométrique en faisant son possible pour maintenir confondus le spot lumineux et l'axe du système d'origine du graphique ceci dans le meilleur des cas. D'une façon plus générale il essaie de situer son spot à l'intérieur du cercle de tolérance défini ($r = 50 \text{ mm}$).

8. L'ordinateur détermine en plus la tendance de l'avancement et par-là même l'écart probable dans les 10 mètres. Le chef de poste a donc maintenant tous les éléments pour rectifier au plus tôt sa trajectoire et réorienter au mieux son tunnelier.

9. Les conditions géologiques, la poussée sur les verins ont tendance à donner au tunnelier des écarts horizontaux et verticaux.

Si on corrigeait avec une force brutale, c'est-à-dire avec des poussées surélevées, le tunnelier aurait tendance à venir s'échouer dans la roche. Il faut donc que le chef de poste guide le tunnelier en douceur, en corrigeant faiblement les écarts. C'est pourquoi il est important de connaître en permanence la position et la tendance de la machine.

Dès que l'ordinateur reconnaît que la tolérance définie intérieurement va être dépassée, il détermine lui-même une trajectoire de forme cosinoïde, qui selon la grandeur des écarts ramène le tunnelier tangentiellement après 10 à 30 mètres d'avancement.

10. Des appareils à ultrasons, installés dans le tunnelier mesurent avant chaque pose d'anneaux les distances radiales entre le revêtement intérieur et la jupe de la machine de façon à empêcher le décentrement du béton par rapport à la machine et de la sorte, en prenant compte les anneaux en cours d'alimentation, donne un nouveau calepinage des anneaux plus favorable au montage. On peut donc optimiser la suite d'anneaux tout en se rapprochant au plus près de l'axe théorique et dans des conditions mécaniquement confortables supprimant le frottement entre la jupe et le revêtement.

Cette suite d'anneaux est visible à l'écran et également sur l'imprimante de façon à assurer l'intendance de l'approvisionnement.

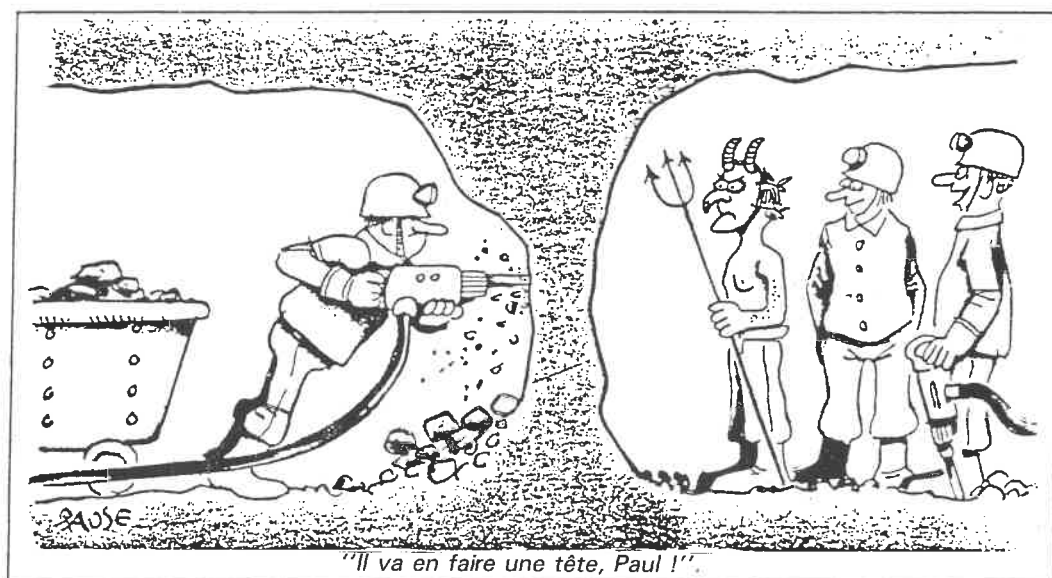
11. Toutes ces informations sont mémorisées et apparaissent sous forme de tableaux donnant les écarts, le P.M., la date et l'heure, nom du chef de poste, type d'anneau, facilitant en partie le rapport de poste sur le plan géomètre.

L'intégration de nombreux composants dans le système nous ont amenés à des contrôles de vraisemblance. Toutes les valeurs sont testées, en cas de dépassement ou d'in vraisemblance, un module d'interrogation des valeurs est mis en route. Si cette interrogation et ces valeurs sont confirmées, l'on peut introduire manuellement toutes les observations.

Tout le système est dans chacune de ses fonctions échangeable. Le théodolite motorisé peut être remplacé à tout moment par un tachéomètre électronique (mesure angles et distances), des inclinomètres manuels sont montés en parallèle avec les inclinomètres électroniques. Une panne d'appareils à ultrasons déclenche par le programme une prise de mesure manuelle.

Le système TUMA, système de guidage automatique a subi sa première épreuve sur le chantier TML, côté France et est certainement pour beaucoup dans l'obtention du record du monde d'avancement des tunneliers en mars 89. Par l'emploi combiné du gyroscope et du système de guidage automatique TUMA, la différence entre le tracé projeté et le tracé réalisé fut de l'ordre d'un centimètre, ce qui est vraiment une précision formidable.

* * *



Dessins tirés de "La nouvelle borne hilare", par Martin BÖHM.

Ayez LE PONT réflexe !

78.73.02.88

Avec LE PONT Equipements, optez pour :

- Le plus grand choix de matériels
- Le plus gros stock (livraison sous 48 h)
- La location / réparation, toutes marques

Il y a équipements et équipements.
Si vous voulez viser plus haut et plus juste,
il y a LE PONT Equipements :

- un matériel performant pour travailler mieux et plus vite,
- un catalogue de 188 pages pour faire le bon choix,
- des techniciens à votre écoute pour vous conseiller utilement,
- des stages de formation pour bien vous perfectionner.

LE PONT, votre partenaire de progrès.

LE PONT
EQUIPEMENTS

B.P. 11 - Rue Copernic
38670 CHASSE-SUR-RHÔNE

Agences à :

Paris, tél. 46 24 38 64

Lyon, tél. 78 58 49 90

Grenoble, tél. 76 96 67 74



SUIVI GEOMETRIQUE DE GALERIES D'ASSAINISSEMENT URBAIN VISITABLES

B. LEMOINE - Directeur de la Société GSIT - Paris

I - Préambule :

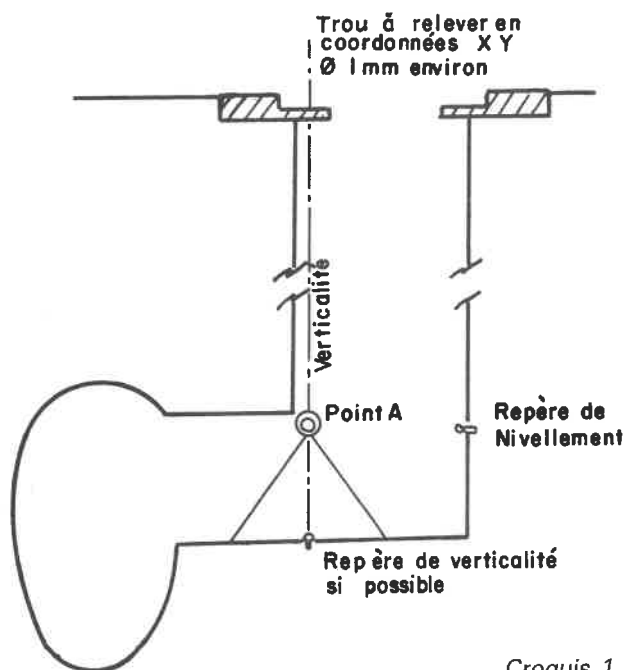
"Les égouts" sont les mal-aimés des municipalités et des budgets, du moins en ce qui concerne leur entretien.

Certains réseaux sont très anciens et présentent des dégradations importantes ; les conséquences d'une rupture d'un collecteur peuvent être dramatiques. (Pollution d'une nappe phréatique).

Il est bon de rappeler que c'est de loin le réseau le plus dense de "tunnels" sur notre territoire. A titre d'exemple dans la région parisienne presque tous les départements ont un réseau visitable avoisinant ou dépassant les 1 000 Km.

Aussi est-il en cours l'étude d'un système expert qui a pour objet de rationaliser, d'enrichir et d'optimiser l'exploitation et la gestion d'un réseau d'assainissement ainsi que la programmation des travaux d'entretien et de réparation.

Cette présentation ne fera l'objet que des moyens topographiques du suivi pathologique des ouvrages.



Croquis 1

II - Relevés topométriques de surface

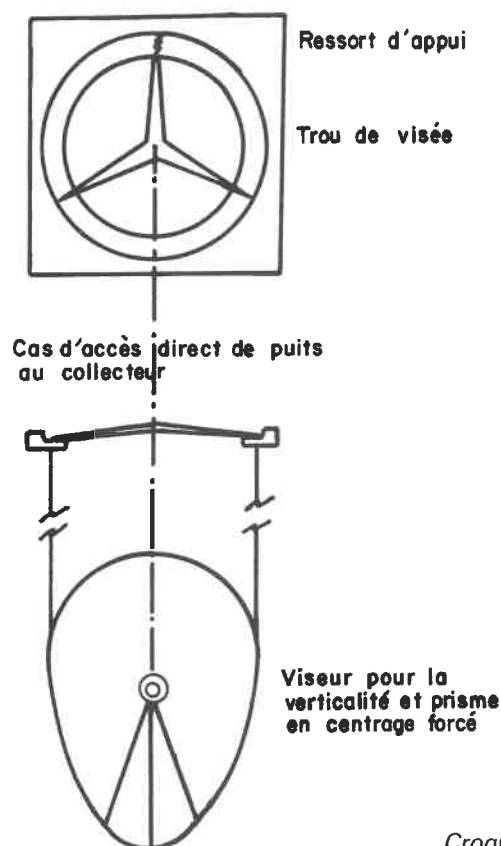
Il est nécessaire de procéder de prime abord à un levé de surface des tampons d'accès en coordonnées X Y Z si ce n'est pas déjà fait. L'on peut espérer, sans précautions particulières, localement, une précision de 2 à 3 cm.

III - Transmission de la topométrie en sous-sol

D'une manière générale il convient de percer de part en part au plus petit diamètre possible un trou dans le bord interne des tampons de telle manière que l'on puisse poser un repère au sol (en bas) ou stationner sur pied juste à l'aplomb de ce trou (croquis n° 1).

Dans le cas où ce système n'est pas possible de part la configuration de l'accès, nous avons fabriqué un gabarit avec des rallonges, suivant le diamètre de l'ouverture, épaulé par 3 points sur le bord interne des tampons soulevés (croquis n° 2).

Le but essentiel de cette transmission des X Y est de mettre un prisme **précisément** ($\pm 5/10^6$ de mm) sur le point relevé en surface.



Croquis 2

Nous employons à cet effet un viseur nadiro-zénithal. L'embase du nadiro-zénithal reste en place sur le pied après la mise en station nous substituons à l'appareil le prisme.

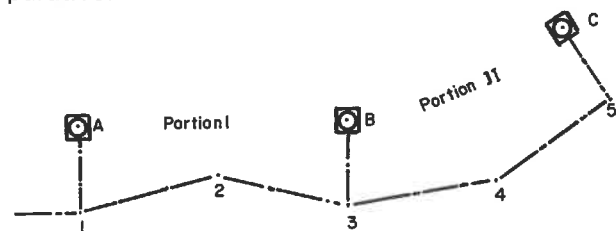
Quant aux Z ils sont transmis à l'aide d'une chaîne plombée.

Les points relevés en X Y Z translatés en sous-sol constitueront les points considérés comme fixes de l'auscultation prospective.

IV - Les auscultations prospectives

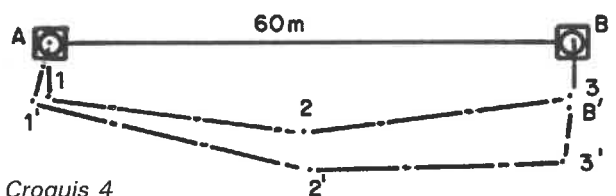
Elles sont destinées à rechercher, par un cheminement en X Y Z périodique, moyennant un pas fixé à 30 m environ les zones instables et ceci avec une précision inférieure ou égale au mm (croquis n° 3).

