

XYZ  
62

Association  
Française de  
Topographie



### 3ème CITOP

CONFÉRENCES : Géodésie et Topométrie des Grands Projets Linéaires (1ère partie)  
Exposition : Compte-rendu





Géodimeter System 4000 au travail.  
Station robotisée sur trépied de grande  
hauteur. La plateforme hydraulique du  
véhicule se déplace et permet d'effec-  
tuer la mise en station (voir article page  
13). Cliché Géotronics.

#### DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

• André BAILLY

#### REDACTEUR EN CHEF

• Michel SAUTREAU

#### COMITE DE LA REVUE

- André BAILLY - Ingénieur ETP
- Jean BOURGOIN - Ingénieur  
Général Hydrographe ER
- Michel SAUTREAU - Directeur  
Div. honoraire - Cadastre
- Robert VINCENT - Ingénieur ECP
- Robert CHEVALIER - G.-Exp. DPLG

#### COMITE DE LECTURE

MM. BAILLY, BIENVENU,  
COMBES, d'HOLLANDER,  
UCHER, FONTAINE,  
LEVALLOIS, PUYCOUYOUL,  
SAUTREAU, SCHAFFNER,  
SCHRUMPF, VINCENT.

#### MAQUETTE ET MONTAGE

• Jack BIQUAND

#### PUBLICITE

• Robert CHEVALIER

#### ABONNEMENTS

• Mme CABANETTES

#### CORRECTEUR

• Jean-Marie THIRIET

#### COMPOSITION

AC<sup>2</sup> Communication  
15, rue Berthelot  
ISSY-LES-MOULINEAUX 92130

#### IMPRIMERIE MODERNE USHA

AURILLAC 15001  
Tél. 71.63.44.60 - Fax 71.64.09.09

## Revue de l'Association Française de Topographie

136 bis, rue de Grenelle  
75700 PARIS 07 SP

Tél. : 43.98.84.80

Fax : 47.53.07.10

#### PERMANENCE :

10 h - 12 h : MARDI  
VENREDI

ISSN 0290 - 9057

Trimestriel - le numéro : 130 F.

Abonnement d'un an : France Europe  
(voie terrestre) : 480 F.

Etranger (avion, frais compris) : 500 F.  
Les règlements payés par chèques  
payables sur une banque située hors  
de France doivent être majorés de 40 F.  
L'AFT n'est pas responsable des opi-  
nions émises dans les conférences  
qu'elle organise ou les articles qu'elle  
publie.

Tous droits de reproduction ou d'adop-  
tation strictement réservés.

1995 1<sup>er</sup> trimestre

# N° 62 SOMMAIRE

|  |    |
|--|----|
| - 3 <sup>e</sup> CITOP   |    |
| • Allocution d'ouverture de la Conférence<br>par Jean CHAPON, président de la 3 <sup>e</sup> CITOP   | 3  |
| - INFO-TOPO  |    |
| • L'actualité topographique du trimestre, informations, annonces,<br>bloc-notes, etc.  | 5  |
| - 3 <sup>e</sup> CITOP. GEODESIE DES GRANDS PROJETS LINEAIRES  |    |
| • L'unification des références géodésiques :<br>l'exemple du tunnel sous la manche<br>par Pascal WILLIS et Claude BOUCHER                        | 15 |
| • Méthodes géodésiques et modèles mathématiques pour l'implantation<br>des nouvelles transversales alpines<br>par A. CAROSIO et O. REIS          | 22 |
| - 3 <sup>e</sup> CITOP. GRANDS PROJETS FERROVIAIRES  |    |
| • Pose de la voie sur la ligne à grande vitesse "TGV Rhône-Alpes"<br>par Michel LEROY  | 29 |
| • Applications géodésiques et topographiques de TUC-RAIL<br>dans le projet TGV Belgique<br>par M. MENU   | 33 |
| - 3 <sup>e</sup> CITOP. IMPLANTATIONS EN TUNNEL  |    |
| • Le tunnel sous la Manche, installations des équipements<br>fixes d'infrastructures<br>par François DUPONT                                      | 37 |
| • Mise en place de la voie définitive dans les tunnels ferroviaires<br>sous la Manche<br>par C. EYMARD   | 43 |
| • L'implantation de la voie avec $\pm 1$ mm de précision dans le tunnel CFF<br>du Grauholk, un record ?<br>par H.-R. RIESEN et H.-R. HERREN      | 45 |
| - 3 <sup>e</sup> CITOP. CITOP-EXPO   |    |
| • Plus de 100 exposants. Quelques stands   | 51 |
| - GPS  |    |
| • Auscultation du pont de Normandie<br>par Pascal BRION  | 65 |
| • Les mystérieuses lignes de Nazca<br>par Günter REPPCHEN  | 68 |
| - SIG  |    |
| • SIG : vecteur et raster, une évolution naturelle<br>par Michel BERNARD   | 70 |
| - DANS LA PROFESSION   |    |
| • Le Réseau Géodésique Français. IGN   | 72 |
| • ARO. La double vie des 4 x 4   | 75 |
| • La page de Géomètres Sans Frontières   | 77 |
| - HISTOIRE   |    |
| • Un arpentage de la Roquette en 1582 sur le territoire de Paris,<br>la Courtille et Charonne<br>par Serge CREGUT                                | 79 |
| • Sciences géographiques, connaissance du monde et conception<br>de l'univers dans l'antiquité. Chapitre 11 (encarté)<br>par Raymond d'HOLLANDER |    |
| - L'ART de VIVRE   |    |
| • Récréation mathématique<br>par Michel SAUTREAU   | 84 |
| - L'ART - LES LIVRES   | 85 |
| - REPERTOIRE DES ANNONCEURS  | 88 |