Les points de fermeture A B C étant à 2 cm près environ nous avons opté pour la compensation : autrement dit les calculs et compensations étant effectués suivant un modèle mathématique immuable, nous entachons certes un relevé très fin d'erreurs mais d'une manière systématique et comparative.



Croquis 3

De façon à se limiter à un seul passage, le nivellement est géodésique ; le déversement de l'ovoïde est relevé durant la même opération (croquis n° 5). Le croquis n° 4 montre que nous nous affranchissons de la transmission des gisements en prenant arbitrairement un gisement $\overline{A1}$; le point B' étant calculé, nous effectuons un changement de base rotatif en A de façon à "fermer" sur B compensations y compris. Il est à noter que les points 1, 3, 5 auront des coordonnées différentes suivant les portions (croquis n° 3).



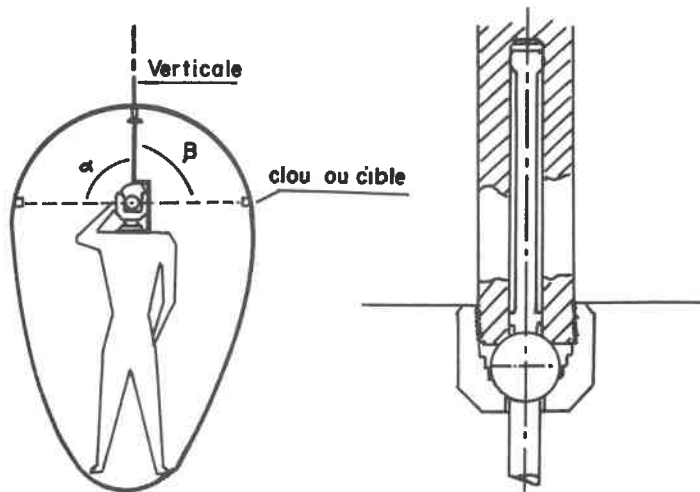
Croquis 4

V - Les repères et les appareils employés

Nous nous servons d'un T 2000 ou d'un T 2 complété par une DI 2000 dont nous avons étalonné au préalable les distances concernées sur une base d'interferométrie à laser. Il est possible de cette manière d'augmenter très fortement les précisions données par le constructeur.

Les repères scellés à la résine en voûte (croquis n° 6) reçoivent en centrage forcé une tige soutenant une nacelle (croquis n° 5) à laquelle est liée une embase avec une vis bloquée (le bullage se faisant sur les 2 autres vis calantes).

L'axe de la tige en centrage forcé est mécaniquement réglé sur le centre de l'embase du théodolite, des contrôles de ce réglage sont faits périodiquement.



Croquis 5

Croquis 6

A chaque point est affecté la même nacelle pour les opérations ultérieures (3 nacelles sont nécessaires).

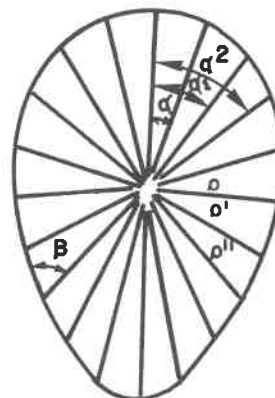
Il convient d'affiner par des relevés particuliers, certains désordres constatés par des relevés de profils et des auscultations fines de détail.

IV - Relevés de profil

Il a été testé deux méthodes :

a) Un profilomètre (DIOR) qui par angles et distances relève un profil point par point (croquis n° 7).

Il importe de se méfier des surfaces humides et boueuses, les mesures passent mal, mais par contre les données sont d'une exploitation aisée, peu onéreuse et peuvent être intégrées directement dans le système expert ; Le profilomètre Amberg devrait être plus adapté.

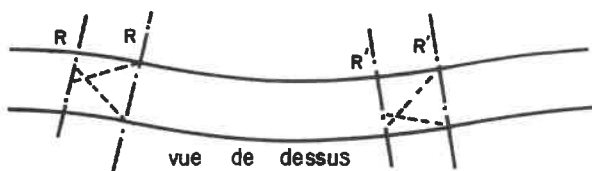


b) Un appareil photoprofil à laser :

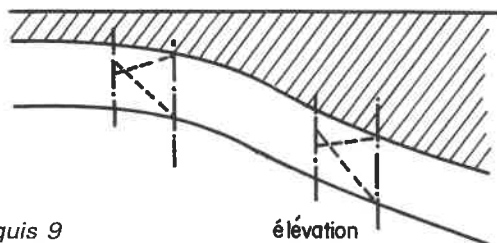
Un laser horizontal émet un faisceau de diamètre 10 mm qui repris par un prisme pentagonal le dévie à 90° par rapport à une bulle horizontale.

Le prisme entraîné par un micro-moteur fait décrire à l'impact du faisceau une section qui est photographiée sur un plan film de 18 x 24 cm.

Par combinaison de bulles et de viseurs, les profils sont verticaux et homothétiques (croquis n° 8 et 9). L'échelle des clichés est prédéterminée par une distance fixe entre le laser et la chambre photographique. (1/20° ou 1/10°).



Croquis 8



Croquis 9

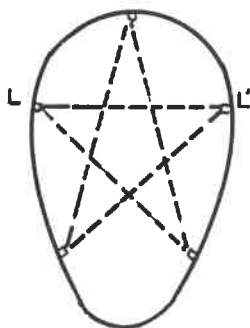
Le traitement des négatifs, si l'on désire les numériser, est effectué par balayage scanner.

Dans les deux options un gabarit type est superposé au profil relevé. La précision est de l'ordre de 5 mm. Croquis n° 14.

Les deux systèmes sont employés suivant le problème à traiter.

VII - Les auscultations

a) Il a été étudié par le CETE de Lyon un système de mesures de convergences par piges micrométrées (croquis n° 10), qui présente pour nous l'énorme désavantage d'être effectué par des non topographes. Par contre il est précis (1/10° de mm), les données sont facilement intégrées sur ordinateur (sous réserve que les points L et L' soient relevés en X Z).

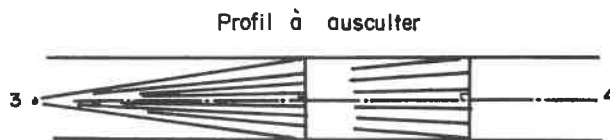


Croquis 10

Cette méthode est retenue dans le cadre d'un suivi fréquent.

b) Nous avons étudié une méthode plus topographique.

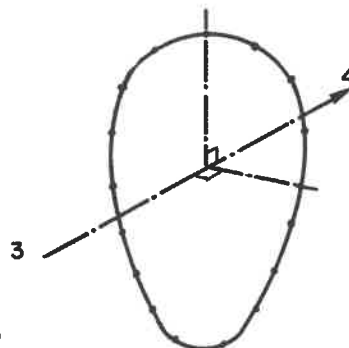
L'on détermine avec le laser photoprofil la section à ausculter perpendiculairement à l'axe 3-4 (croquis n° 11). L'on colle à la résine des petites cibles peu onéreuses le long de la trace du laser ou des clous pointés.



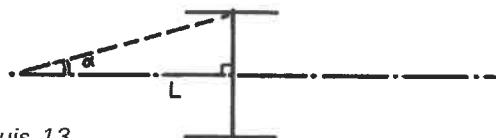
Croquis 11

L'avantage évident que fait ressortir le croquis n° 12 est que l'on peut multiplier les points à temps égal de mesures par systèmes à piges.

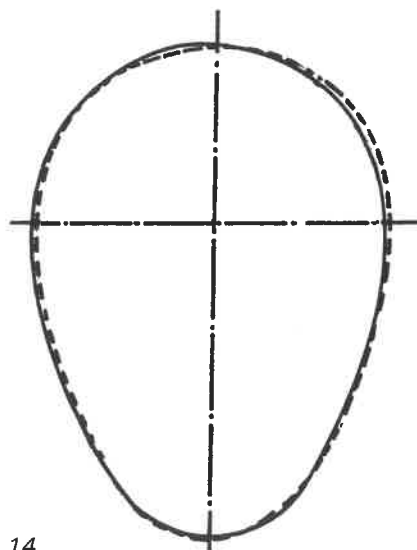
Le calcul X Y de chaque point est le suivant : (croquis n° 13).



Croquis 12



Croquis 13



Croquis 14

L'essentiel de la précision de ce procédé réside dans la haute détermination des angles α azimutal et β angle zénithal car encore une fois il n'est pas nécessaire d'avoir les positions en X Y Z de chaque point en coordonnées réelles mais homogènes entre elles et avec une précision **comparative inférieure** au demi-millimètre.

De plus les mesures des angles sont enregistrées du moins avec un théodolite moderne (type T 2002 WILD) sur cassette et peuvent être traitées, calculées et facilement injectées dans le système expert.

Il pourra être employé également des appareils à enregistrement continu tels que : tassomètres, fissuromètres et autres.

VIII - Conclusions

Avec une topométrie de surface approximative, nous avons déterminé les moyens géométriques à

mettre en œuvre pour ausculter, surveiller un réseau d'assainissement au mm près.

L'investigation géométrique pourra être alternativement cause ou effet. L'auscultation prospective déclenche un relevé visuel, technique et détaillé ou l'inverse.

Ces relevés seront intégrés dans l'ordinateur central qui à l'aide de clefs préalablement établies proposera une investigation complémentaire ou non et devra permettre une meilleure approche des analyses, des dégradations et des remèdes à y apporter.

Ces relevés devront être le point de départ de la topologie qui est l'étude des propriétés invariantes dans la déformation géométrique des objets et dans les transformations continues appliquées à des formes mathématiques.

BORNES & BALISES

B. P. 14 - Zone Industrielle
17290 AIGREFEUILLE d'AUNIS
Tél. : (46) 35-54-00

Une nouvelle technique révolutionnaire de bornage :

le système BISS de BORNES et BALISES, le complément indispensable d'un plan de récolement

Le système BISS de BORNES et BALISES est une technique révolutionnaire de matérialisation d'un point géométrique couplé à un mode de localisation permanent et précis au centimètre près.

PRINCIPE

Il est composé de deux éléments : le premier, actif, est un émetteur récepteur radio calé sur deux fréquences prédéterminées — l'une, d'émission, l'autre de réception — (Sondeur **2B SENSOR**) ; le deuxième, passif, dénommé "**BORA**" (borne radio).

Son principe correspond à une antenne qui renvoie sous un code précis le signal émis par l'émetteur **2B SENSOR**.

AVANTAGES

Depuis de nombreuses années, l'évolution des engins agricoles et de travaux publics ont rendu les bornes de plus en plus vulnérables. Grâce au système BISS, on peut raisonnablement concevoir aujourd'hui que chaque borne implantée permettra d'être conservée dans le temps et, par conséquent, amènera une économie importante dans la recherche de ces points.

En effet, par ses caractéristiques, le système BISS apporte les avantages suivants :

- durée de vie illimitée de la borne (élément passif sans énergie) ;
- pose et manutention ultra-rapides (poids de la borne : 50 g ; longueur : 11,5 cm ; diamètre : 2 cm) ;
- facilité de recherche du point grâce à sa personnalisation ;
- localisation unique sans interférence (aucun écran d'arrêt tel que béton armé, plaque de fer, pierres, eau, etc...) ;
- rétablissement du point avec une précision à la verticale d'environ 2 cm.



A gauche :
Repère topographique de réseau.

A droite :
Borne radio
"BORA".

Au centre :
Emetteur-récepteur
"2B SENSOR".

APPLICATIONS

Les performances de cette nouvelle technique de bornage ont amené la Société BORNES et BALISES à affecter des fréquences d'utilisation en accord avec les Administrations concernées :

- 25 KHz : IGN, Cadastres, bornes géodésiques, bornes de triangulation.
- 33 KHz : bornes foncières contrôlées par l'Ordre des Géomètres-Experts.
- 40 KHz : repère topographique affecté pour les repères de drainage, d'adduction d'eau et d'assainissement.

Le système BISS de BORNES et BALISES devient donc un outil indispensable dans le cadre des Banques de Données Urbaines et des nouvelles structures d'aménagement rural.



Détermination de verticalité
d'un point avec émetteur-
récepteur **2B SENSOR**.

Tous les topographes savent que la réalisation d'un plan de récolement nécessite en complément un balisage des points singuliers définis par rapport à la topographie des lieux. Au fur et à mesure des années, cette topographie peut changer et il devient plus compliqué pour les utilisateurs qui recherchent ces points, de les redéfinir.

Grâce au système BISS, le gain de temps dans la recherche va donc être considérablement augmenté ou accru et il apportera une économie extrêmement intéressante, en particulier, dans le cadre de la recherche de réseaux.

L'ensemble des Administrations concernées a déjà implanté 10 000 points en **FRANCE** et les tests de recherche réalisés ont amené ces Administrations à homologuer définitivement ce système.

Système "Trilivar" **Auscultation d'ouvrages d'art par trilatération au fil d'invar**

Ce système consiste en auscultations périodiques d'ouvrages (tunnels, tranchées, ponts, barrages, bâtiments, etc...). Nous ne présentons dans cet exposé à titre d'exemple que l'auscultation d'un tunnel.

I- Mise en place de l'infrastructure

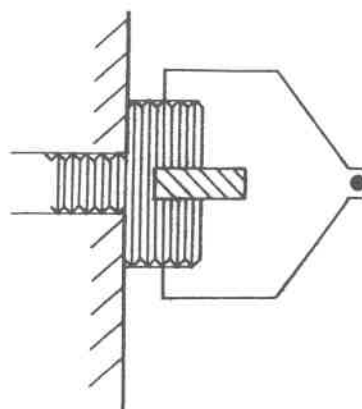
Croquis n° 1. Les plots de type "télémac" sont scellés à la résine dans les maçonneries et permettent un piétement amovible central.

L'emplacement et le nombre des repères est tributaire de la surveillance que l'on désire effectuer. Les repères d'un profil en travers sont implantés avec un théodolite d'une manière coplanaire.

II - L'appareillage

a) L'appareil Trilivar :

C'est un dynamomètre de précision muni des 4 ressorts tirant à 16 kg en tension constante. Les ressorts travaillent très en dessous de leur limite d'élasticité et sont pesés en eux par un système électronique.



Point de rotule

Croquis 2

L'appareil est muni de capteurs, de deux compteurs et permet avec une amplitude de 5 cm une précision de lecture au 1/100^e de mm.

Le trilivar est muni d'un double roulement qui lui confère la possibilité de mesurer les distances à partir du point de rotule avec un balayage azimutal supérieur à une demi-sphère.

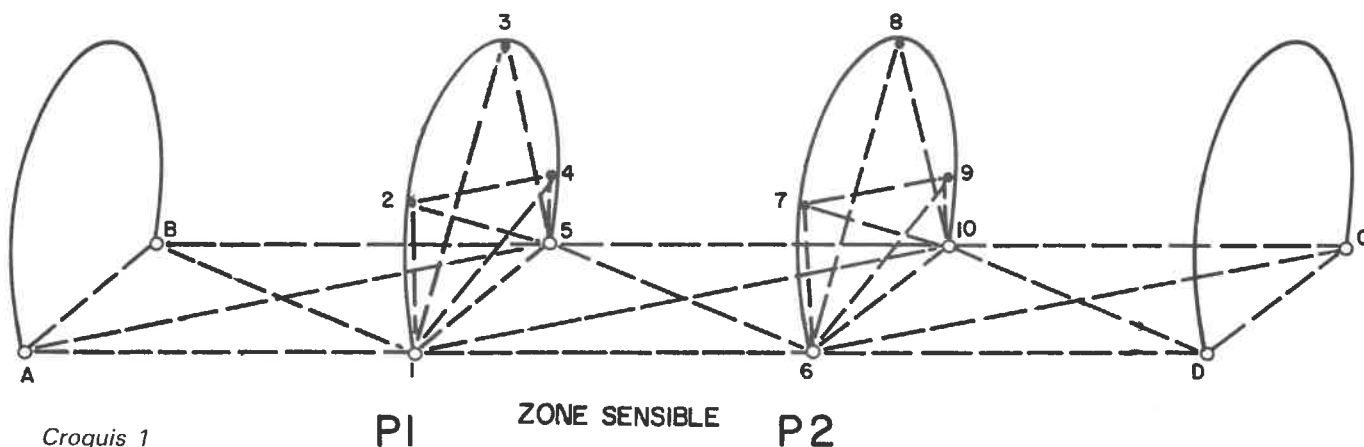
Sur l'autre repère est piété par le même système un autre double roulement.

Méthode d'auscultation "TRILIVAR"

SCHEMA DE PRINCIPE

● points d'accrochage des fils invar

○ points d'accrochage des fils invar et points nivelés



Croquis 1

b) Les fils d'invar :

Les fils d'invar de qualité géodésique sont étalonnés périodiquement sur une base d'interférométrie à laser dont la précision est inférieure au 1/100^e de mm.

Nous possédons une gamme de fils mètre par mètre, l'appoint étant fait par des rallonges en fil d'invar de 4 cm en 4 cm jusqu'à 1,04 m.

Un embout permet d'accoler un fil et une rallonge, le tout étant étalonné. Chaque mesure de longueur se compose d'un fil métrique, d'une rallonge avec son embout et d'une lecture de compteur.

Il a été fait un étalonnage des fils avec une pente de 0 à 90 degrés tous les 5° de façon à compenser les écarts dus à la chaînette maximum (à l'horizontal) à l'absence de chaînette (à la verticale).

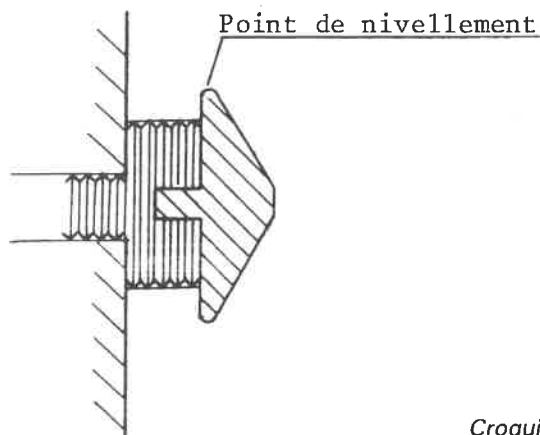
Les fils sont également étalonnés avec 4 lectures de compteur pour compenser le poids du chariot se déplaçant à l'intérieur de l'appareil.

Tous les fils et rallonges sont en triple de façon à palier tous les problèmes de torsion ou de rupture accidentelle de l'un d'eux.

III - La méthodologie

Elle se comprend d'elle-même en regardant de nouveau le croquis n° 1, nous travaillons par quadrilatères complets (ce qui permet une fermeture de contrôle) ou par triangles.

Tous les repères du bas sont nivelés à la mire invar avec une petite pièce magnétique et amovible : Croquis n° 3.



Croquis 3

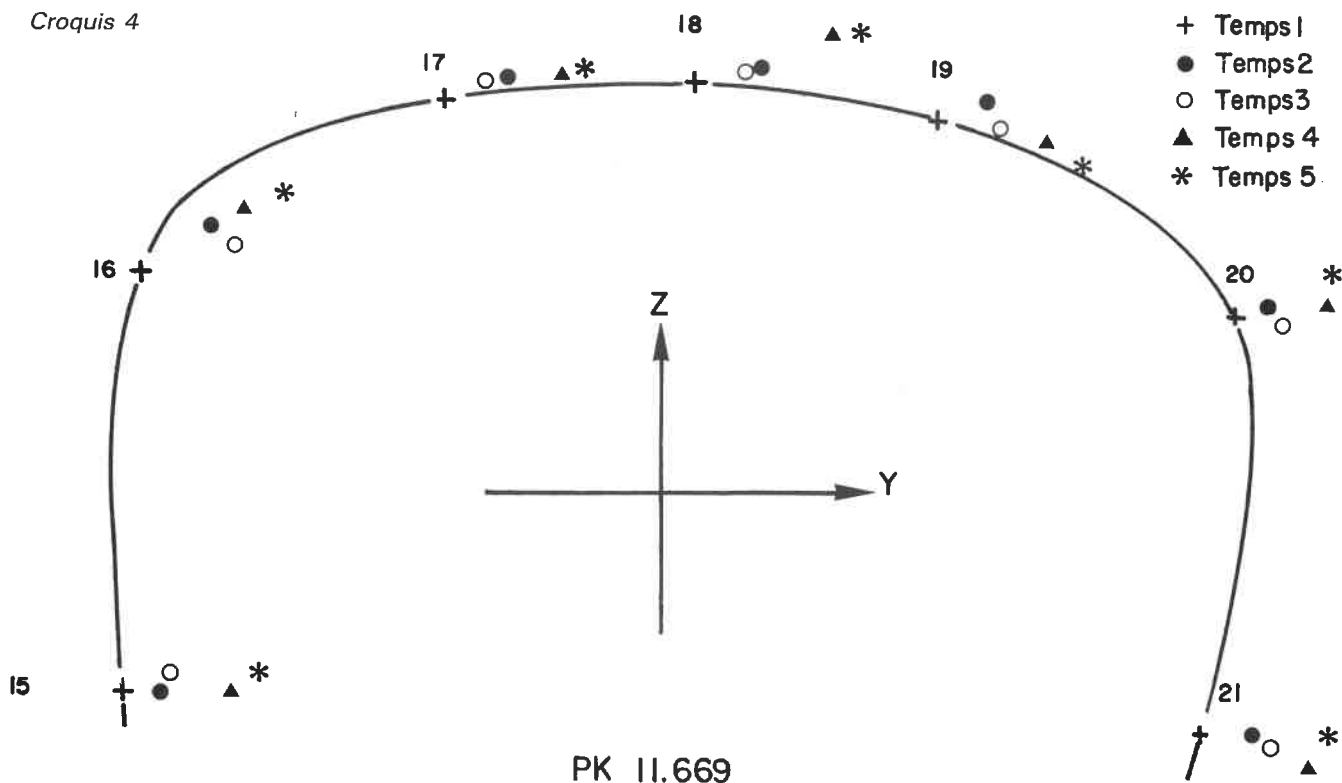
Les repères du bas sont calculés en X Y Z et seulement les repères hauts des profils en travers sont calculés en X Z.

Il convient au préalable de déterminer la zone à ausculter et à l'encadrer par 4 repères (A, B, C, D) que l'on considérera comme fixes. Ces points peuvent être multipliés par couples de façon à s'éloigner le plus possible de la zone sensible.

Le gisement AB est donné arbitrairement et par couple de points l'on calcule en X Y tous les points 1, 5, 6, 10 et pour finir D, C. (Le nivellement direct intervenant bien sûr pour les réductions à l'horizontale).

A la seconde campagne nous faisons un calcul provisoire en reprenant le même gisement AB ; les coordonnées de D' et C' étant obtenues, l'on constate en général un écart surtout dans le cas où la distance entre A B est disproportionnée par rapport à A D. Nous prenons donc le point A comme point

Croquis 4



de changement de base rotatif pour ramener D' et C' sur D et C ; mais seulement en direction ; la longueur résiduelle entre D', D et C', C n'est pas compensée (celle-ci étant en général très faible).

IV - Représentation graphique

Afin de rendre plus compréhensible les mouvements constatés nous avons optés pour une représentation graphique déformée avec des résultats différentiels anamorphosés. Croquis n° 4.

V - Précision

- Lectures au 1/100^e de mm
- Pour une distance reproductible $\pm 1,5/100^e$ de mm
- Pour une fermeture de quadrilatère complet $\pm 4/100^e$ de mm (E.M.Q. maximale acceptable).
- Pour un enchaînement de quadrilatère sur 100 m de long $\pm 3/10^e$ de mm

IV - Temps de mesures


6 à 10 mesures à l'heure.

A titre d'exemple : dans un tunnel nous avons relevé 5 profils à 7 points plus deux profils de stabilité en 15 heures y compris le nivellement.


VII - Conclusion

Ces mesures de hautes précisions permettent de déceler très rapidement une lente déformation et les mouvements constatés ne correspondent pas toujours à **court terme** à ce que l'on en attendait théoriquement ne serait-ce que les déformations saisonnières. Il est à espérer que les appareils électro-optiques ou autres pourront dans un proche avenir remplacer ces mesures aux fils d'invar certes précises mais un peu longues et nécessitant absolument le recours à une base d'étalonnage.