Nous poursuivrons dans notre prochain numéro en mai 95 la suite des interventions à la 3<sup>e</sup> CITOP, ainsi que le résumé des interventions en langue anglaise. L'ensemble de ces actes est dès maintenant disponible en un volume de 283 pages, à demander au siège de l'AFT (120 F TTC, plus frais d'envoi). D'autre part, le 12<sup>e</sup> chapitre du Lexique Topographique, qu'édite notre commission de l'enseignement, paraîtra dans ce même numéro de mai 95.

formation "à la carte"  
extraits du catalogue



formation "à la carte"  
extraits du catalogue



#### SESSIONS 1995

- 3 jours
- du 13 au 15 mars  
(de 6 à 25 stagiaires)
- Saint-Mandé (Val-de-Marne)
- 5 500 F TTC
- si inscription à RR + RC + RI,  
prix global de 15 000F TTC  
(toute annulation : 15 jours avant)

## GEODESIE

### NOTIONS FONDAMENTALES

*géodésie : stage RR*

- Connaître les notions géodésiques de base : les concepts et les techniques
- Comprendre la problématique de la géodésie d'aujourd'hui

## SYSTEMES

### DE REFERENCE & COORDONNEES

*géodésie : stage RC*

- Maîtriser les concepts servant à la définition des coordonnées
- Savoir utiliser un logiciel de transformations des coordonnées
- Savoir évaluer la qualité d'une transformation de coordonnées

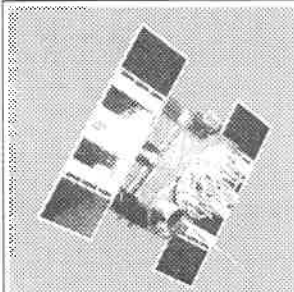
#### SESSIONS 1995

- 3 jours
- du 27 au 29 mars  
(de 6 à 12 stagiaires)
- du 6 au 8 novembre  
(de 6 à 12 stagiaires)
- Saint-Mandé (Val-de-Marne)
- 5 500 F TTC
- si inscription à RR + RC + RI,  
prix global de 15 000F TTC  
(toute annulation : 15 jours avant)



#### SESSIONS 1995

- 5 jours
- du 10 au 14 avril  
(de 6 à 12 stagiaires)
- du 25 au 29 septembre  
(de 6 à 12 stagiaires)
- Saint-Mandé (Val-de-Marne)
- 9 200 F TTC
- si inscription à RR + RC + RI,  
prix global de 15 000F TTC  
(toute annulation : 15 jours avant)



## PRATIQUE DU GPS EN GEODESIE & TOPOMETRIE

*géodésie : stage RI*

- Connaître les notions fondamentales du système GPS
- Etre capable de mener à bien des opérations GPS ; depuis la planification des observations jusqu'à la compensation de réseau et l'insertion dans un réseau préexistant

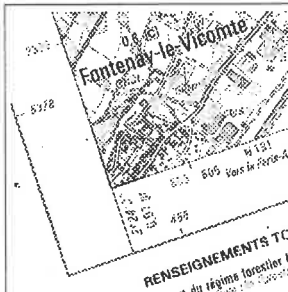
## TOPOMETRIE NOTIONS DE BASE

*topométrie : stage RA*

- connaître les notions topométriques de base nécessaires pour négocier, contrôler et recetter des travaux topométriques