PRISES DE VUES AERIENNES



aéro
photo
europe
investigation



AVIONS RAPIDES
COUVERTURE
EUROPEENNE
2 EQUIPAGES :
365 JOURS SUR 365
MATÉRIEL FMC

A D R E S S E

APEI
Aérodrome de Moulins
03400 YZEURE
Tél. 70 20 63 67
Tél. : 980 882 - Fax : 70 20 84 87

1, rue du S

Au service des géomètres depuis 1973

1, rue du Square Jean.Gibert-78114 - MAGNY-LES-HAMEAUX

 16 (1) 30 52 23 82 + 16 (1) 30 52 40 49

Télécopie 16 (1) 30 52 11 25

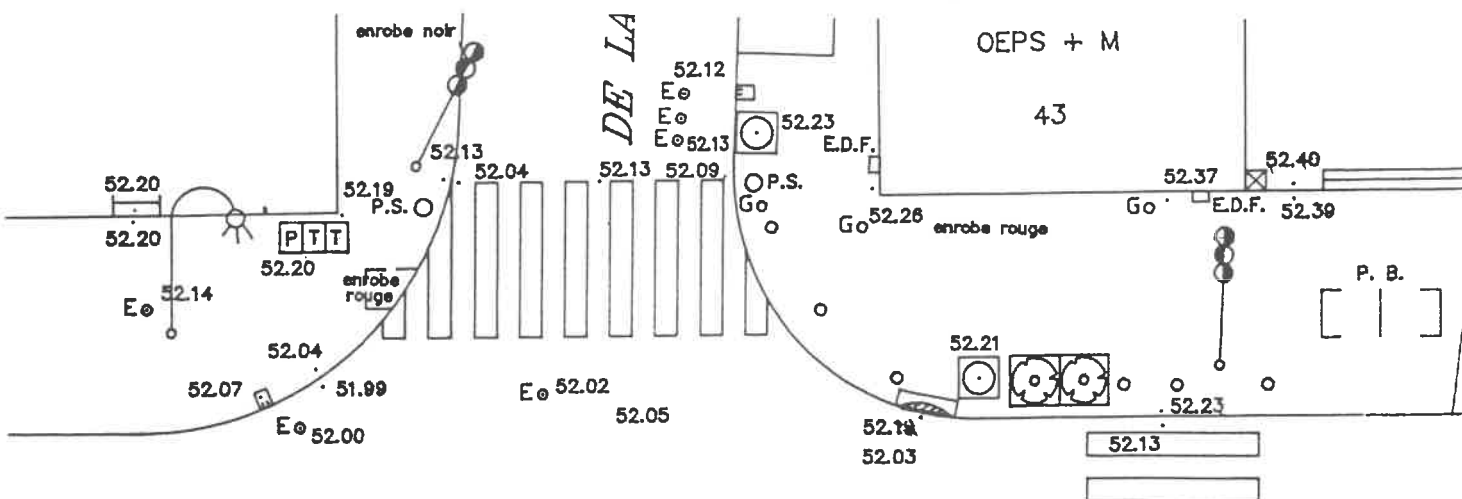
SUCCES D'AUTOCAD et de ses Applicatifs
FORMATION Développements-Conseils-Assistance-
NOMBREUSES REFERENCES

AUTOCAD Logiciel standard mondial au développement constant
TOPOCAD = (Report de points sous Autocad avec cadre, carroyage et coordonnées).-
POLYACAD = Génération de 60 à 80 % d'un plan topo sur un poste secondaire (un compatible PC lecteur de disquettes suffit) pour Autocad.
TOPOLISP = Utilisation d'Autocad dans un environnement "Topo" : Commandes nouvelles de construction géométriques- Calculs automatiques de points et de superficies. (lotiss. et projets) - Cotations automatiques, tableaux de coordonnées avec éléments d'implantations - Dessin de profils en long et en travers - Interpolation de courbes de niveau. - Plans d'intérieur et héberges - etc.
GEOSET 1) -Traitement de carnets électroniques. 2) -Calculs topométriques de base. 6)-Report de points sur imprimante. 7) -Report de points sur table traçante. 8) - Digitalisation.

Livre Utile : Guide AUTOCAD par la pratique Version 10
SIBEX avec Mémento gratuit 518F TTC Port inclus

Nouvelle génération ACCUPOWER 150VA/1400VA Onduleurs EMERSON
SMALL 1000 (Ultra-plat) 350VA onduleur + 650VA Filtrage
Prix SETAM : 6.675 FHT Garantie totale. Silencieux

NOUVEAU : **Table traçante/imprimante** permettant de tracer avec une qualité laser tout plan issu d'AUTOCAD. Format utile de A4-A2 (format US) papier ou votre calque plastique 14 200FHT.



**SYSTEME CLES EN MAIN (I.C.L. HP Compaq etc)
FORMATION et INSTALLATION DANS TOUTE LA FRANCE**

Retourner à : SETAM Informatique. 1, rue du Square Jean Gibert - 78114 CRESSELY
Je désire recevoir une documentation sans engagement de ma part.

NOM **Tél**

ADRESSE

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 nm 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.

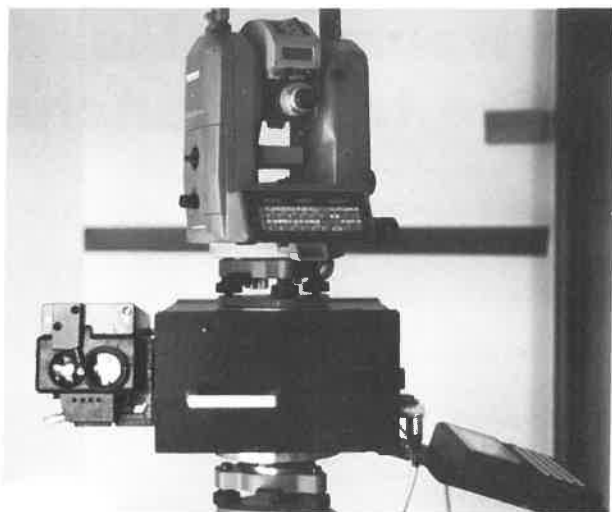


Figure 1

— 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) :

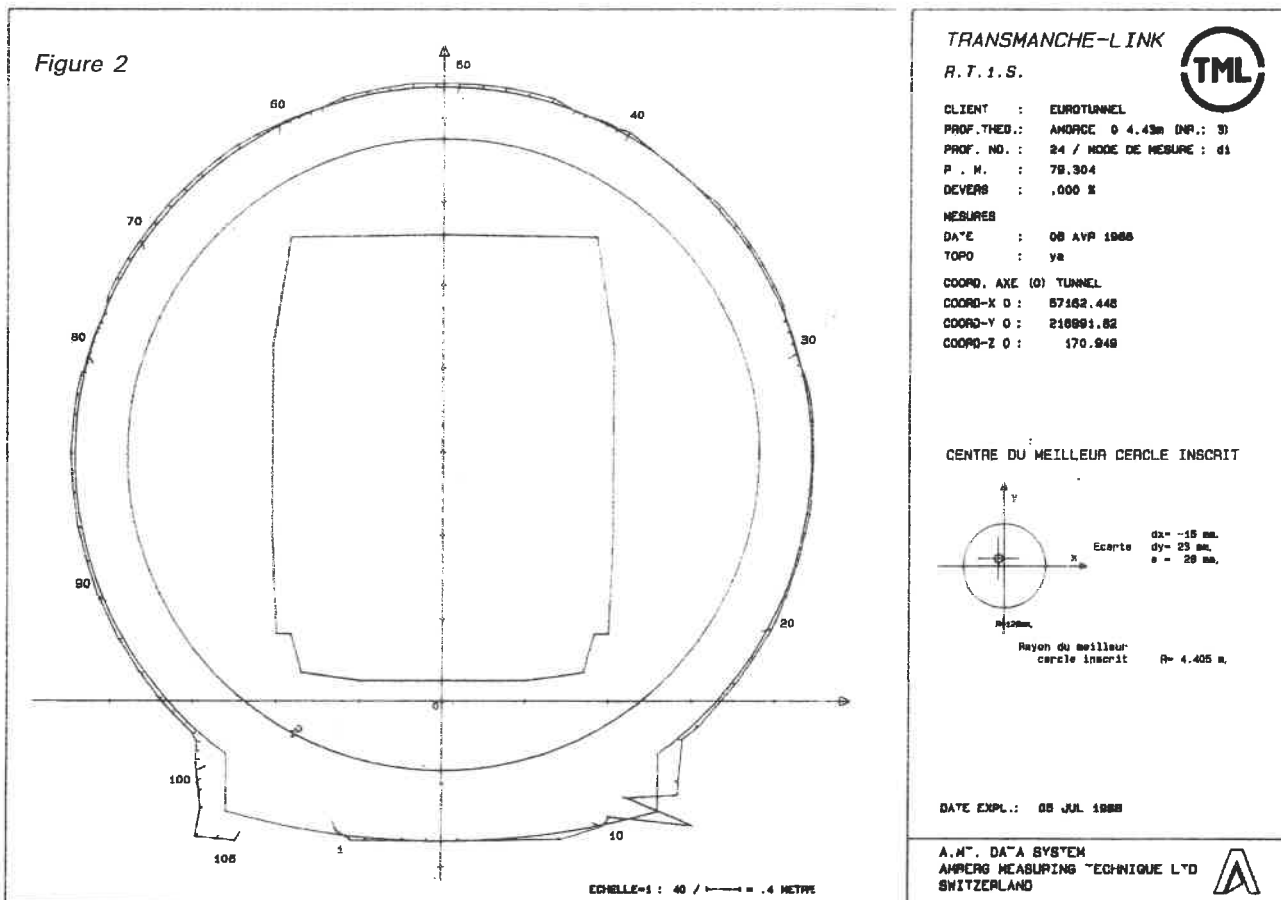
1) Si l'axe du tunnel est matérialisé : Mesurer directement dans le plan du profil les Dx et Dy de l'appareil par rapport à celui-ci.

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 :



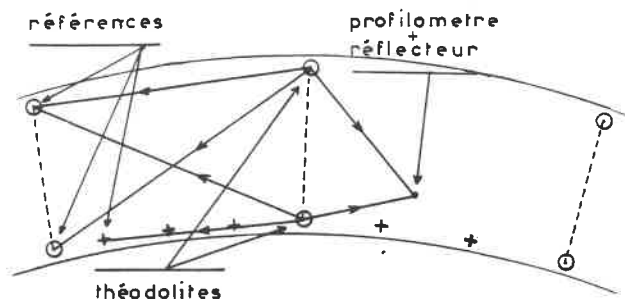
1ère méthode : le recouplement

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° 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
1. La méthode est sûre et précise car elle permet l'obtention d'une surabondance de mesures et donc la vérification du levé.	1. La méthode est longue (= 30 mn) car elle se déroule en deux phases. 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. 3. L'exploitation de ces mesures et des profils est longue. 4. Il est nécessaire de réduire les mesures pour les rendre homogènes aux entrées du logiciel Amberg.

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.

ANALYSE DE LA METHODE

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

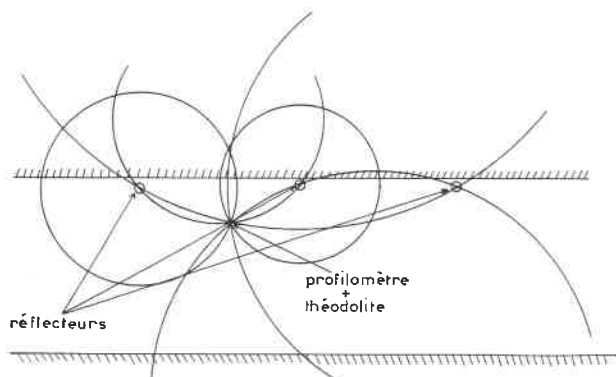


Figure 3

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 coulissables 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 caténaires.

LES PREMIERS PROFILOMETRES

Les premiers profilomètres utilisés à la SNCF sont des appareils portables équipés d'un petit générateur laser de faible puissance dont le positionnement peut être résumé ainsi :

Deux miroirs, l'un fixe et l'autre pouvant être déplacé à l'aide d'une vis réglable, projettent deux taches sur l'obstacle à relever.

Un procédé de mesure simple par triangulation permet de calculer la distance de l'appareil à l'obstacle lorsqu'il y a superposition des taches.

Ces appareils ont tous l'inconvénient d'une mise en station longue et délicate.