#### SESSIONS 1995

- 5 jours
- du 20 au 25 février  
(de 6 à 12 stagiaires)
- du 11 au 15 décembre  
(de 6 à 12 stagiaires)
- Saint-Mandé (Val-de-Marne)
- 9 200 F TTC  
(toute annulation : 15 jours avant)



#### SESSIONS 1995

- 2 jours
- début mars  
(de 6 à 12 stagiaires)
- courant octobre  
(de 6 à 12 stagiaires)
- Saint-Mandé (Val-de-Marne)
- 2 000 F TTC  
(toute annulation : 15 jours avant)

## LA CARTE COMPRENDRE & UTILISER

*topographie : stage ATB*

- pouvoir utiliser toutes les possibilités offertes par la carte : positionnement, relief et coordonnées

## école nationale des sciences géographiques

INSTITUT GEOGRAPHIQUE NATIONAL 2, avenue Pasteur, BP 68, 94160 SAINT-MANDE  
Stages et Formation Permanente - téléphone : (1) 43.98.80.64 - télécopie : (1) 43.98.84.65

ENSG - COMMUNICATION - 1995

### **3ème CITOP**

## **Allocution d'ouverture de Jean Chapon, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Président de la 3ème CITOP et Président du Conseil de Direction pour la recherche et l'expérimentation en Génie civil.**

Bis repetita placent...ou non placent ? je n'ai jamais su la citation exacte. Mais permettez-moi aujourd'hui d'adopter la première version puisqu'une nouvelle fois j'ai l'honneur d'ouvrir une conférence internationale sur la topographie, la 3ème CITOP, et que déjà pareil honneur m'avait été confié pour celle de 1989 qui marquait le 10ème anniversaire de l'Association Française de Topographie.

Mon ami, le président André Bailly, a certainement pensé que l'honneur aussi sympathique que redoutable que m'avait fait l'AFT il y a cinq ans, m'entraînerait à devenir plus savant dans le domaine de cette Association. Est-ce donc pour juger mes progrès qu'il m'a redonné la mission qui m'amène à prendre de nouveau la parole dans le cadre de cette 3ème CITOP ?

Je ne le crois pas. La raison est semble-t-il plus simple. Elle tient à ce qu'il sait ma profonde conviction de la nécessité croissante de cette discipline, qui est une véritable science, la topographie prise dans son sens le plus large.

C'est donc avec la même modestie qu'en 1989 concernant mes connaissances dans votre domaine, mais avec une conviction encore plus forte, renforcée par la mission de présider le conseil de perfectionnement que m'a confié l'ESTP (laquelle comporte une formation d'ingénieurs topographes), que je suis heureux d'ouvrir cette grande manifestation.

Bien naturellement j'exprime mes très vifs remerciements au Président André Bailly et à l'AFT, en les assurant que je suis profondément touché par leur fidélité et le témoignage d'estime à mon égard qu'ils me donnent à nouveau : si la limitation de mes connaissances me conduit à m'exprimer avec modestie, mon propos n'en sera que plus chaleureux. André Bailly, qui se dévoue sans compter à tout ce qui peut promouvoir la topographie, sait bien, lui, que mon propos part du fond du cœur, en totale communion avec ses propres convictions.

C'est donc de tout cœur que je félicite les organisateurs de cette 3ème CITOP. Je dois employer fort heureusement ce pluriel puisque, pour l'organisation de cette conférence, l'AFT a été rejointe par le Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS), prenant ainsi une dimension internationale, mais surtout une signification particulière. Je suis heureux de saluer très cordialement, au sens étymologique du terme, le président Hill et les membres de la RICS, et plus particulièrement nos amis britanniques qui nous font l'honneur d'être présents aujourd'hui, ainsi que tous les participants d'autres pays.

Cette 3ème CITOP respecte les traditions de l'AFT qui organise une conférence à chaque date anniversaire de sa création multiple de cinq, "ter repetita placent" pourrait-elle dire parlant de cette 3ème CITOP !

Voilà en effet quinze ans que l'AFT a vu le jour! poursuivant au mieux sa mission de regrouper tous ceux qui sont concernés par la topographie, avec un T majuscule, que ce soit géodésie, hydrographie, topométrie, métrologie, photogrammétrie, cartographie et même topographie, avec un t minuscule, cette fois ci, employé dans le sens usuel du terme. A vrai dire l'AFT rassemble ceux qui s'intéressent, comme professionnels ou comme "bénéficiaires" à l'art de décrire la terre, notamment dans ses dimensions physiques, qu'elles soient mesurées en gardant les pieds sur le sol ou sur l'eau, ou encore depuis l'espace, que les mesures soient effectués au moyen d'appareils et de procédés devenus ancestraux ou recourant aux techniques les plus pointues.