LA RAME PHOTOPROFIL

Ainsi, en vue de répondre à ses besoins propres en matière de tunnels, le département des ouvrages d'art prit à son compte à partir de 1978, la recherche d'un système rapide basé également sur la technique des photoprofils et qui est aujourd'hui en service.

Un wagon à boogies spécialement aménagé comporte à l'une de ses extrémités, un émetteur laser puissant dont le faisceau est dirigé selon un axe parallèle au châssis du wagon.

Un miroir tournant intercepte ce faisceau pour le projeter, suivant un angle droit, dans un plan rigoureusement perpendiculaire à cet axe.

Une caméra photographique installée dans une cabine située à l'autre extrémité du wagon a son axe optique réglé sur celui de l'émetteur laser.

Elle permet les prises de vue de la trace du plan lumineux si nécessaire au repérage des différentes vues notamment de l'échelle des clichés (cf. figure 1).



Figure 1

A l'issue du passage du wagon, on dispose ainsi d'une série de sections transversales de l'intrados de l'ouvrage.

Les clichés sont pris en circulant sur l'une quelconque des deux voies dans le cas d'un tunnel à double voie, à une vitesse sensiblement égale à 2,5 km/heure, en principe sans arrêt et à raison d'un profil tous les 10 m au minimum si on le désire.

Dans son état actuel l'appareil ne peut relever les zones proches des têtes de tunnel que la nuit.

Le déclenchement des prises de vues peut être soit manuel, soit automatique grâce à une centrale

embarquée de mesure des distances, l'opérateur choisissant entre ces deux types de déclenchement, celui le mieux adapté.

Le dispositif de prise de vues fut une caméra à un objectif qui est aujourd'hui remplacée depuis peu de temps par une caméra à double objectifs spéciaux de façon à permettre la prise simultanée de clichés instantanés (photoprofils en général au 1/2 de sec.) ou en pause (photocastans).

Cette caméra est équipée d'un magasin renfermant deux films constitués par un négatif 35 mm noir et blanc de sensibilité 250 ASA.

LE REPERAGE DES PROFILS

Le repérage des profils par rapport au tunnel est, bien sûr, inévitable.

Il est constitué comme indiqué ci-après.

- Un dispositif embarqué de mesure de distances interprofils qui n'est autre qu'une centrale de distance basé sur le principe de la "roue phénique" qui, placée sur l'un des essieux du wagon, permet de compter le nombre de tours de roue effectués depuis l'origine des relevés.

Les indications fournies par cette centrale sont répercutées à l'armoire lumineuse dont les indications apparaissent sur le cliché, au pupitre du système de commande et à une imprimante.

Il est possible aussi de superposer le signal déclenché par l'opérateur au droit d'une plaque décimétrique par exemple, mais surtout à chaque prise de vues. La précision de ces informations est de 1/500.

- Un repérage dans le tunnel au moyen de repères constitués d'éléments de 10 cm de tube en acier de section carrée scellé à 1,50 m du sol dans la maçonnerie d'un des piliers et dont la trace apparaît sur les clichés.

Ces repères sont rattachés au profil long de la voie existante par un levé topographique classique qui est réalisé peu avant le passage du wagon au moins sur une des piles des rails au droit de chaque repère et généralement sur eux-mêmes.

Du fait que les rails et le repère scellé apparaissent sur les clichés, il est aisé de rattacher entre eux les profils d'un même tunnel (cf. figure 2).

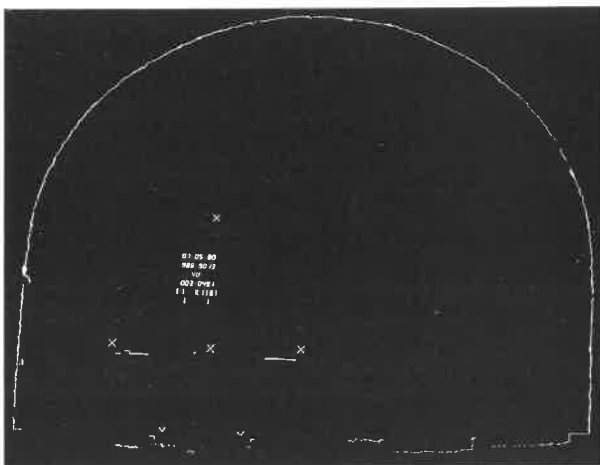


Figure 2

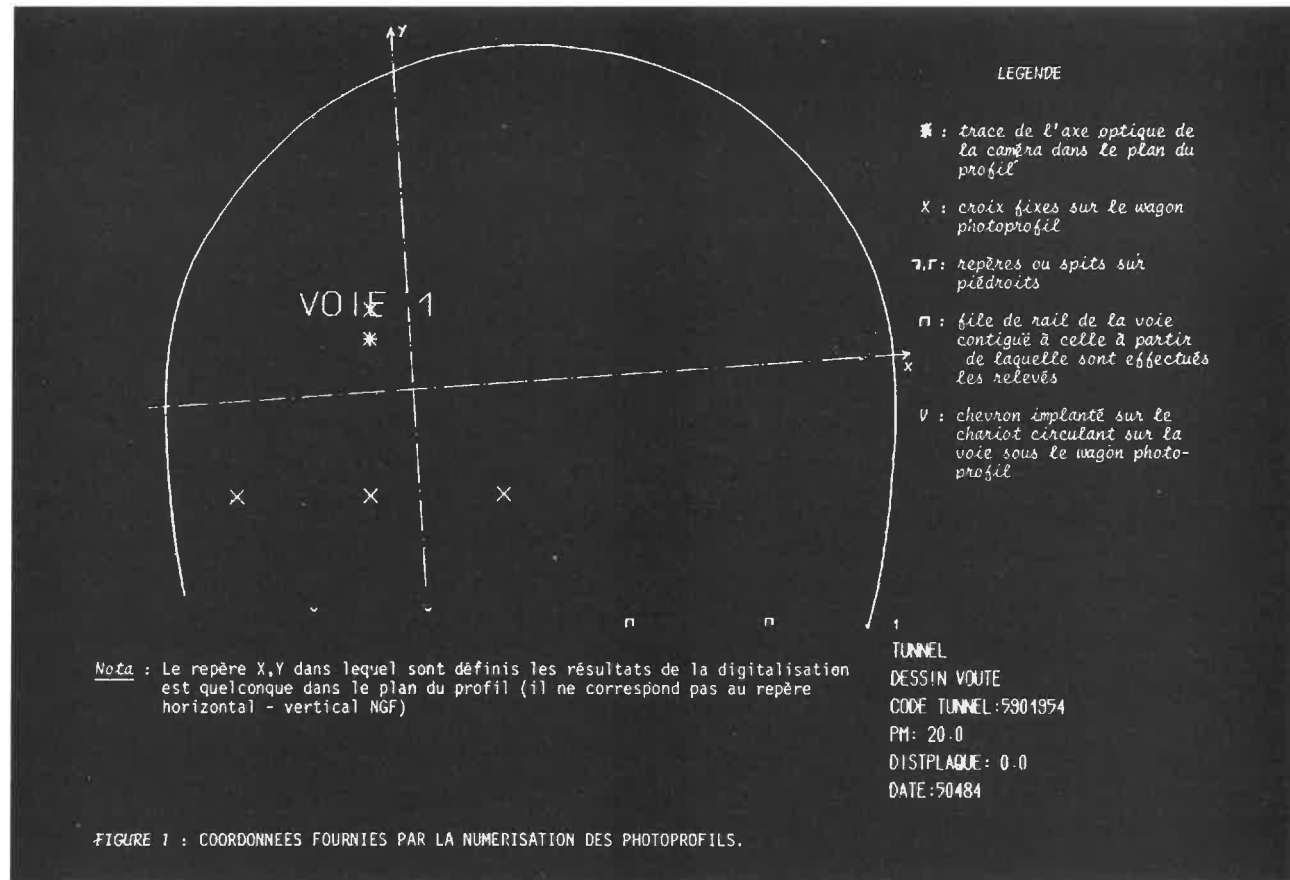


Figure 3

Comme le wagon est équipé, d'une part, d'une pendule qui a tout instant enregistré la direction de la verticale, d'autre part, de quatre choix de calibrage qui définissent la position du wagon et enfin d'un chariot muni au droit des rails circulés de deux chevrons lumineux qui indiquent la position de la face intérieure du rail, il devient possible de fixer respectivement le profil dans le plan transversal à l'axe de l'ouvrage et de le rattacher à la position des rails.

TRAITEMENTS DES CLICHES

Le rouleau photographique 35 mm est traité de façon classique par un laboratoire photographique.

Les négatifs, pour déceler d'éventuelles anomalies sont visionnés avec une visionneuse-tireuse qui restitue des épreuves photographiques sur papier blanc de format 21 × 27 (cf. figure 3).

Ces images sont converties numériquement en "images raster" au moyen d'un scanner. Un programme de reconnaissance analyse chaque image et en extrait les coordonnées significatives (x,y des rails, repères topographiques et suite ordonnée des points décrivant l'intrados).

Ce programme fonctionne sur compatible PC.

LE TRAITEMENT INFORMATIQUE DES ETUDES GEOMETRIQUES EN TUNNEL

A partir des éléments ainsi stockés sur disquette à l'issue de cette numération, il devient possible d'effectuer trois types de traitement dans les tunnels :

- 1) une restitution graphique des profils en travers afin de constituer une bibliothèque,
- 2) une étude d'optimisation de la position des voies et des interventions sur la structure,
- 3) une construction interactive d'anneaux de cintres en tunnel (cf figure 4).

Le deuxième type de traitement, également appelé étude géométrique en tunnel, fait appel tout comme celui des épures, à un programme conversationnel de conception interactive (CAO).

Il consiste :

- en première étape, sans modifier le tracé existant des voies, à rechercher le profil en long le plus haut qui permette de dégager le gabarit imposé. Le profil obtenu est une ligne brisée qu'il faut généralement lisser pour respecter les normes de variation de pente. Il est appelé "profil en long lissé haut" (cf. figure 5) ;