Regrouper pourquoi faire ?

A la fois pour réunir les producteurs, les utilisateurs, les fabricants de matériels, les enseignants, pour promouvoir les progrès des matériels et des méthodes, encourager la recherche, informer et diffuser cette information, et enfin défendre et promouvoir le renom des professions qui œuvrent dans ces métiers.

C'est une mission à la fois bien ciblée sur une discipline bien définie mais combien large puisqu'elle en couvre tous les aspects. C'est donc bien naturellement que je forme des vœux pour l'AFT, en souhaitant que ce 15ème anniversaire soit une étape dans une vie qui ne s'arrêtera pas, tant il est évident que les hommes auront toujours besoin, et de plus en plus, de la Topographie avec un T encore plus majuscule, puisque les progrès réalisés dans chaque secteur de cette discipline ouvriront de nouvelles possibilités pour répondre aux besoins de l'humanité.

Des progrès nous en faisons tous les jours, et la mise en service du tunnel sous la Manche est incontestablement un événement majeur de cette fin du XXème siècle. La réalisation d'un rêve qui valait à ceux qui y "croyaient" des sourires où se mêlaient une sympathique compassion et la méfiance qu'inspirent parfois de dangereux utopistes!

L'ouvrage mérite la qualification d'exceptionnel, pas tellement par les caractéristiques de sa section, il suffisait en effet qu'il soit tout simplement au gabarit normal des chemins de fer, mais surtout par sa grande longueur et tout ce qu'elle impliquait pour l'implantation, l'évacuation des matériaux naturels, et une mise en dépôt qui soit



respectueuse de l'environnement, l'amenée à pied d'œuvre des matériaux de construction, la sécurité de celle-ci et, aujourd'hui celle de son fonctionnement.

Parmi les problèmes posés, celui de l'implantation n'était pas la moindre ! C'est donc tout à fait judicieusement que la 3ème CITOP est axée sur cet événement d'actualité, avec un sujet élargi de géodésie et topométrie des grands projets linéaires.

En effet cette fin de siècle est caractérisée, entre autres grandes réalisations humaines, par la construction d'infrastructures qui ont en commun leur grande longueur : voies ferrées, autoroutes, voies navigables, canalisations, qui n'ont de véritable efficacité qu'en constituant des réseaux maillés qui impliquent des réalisations linéaires sur de grandes longueurs, et ceci dans tous les pays du monde où cela est indispensable à l'économie.

Un monde où, en même temps que celle des progrès économiques, s'exprime, quel que soit le niveau de départ, une aspiration au progrès social, à commencer par la sécurité des personnes et des biens, et la conscience qu'il y a une nécessité de préserver l'environnement.

Un monde où le sol est partout convoité pour l'exercice des activités humaines les plus variées, où même le sous-sol et la mer connaissent une occupation croissante. Il faut par conséquent avoir une connaissance précise des lieux, une connaissance en termes géométriques, mais également physico-chimiques et biologiques, auxquels il faut ajouter l'aspect juridique.

C'est dire que le qualificatif de "linéaire" des grands ouvrages modernes n'est nullement synonyme de "filiforme" :

- les informations nécessaires à l'aménagement d'une voie d'eau ne sauraient se limiter à son lit, mais doivent inclure les zones riveraines et tenir compte des crues.

- l'emprise d'une autoroute ou d'une voie ferrée déborde largement le gabarit réglementaire pour des raisons d'environnement.

- bientôt le sous-sol des grandes villes où s'entrecroisent toutes sortes de circulations souterraines, verra des enfouissements de plus en plus profonds et de plus en plus complexes.

C'est donc la connaissance d'un important volume d'informations à trois dimensions, sur et dans le sol, qu'implique la réalisation d'un ouvrage linéaire. Les techniques de la topographie doivent permettre d'assurer la maîtrise de cette connaissance à tous les stades de la vie de l'ouvrage, y compris quand il est achevé. Cela nécessite l'intervention de la topographie,

- AVANT la construction pour donner au concepteur tous les éléments du site, et pas seulement géométriques mais également géotechniques et environnementaux.

- PENDANT la réalisation, pour situer et implanter chacun des éléments, mais aussi pour en vérifier le choix et l'implantation en temps réel et sur le chantier.

- A LA MISE EN EXPLOITATION pour vérifier que l'ouvrage assure sa mission aux normes définies pour la sécurité, le fonctionnement et les nuisances.

Tout ceci justifie, mais est-il besoin de le répéter, ce que disait le président Vincent lors de la 1ère CITOP : "...les grandes réalisations modernes ne peuvent se faire sans nous..." et il parlait, bien entendu, des topographes...