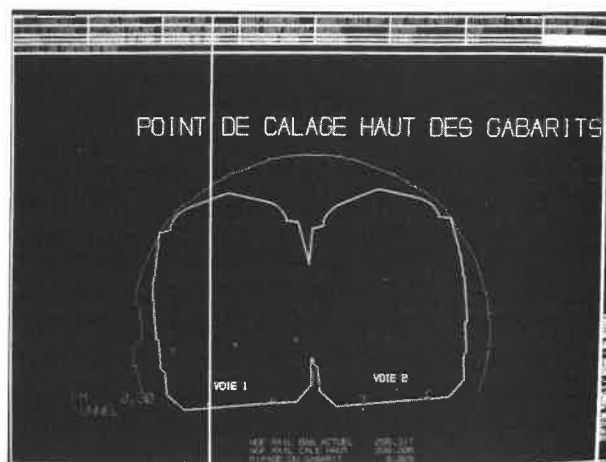


Figure 5

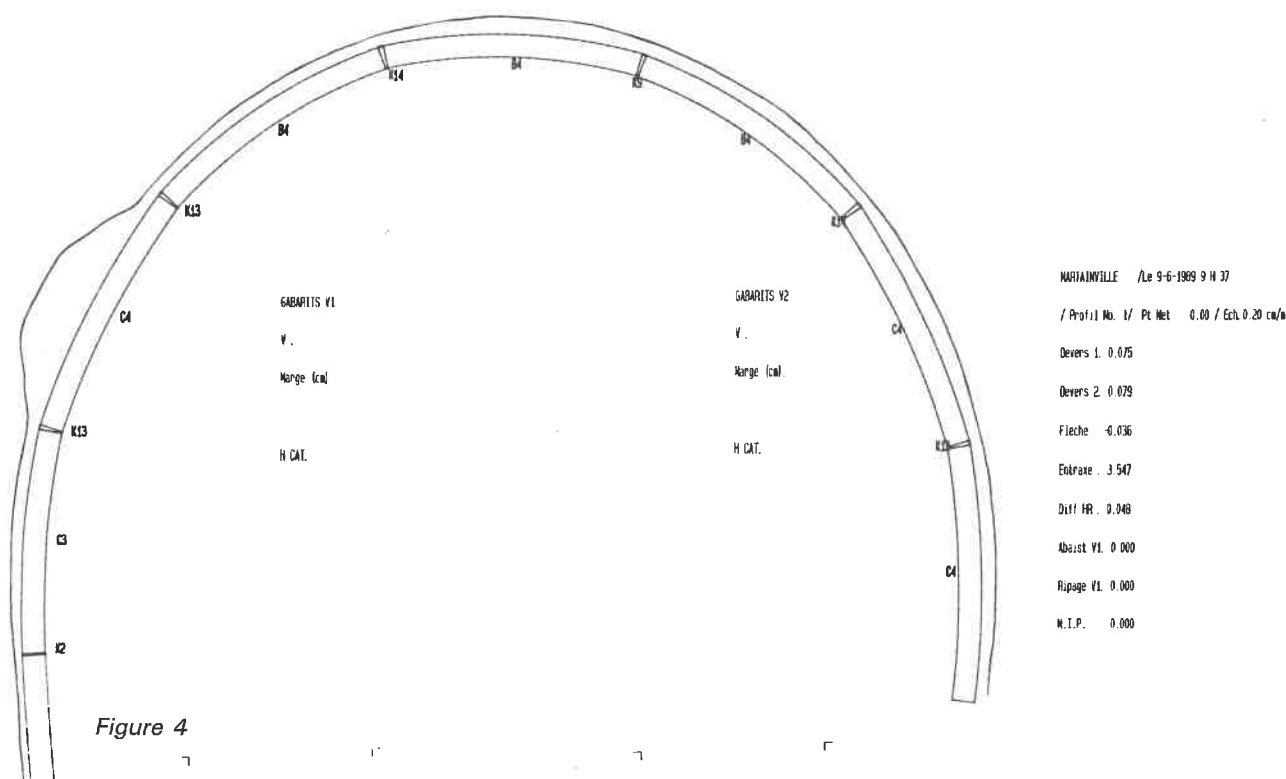


Figure 4

• en deuxième étape, à simuler la circulation du gabarit, ou de l'enveloppe, désiré sur ce profil lissé et à déterminer au droit de chaque photoprofil, les deux déplacements horizontaux les plus grands vers la gauche et vers la droite qui puisse subir ce gabarit avant de rencontrer l'intrados ou l'obstacle (cf. figure 6) ;

— les normes de sécurité et de confort qui réglementent l'implantation des voies ferrées.

Les résultats de cette étude sont édités sous forme de listings de coupes en travers, de planches de fuseaux et de profils en long des voies (cf. figure 7).

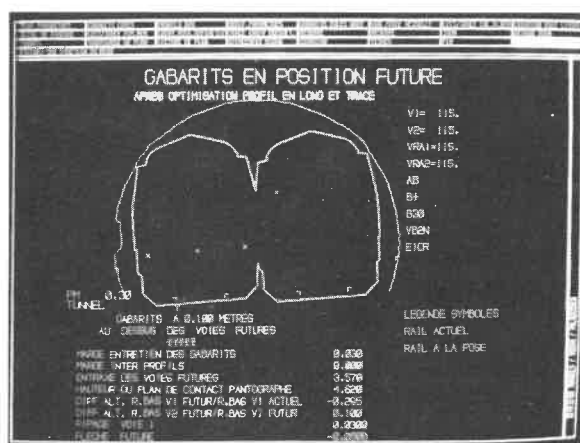


Figure 6

La juxtaposition pour l'ensemble du tunnel de ces deux valeurs de déplacement définit un "fuseau de passage" du gabarit pour le profil en long considéré et le tracé de voie actuel.

• en troisième étape, à modifier le tracé des voies et même le profil en long jusqu'à ce que soit obtenu un compromis satisfaisant entre :

- la nature et l'état de l'ouvrage,
- la géologique du site,
- les travaux envisageables sur la structure et leur coût,
- les travaux en plate-forme et leur coût,

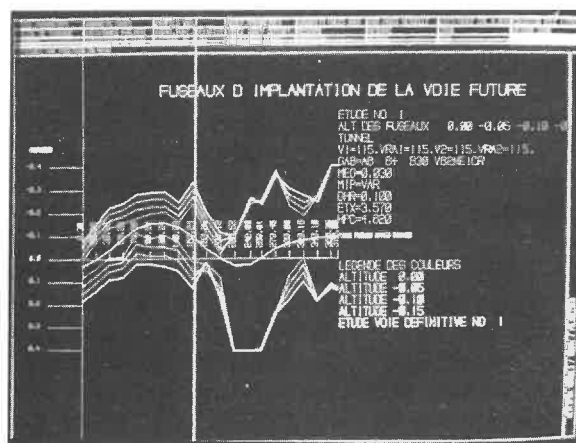


Figure 7

LA PRECISION ET LES MARGES D'ETUDE

La précision à l'issue d'un tel traitement qui fait appel à des relevés in situ et à plusieurs opérations intermédiaires est bien sûr fonction de la précision propre à chacune de ces opérations.

Cette précision d'ensemble pour être maîtrisée a réclamé des optiques spéciales et un aménagement des logiciels pour parvenir à corriger les successives distorsions dues à la prise de vues, aux tirages et aux lectures.

Toutes les vérifications en place de ce traitement effectuées sur les gabarits, étalons, repères, selon la méthode par trilatération au fil d'invar, ont conduit à une précision inférieure à 3 cm pour une ouverture de 8 m.

Lors des relevés pour des raisons bien compréhensibles d'économies, il n'est pas possible de serrer le pas des relevés de profils.

L'équidistance entre profils fixée à 10 m n'est qu'exceptionnellement réduite à 5 voire à 1 m dans les zones déformées ou à rayon prononcé.

Aussi, pour tenir compte des éventuelles variations de la géométrie de l'intrados entre deux profils consécutifs, est-il tenu compte d'une marge appelée marge interprofils, généralement fixée à 3 cm.

Chaque opération de nivellement ou de dressage de voie a pour conséquence d'entraîner de légers déplacements de la position de la voie en altitude ou latéralement. Il s'ensuit la prise en considération d'une marge d'entretien verticale de 5 cm et une marge latérale de 3 cm pour chacune des voies.

Il convient de noter qu'au fur et à mesure de l'exécution de travaux intervenant sur la structure, par la mise en œuvre de nouveaux revêtements par

exemple, des mannequins de chantiers sont régulièrement déplacés pour vérifier le dégagement des gabarits souhaités.

LES PERSPECTIVES

Aujourd'hui, un nouveau procédé de traitement se fait jour. Tant au niveau des prises de vues que du traitement des clichés.

Il consistera, au moyen d'une caméra à deux objectifs, à relever simultanément des clichés instantanés et des clichés en pause ce qui permettra d'obtenir un relevé continu de l'ouvrage.

Comme l'intérieur de la trace de l'image en pause plus épaisse que celle d'un photoprofil, délimité le contour minimal il va s'en dire que dans le futur ce sont ces clichés qui serviront de support aux études géométriques, les clichés instantanés ne servant qu'à positionner les rails.

Un programme, en cours d'élaboration, devrait permettre de relier géométriquement l'ensemble des profils des deux types de clichés. Ainsi, aucune marge interprofil, ne serait prise en compte et la vérification de l'inscription d'un gabarit serait assurée en continuité.

Les essais ont également lieu pour parvenir à relever les têtes de tunnel de jour.

115^e CONGRES NATIONAL DES SOCIÉTÉS SAVANTES AVIGNON, 9-15 AVRIL 1990

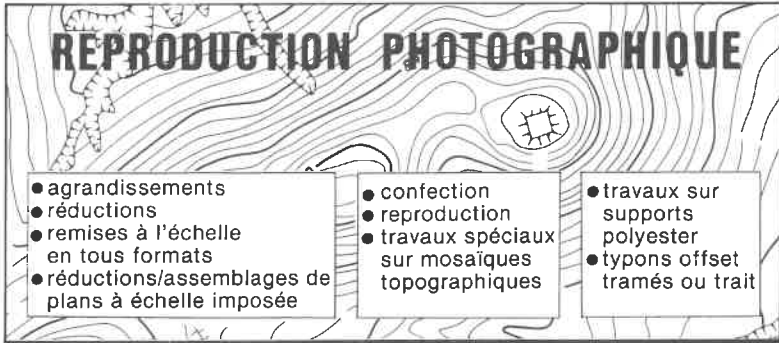
CTHS — Comité des Travaux Historiques et Scientifiques
3-5 boulevard Pasteur - 75015 PARIS
Tél. (1) 40.65.62.57 - (1) 40.65.60.45

Thèmes :

- Perception visuelle et traitement des images.
- Images de l'Univers.
- Images de la Terre.

HISTOIRE DES SCIENCES ET DES TECHNIQUES

Histoire des sciences et des techniques en Provence et dans la France du Sud-Est
Histoire de l'Astronomie en Provence. La mesure des longitudes par Peiresc et ses amis



REPRODUCTION PHOTOGRAPHIQUE

- agrandissements
- réductions
- remises à l'échelle en tous formats
- réductions/assemblages de plans à échelle imposée

- confection
- reproduction
- travaux spéciaux sur mosaïques topographiques

- travaux sur supports polyester
- typons offset tramés ou trait

HAUTE PRECISION




PHOTO-REPROGRAPHIE PHOTO-CARTOGRAPHIE

LES APPLICATIONS DE LA REPRODUCTION TECHNIQUE

5, rue de la Véga
75012 PARIS

(1) 43.47.15.92

BIBLIOGRAPHIE

sur les ouvrages souterrains et en particulier sur le Tunnel sous la Manche

Nota : des résumés ou extraits de ces ouvrages paraîtront dans le n° 41 d'XYZ

• **OUVRAGES SOUTERRAINS - CONCEPTION, REALISATION, ENTRETIEN**, par A. BOUVARD-LECOANET, G. COLOMBET, F. ESTEULLE chez Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.

• **CONNECTION OF THE TWO LEVELLING SYSTEM DATUM IGN 69 AND ODN THROUGH THE CHANNEL BY USING GPS AND OTHER TECHNIQUES. FIRST INTERNATIONAL WORKSHOP ON GEODESY FOR THE EUROPE-AFRICA FIXED LINK FEASIBILITY STUDIES IN THE STRAIT OF GIBRALTAR**, 8-10 mars 1989 - Madrid (Espagne), par P. WILLIS (+), R.F. BORDLEY (*), C. BOUCHER (+), C.E. CALVERT (*), R. CHRISTIE (*), G. PETIT (+).

• **GEODIMETER 140 SMS & COMPUTER AIDED STEERING OF THE TBM (TUNNEL BORING MACHINE) AT THE CHANNEL TUNNEL**, par TUNNELLING GEOTRONICS AB, 1989, Publ. No Geo-0027.

• **LE TUNNEL SOUS LA MANCHE GEOLOGIE ET GEOTECHNIQUE**, sous la direction de Pierre DUFFAUT et Patrick MARGRON, chez Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.

• **LE TUNNEL SOUS LA MANCHE - DEUX SIECLES POUR SAUTER LE PAS 1802-1987**, par Jean-Pierre NAVAILLES, chez Epoques - CHAMP VALLON.

• **LE TUNNEL SOUS LA MANCHE. L'histoire, le cadre juridique, la technique, l'organisation, le mailon manquant, le financement, les retombées sur les régions, la communication**, chez Annales des Mines - Mai 1988 - Edition spéciale.

• **USINE MODELE POUR LE TUNNEL SOUS LA MANCHE, BETONS 89 - N° 16**, Janvier 1989, chez Centre d'Information de l'Industrie Cimentière, 41, avenue de Friedland, 75008 Paris.

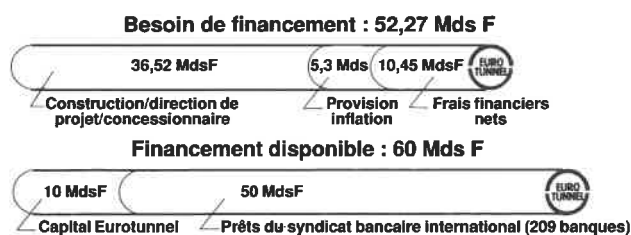
(+) Institut Géographique National (France).

(*) Ordnance Survey (Great Britain).

UN PROJET ENTIEREMENT PRIVÉ

Un financement privé de 60 milliards de F

Eurotunnel a réuni 60 milliards de Francs pour financer le projet, sans aucune aide ni garantie des Etats. C'est le plus grand financement privé du siècle.

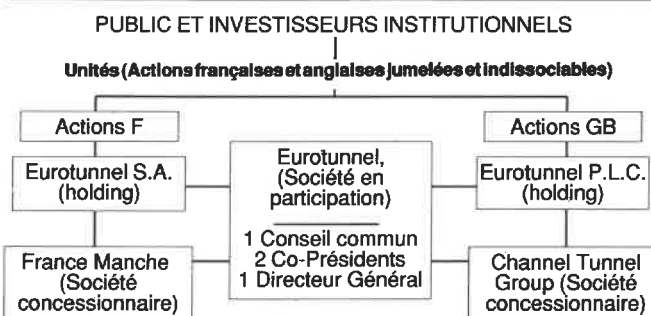


LE GROUPE EUROTUNNEL

Eurotunnel est un groupe privé franco-britannique, formé des sociétés France-Manche (F) et the Channel Tunnel Group (GB). Titulaire d'une Concession de 55 ans (expiration en 2042), il

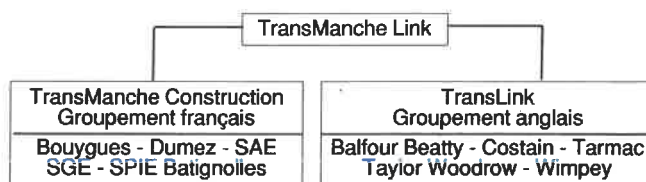
est chargé de la conception, du financement, de la réalisation et de l'exploitation du Tunnel sous la Manche. Eurotunnel est coté à la Bourse de Paris et au Stock Exchange de Londres.

Actionnaires



Les constructeurs

10 grands constructeurs français et anglais sont chargés de réaliser le projet pour Eurotunnel (Maître d'ouvrage).



Clôture

par M. PICALET

Le 16^e Colloque de l'A.F.T. sur la Topométrie Souterraine est terminé.

Votre nombreuse présence, votre attitude studieuse démontre tout l'intérêt de ce colloque et la qualité intellectuelle exceptionnelle des intervenants.

Je crois que tout ici était réuni pour assurer le succès de cette manifestation :

- Le choix des exposés.
- La valeur des conférenciers.
- L'exemplarité du chantier.
- La qualité des matériels présentés.

et je n'oublierai par la remarquable organisation des responsables de ce colloque.

Je crois, et vous devez penser comme moi, que tout ici a démontré que le défi lancé par ce chantier du siècle pourra être tenu.

— Le technicien, c'est-à-dire, ici, le topographe, le géomètre exerce son art dans l'un des domaines les plus pointus, traquant la précision, faisant tout pour la conserver.

S'il peut le faire c'est grâce à une réflexion préa-

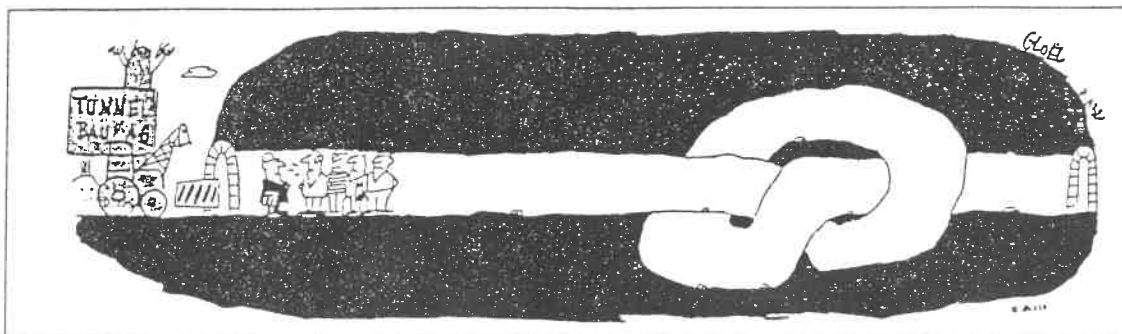
lable, aux méthodes soit éprouvées et testées, soit innovantes, si tant est que jamais travail n'est identique ni répétitif à 100 %, mais c'est grâce aussi au savoir des hommes, à leur "savoir-faire" qu'il est bon de temps en temps de faire savoir, et enfin grâce aussi à l'esprit inventif et pragmatique des constructeurs, ou élaborateurs des matériels utilisés.

Dans ce siècle où le progrès des techniques et des recherches est difficile à suivre, il est bon de savoir s'arrêter, un jour ou deux, comme ici, aujourd'hui à Sangatte, pour faire le point ensemble et repartir ensuite, confiant dans notre avenir, vers d'autres problèmes, d'autres défis que nous nous attacherons à résoudre et à vaincre aussi.

J'espère que vous garderez un excellent souvenir de notre Région, qui a un certain charme, ceux qui l'ont vue du haut du ciel vous le confirmeront.

Je souhaite un bon voyage de retour et une bonne escapade à ceux qui ne rentrent pas de suite, et vous donne rendez-vous le 7 décembre à Paris pour le 10^e anniversaire de l'AFT et... pourquoi pas la création de l'Association Européenne de Topographie.

*
*
*

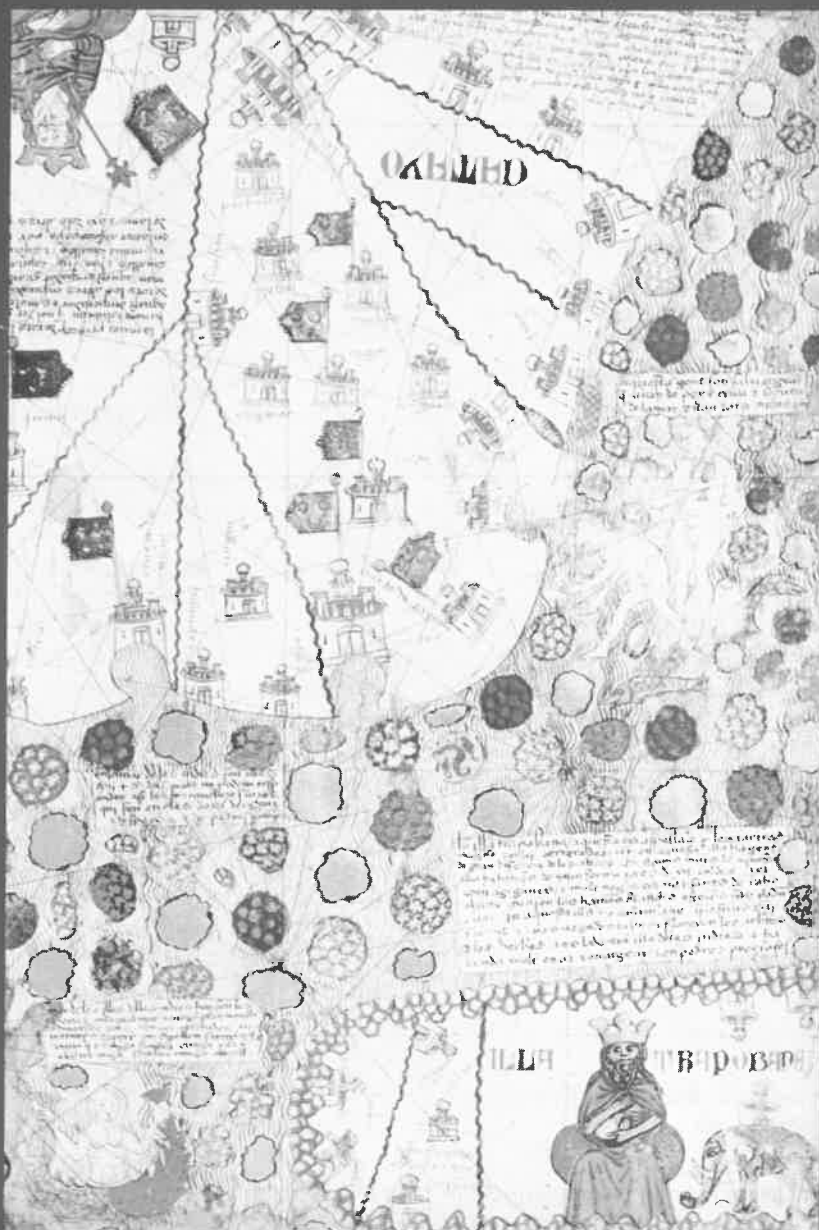


"Ce coup-ci, ça a été très dur, Chef".

Dessins tirés de "La nouvelle borne hilare", par Martin BÖHM.

Géographie du Monde au Moyen Age et à la Renaissance

Edité par Monique Pelletier



Editions du Comité
des Travaux Historiques et Scientifiques

La *Géographie du monde au Moyen Âge et à la Renaissance* réunit seize contributions abondamment illustrées : neuf en français, six en anglais, une en espagnol ; elles témoignent de la vitalité des recherches dans le domaine de l'histoire de la cartographie. Les auteurs y présentent des points de vue nouveaux sur des documents qui ont été révélés par des descriptions strictement géographiques et qui ont été ainsi coupés d'un cadre historique riche d'enseignements. Un champ de vision plus large apporte, comme on le verra, des connaissances renouvelées.

Pour le Moyen Âge, des fragments de mappemondes ont été récemment découverts ; ils renforcent l'idée que l'on avait déjà de l'importance de la cartographie anglaise, une cartographie qui, au *xiv^e* siècle, fut influencée par les représentations réalistes des marins, mais qui conserva néanmoins une structure très traditionnelle. Ce cadre fut encore utilisé de manière symbolique à la Renaissance pour la pseudo-mappemonde de Pierre Eskrich et Jean-Baptiste Trento, qui s'inscrit en fait dans les murailles de la ville de Rome et qui était un pamphlet virulent contre la papauté.

La cartographie des Grandes Découvertes est abordée sous l'angle des techniques de la navigation, qui commandaient l'utilisation et l'élaboration des documents cartographiques.

Le volume se termine par des articles sur les cartes des îles, lieux mythiques depuis l'Antiquité, limites du monde sur les cartes médiévales, lieux de conflits où s'affrontèrent les ambitions des empires économiques à l'époque des Grandes Découvertes.

Diffusion C.I.D.

131, bld Saint-Michel 75005 PARIS

Tél. 43.54.47.15.

Daniel
Oster
Jean
Goulemot

Daniel Oster – Jean Goulemot

LA VIE PARISIENNE

LA VIE PARISIENNE

Sand/Conti

Sand/Conti

ANTHOLOGIE
DES MOEURS
DU XIX^e SIÈCLE

Daniel Oster est professeur, écrivain, critique. Spécialiste du XIX^e siècle et du XX^e siècle, il a publié des essais consacrés à Balzac, Lautréamont, Apollinaire, Paul Valéry. Parmi ses derniers ouvrages : *Passage de Zénon* (Editions du Seuil), *Dans l'Intervalle* (Editions P.O.L.), *Le Nil de Maxime Du Camp* (Sand-Conti). Il collabore régulièrement à la *Quinzaine Littéraire*.

Jean Goulemot est professeur à l'Université de Tours. Spécialiste du XVIII^e siècle, il est l'auteur de plusieurs ouvrages, notamment *Le siècle des Lumières et Littérature des Lumières*. Il a contribué aux grandes entreprises collectives de ces dix dernières années (*Histoire de la vie privée*, *Histoire de l'édition française*, *Histoire des bibliothèques*). Il collabore régulièrement à France-Culture.

La Source : Qui était le vicomte de Lovenjoul ?

Amateur passionné de littérature, bibliophile et bibliographe de talent, collectionneur des manuscrits des grands écrivains de son temps : Balzac, George Sand, Théophile Gautier et bien d'autres, il collabora avec le premier éditeur du XIX^e siècle : Michel Lévy. Le vicomte Charles Spoelberch de Lovenjoul a réuni dès 1860 la plus extraordinaire collection d'auteurs contemporains, des plus obscurs aux plus célèbres. De ce fonds unique – 32 000 ouvrages, 5 000 auteurs – conservé aujourd'hui à l'Institut de France, ce livre présente une anthologie consacrée à la vie parisienne au XIX^e siècle (1850-1900). On en mesurera la richesse, la poésie et l'extraordinaire modernité. A *La Vie Parisienne* succéderont deux volumes, l'un consacré aux hommes de lettres et aux artistes, l'autre à la vie privée des Français dans la seconde moitié du XIX^e siècle.

Des chroniqueurs médiévaux à Louis Aragon, de Victor Hugo à Henri Calet, Paris n'a jamais cessé d'être célébré.

Il aura fallu attendre la fin du XVIII^e siècle pour que Paris soit observé et décrit. Avec le *Tableau de Paris* de Louis-Sébastien Mercier et les *Nuits de Paris* de Rétif de la Bretonne, la capitale devient un objet digne d'être étudié.

Dès lors, des écrivains polygraphes, des chroniqueurs, saisis par la déambulation posent leur regard sur la ville comme sur un corps de femme, avec curiosité et amour : Alexandre Privat d'Anglemont, Théodore de Banville, Jules Claretie, Gustave Claudin, Alfred Delvau, Maxime Du Camp, Ernest Feydeau, Elie Frébault, Léo Gozlan, Paul-Louis Imbert, Alphonse Karr, Léo Lespès, Jean Lorrain, Méry, Charles Monselet, Nadar, Louis Noir, Henri de Pène, Nestor Roqueplan, Aurélien Scholl, Pierre Véron, Charles Virmaître, Albert Wolff, Charles Yriarte... Paris était un spectacle. Paris devient un genre littéraire. Ils sont foule à arpenter la capitale dans ses dédales les plus secrets. Sont-ils promeneurs parce qu'ils sont écrivains ou écrivains parce qu'ils sont promeneurs ? Rien ni personne, en tous cas, n'échappe à leur curiosité attentive ou amusée : rues, quartiers, maisons, cimetières et morgue considérés comme lieux de socialité, le bouge comme l'atelier, la femme du monde comme la grisette, l'honnête ouvrier comme le surineur, le haut comme le bas, le printemps comme l'automne. Ils sont partout apportant la preuve de leurs dires à la semelle de leurs souliers.

Table des matières

PRÉFACE, par Daniel OSTER et Jean GOULEMOT,

La collection du vicomte Charles Spoelberch de Lovenjoul,

I. PARIS MODE D'EMPLOI,

II. LE DESSUS DE PARIS,

III. LE DESSOUS DE PARIS,

IV. PARIS DEHORS,

V. LES PARISIENS,

VI. LE PAVÉ DE PARIS.

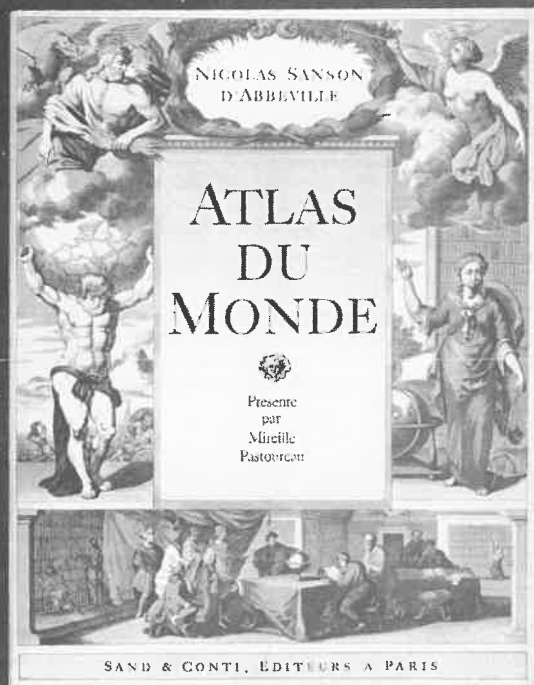
VII. PARIS TROTTOIRS,

Index des ouvrages,

Index des auteurs,

Editions SAND/CONTI.

présenté par Mireille Pastoreau,
Conservateur au département des
Cartes et Plans de la Bibliothèque
Nationale.



Des cartes générales de toutes les parties du monde, publiées pour la première fois en 1658, enfin reproduites dans un ouvrage contemporain !


Une présentation critique de l'atlas retrace le cheminement du savoir géographique, indissociable des affrontements politiques, commerciaux (la quête des métaux précieux, le commerce des épices, de la soie, des fourrures, le trafic des esclaves...) et religieux.

Un atlas qui communique aux Français des rêves d'aventures, et qui permet de mieux comprendre comment s'est formé le monde d'aujourd'hui.

Co-édition avec l'Institut de France, Editions SAND/CONTI
Dossier de peintures et d'images en couleurs
Cartes reproduites : une soixantaine

Format : 24 x 31,5

CARTES
IGN institut géographique national



ESPACE IGN sous d'autres latitudes :
Inauguration de l'exposition "Soleils d'hiver"
par M. Louis Le Penec, Ministre des DOM-TOM,
Porte Parole du Gouvernement,
le 6 février 1990

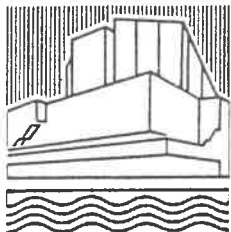
A l'heure de l'hiver en métropole, l'Espace IGN, (107 rue La Boétie, 75008 PARIS) a choisi de revêtir les couleurs des "îles".

SOLEILS D'HIVER, du 6 février au 15 mars 1990 propose au public toutes les richesses cartographiques de l'IGN sur les DOM-TOM : photos aériennes, cartes en relief, cartes touristiques à différentes échelles, ainsi qu'une sélection de tableaux sur les îles, peints par Marie-Claire BIARD.

Place aux voyages et à la découverte des îles Marquises, de Mayotte ou de la Guadeloupe mais aussi place à la connaissance : quel métropolitain saurait, en effet, situer parfaitement les DOM-TOM dans le Monde ? Un jeu concours organisé sur place, permettra de tester vos notions de géographie sur les DOM-TOM et de gagner de nombreux prix.



INTERNATIONAL
FEDERATION
of SURVEYORS



XIX CONGRESS

JUNE 10-19, 1990
HELSINKI, FINLAND

The Land of the Midnight Sun!

Nine technical Commissions
Commercial and Member Countries' Exhibits
Technical Tours and Excursions
Pre- and Post Congress Tours
Tours and Excursions
Social Events

WELCOME TO FINLAND -
the fresh alternative!

For further information please contact:

FIG 1990
Congress Management Systems
P.O. BOX 151
SF-00141 HELSINKI
tel. +358 - 0 - 602 163
fax +358 - 0 - 170 122

PETITES ANNONCES



MESURES ET SYSTEMES

6, rue des Jardins - 60500 CHANTILLY

recherche

TECHNICO- COMMERCIAL

Pour diffusion de :

- Equipements de **photogrammétrie analytique** d'une nouvelle conception, portables.
- Applications photogrammétriques aériennes, terrestres, industrielles
- Applications multiples, perspectives intéressantes.

PROFIL

Etre attiré par une activité commerciale impliquant dynamisme et facilité de contact.

Bon niveau de connaissances en photogrammétrie. Expérience de quelques années en applications photogrammétriques appréciée. Connaissances en informatique nécessaires, et DAO Autocad appréciées.

**MERCI D'ADRESSER VOTRE DOSSIER DE CANDIDATURE
(LETTRE MANUSCRITE + CV + REF.) A LA SOCIETE**

• DEMANDES D'EMPLOI

— " Etudiant allemand, 25 ans; 6e semestre d'Etudes Techniques Supérieures à ESSEN, souhaite effectuer un stage de vacances du 7.07 au 17.08.90; portant sur le traitement des données graphiques, relatif à des travaux fonciers ou cadastraux - Région de Bretagne ou Normandie - Rémunération couvrant au moins les frais de séjour .

Propositions à : Peter SCHLURMANN
Sabinastrasse 13
DE - 4300 ESSEN 1 R.F.A.

ou à l'A.F.T. qui transmettra. "

*
* *

— Secrétaire de Direction ayant plusieurs années d'expérience -

Topographie, Photogrammétrie, Cartographie

Cherche poste - Ecrire à X Y Z Réf. 40/1

• S F P T

La Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection vous invite à participer à son premier Colloque International sur "L'intégration de la Photogrammétrie et de la Télédétection dans les Systèmes d'Informations Géographiques : utilisation et qualité".

Ce Colloque, organisé par la S.F.P.T. et le CNES, aura lieu à Strasbourg du 6 au 9 Novembre 1990 dans les locaux de l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries de Strasbourg (ENSAIS).

Il s'adresse à tous les professionnels et utilisateurs de la photogrammétrie et de la télédétection qui veulent confronter leurs expériences avec celles de leurs collègues français et étrangers, ou s'informer sur l'intérêt des S.I.G. dans leurs domaines.

Pour tout renseignement, s'adresser à :

*Société Française de Photogrammétrie
et de Télédétection*

2 Avenue Pasteur

94160 Saint-Mandé - Tél.: (1) 43.74.24.33.

• OFFRES D'EMPLOI

RECHERCHE OPERATEUR GEOMETRE CONFIRME ou CHEF DE BRIGADE DEBUTANT
25 ANS ENVIRON, 4 ANS D'EXPERIENCE, POUR EMPLOI SUR LA GUYANE DANS
CABINET GEOMETRE.

Les conditions de rémunération et d'emploi seront à voir directement
avec le responsable de l'embauche, M. Patrick WEBER.

Envoyer CV avec photographie directement à la SOCIETE GUYANAISE DE
TOPOGRAPHIE, 13 Bld Jubelin - BP 281 - 97326 CAYENNE CEDEX - TEL. 30 25 33

Un emploi de conservateur spécialiste, spécialité cartographie, est à
pourvoir à la BIBLIOTHEQUE NATIONALE (Département des Cartes et plans).

Les épreuves auront lieu à compter du 2 MAI 1990 à PARIS.

Les dossiers de candidature devront être retirés auprès du Ministère de
l'Education Nationale, de la Jeunesse et des Sports, Direction des Person-
nels d'enseignement supérieur, Bureau des Concours et de la Formation (3
Bld Pasteur - 75015 PARIS). Ils devront être déposés ou envoyés à l'adresse
mentionnée ci-dessus le 17 AVRIL 1990 au plus tard.

Société ANNECY cherche TECHNICO-COMMERCIAL pour BANQUES DE DONNEES URBAINES - FORMATION GEOMETRE TOPOGRAPHIE Envoyer CV et Prétentions à CEGI, 8 Quai Eustache Chappuis 74000 ANNECY.
--

SOUS TERRE MAIS AUSSI DANS LES AIRS

Si le thème du colloque de l'AFT de Calais portait sur les travaux souterrains, quelques participants se sont vus emportés dans les airs en montgolfière !

En effet, 2 montgolfières avaient été réunies pour la manifestation, celle de M. Falaise de Toponord et celle de Wild Leitz.

Un rendez-vous original dans la campagne alentour avait été donné aux congressistes après la clôture de leurs travaux pour assister à l'envol des ballons.

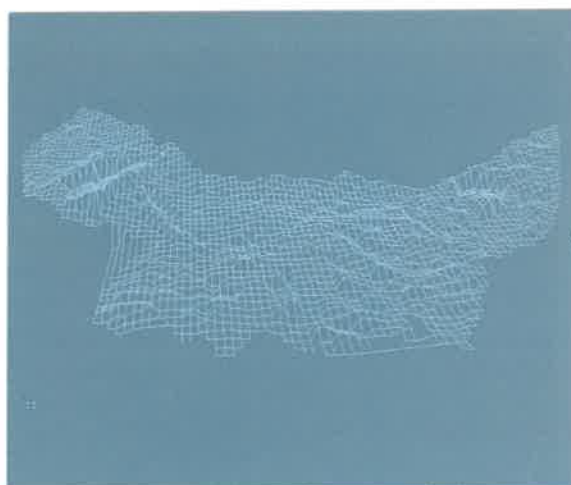
Une rencontre originale, sympathique et sans prétention.



êtes-vous géo-informatisés?

MICROS G développe et diffuse depuis 1979 des logiciels techniques pour bureaux d'études topographiques et géomètres.

- PYTHA - TOPO[®] : Calculs numériques en topographie.
- PYTHA - PROJET[®] : Conception routière et autoroutière (suivi de travaux).
- PYTHA - GRAPH[®] : Cartographie, digitalisation et numérisation de plans pour banques de données graphiques
- SERVICES : Conseil et Ingénierie
Travaux à façons
(études, tracés).



la géo-informatique

17, rue des sources
38240 MEYLAN
Tél. 76 90 25 40

MICROS G distribue la gamme
complète de micro-ordinateurs

ZENITH data
systems

Perceval Grenoble