Cette fierté est pleinement justifiée car ce métier exige une sérieuse formation en mathématiques, depuis la géométrie classique jusqu'à une géométrie élaborée, avec les analyses les plus perfectionnées. Il exige la maîtrise de l'informatique dans tous ses domaines, et la connaissance des techniques de pointe qui font aussi bien appel aux lasers qu'aux satellites artificiels. Il faut y ajouter les solides connaissances dans l'art de construire, d'aménager l'espace, et dans les droits et usages des sols.

Cette fierté c'est également celle d'avoir l'esprit d'analyse et de synthèse pour présenter un tableau fiable des résultats constatés, avec la forme et le contenu nécessaires pour être utilisés par ceux qui en sont les destinataires.

Cette fierté, enfin, est celle de savoir constituer une source d'informations (telles les références géodésiques par exemple) qui déborde les besoins immédiats, mais servira demain pour répondre à d'autres questions, économisant ainsi temps et argent et faisant un travail de fond.

Voilà pourquoi il est bien, et même indispensable, de faire périodiquement le point des connaissances acquises dans ce métier, dans une grande manifestation qui réunit ceux qui l'exercent, les professionnels, les utilisateurs, les fabricants de matériels. Et il est encore mieux de le faire internationalement pour partager les expériences car, au delà d'échanges fort bénéfiques par ailleurs, c'est le meilleur moyen de faire émerger les besoins, notamment en matière de recherche car, là comme ailleurs, c'est en mesurant ce que l'on sait qu'on mesure le mieux ce que l'on ne sait pas.

A cet égard les organisateurs ont su composer un programme qui, tout en étant ciblé sur la géodésie et la topométrie des grands projets linéaires, en aborde tous les aspects.

Je ne veux donc pas en retarder l'engagement, mais je tiens encore à les remercier pour l'honneur qu'ils m'ont fait d'ouvrir cette manifestation et je les félicite pour le succès qu'elle va connaître, ici et à Londres. Ce sera la juste récompense de leur dévouement à la cause de la topographie et, au delà, à l'amélioration de notre cadre de vie et de nos conditions d'existence.

Merci.

# INFOPO

*actualités  
bloc-notes  
flashes*

## Jacques Fremiot, Directeur Général de l'IGN



Photo D. Menet - IGN

Ancien élève de Polytechnique, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Jacques Fremiot, né en 1945, vient d'être nommé Directeur Général de l'IGN. Jean-François Carrez, ancien directeur, se voit confier la direction de l'ONF.

Jacques Fremiot a été en 1970 chef de l'arrondissement opérationnel et de l'arrondissement hydraulique de la DDE de l'Hérault, de 1976 à 1979, chef de groupe d'études et de programmation à la DDE d'Indre et Loire, chef de la division "conception et commande d'architecture" à la direction de l'architecture du Ministère de l'Urbanisme et du Logement de 1979 à 1984, il fut alors nommé chef de la section des opérations d'aménagement à la direction de l'aménagement urbain de la ville de Paris, puis en 1992 il en devient le sous directeur. Depuis janvier 1994, Jacques Fremiot était conseiller technique au cabinet du Ministre de l'Équipement Bernard Bosson.

### L'évolution des canevas nationaux face aux levés par GPS.

C'est le thème du Forum-rencontre qu'organise l'IGN le 7 mars prochain à Vincennes, avec la participation de l'AFT, du CNIG et de l'OGÉ.

Cette journée au cours de laquelle sera fait le point sur l'état actuel des canevas nationaux de géodésie et de nivellement et les techniques de positionnement par

GPS, aura pour objectif principal d'identifier les problèmes rencontrés par les utilisateurs, et d'en proposer des solutions à intégrer dans les nouvelles stratégies de production qui seront mises en œuvre dans le cadre de la réalisation du Nouveau Réseau Géodésique National.

(IGN - DRS - 136bis rue de Grenelle - 75700 Paris - Tél. : 43 98 85 65 - Fax : 43 98 84 88)

Les actes de la 3ème CITOP, ensemble intégral des interventions, sont disponibles à l'AFT, 136bis rue de Grenelle, Paris 07SP 75700 - 1 volume - 283 pages - 120 F ou envoi sur demande.

## L'IGN et L'ENSG

L'Institut Géographique National et l'Ecole Nationale des Sciences Géographiques étaient bien entendu présents sur la 3ème CITOP, aux stands 104-105. L'Ecole qui, dans un an, quand les travaux seront achevés, sera dans ses nouveaux locaux de Marne la Vallée au côté de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, faisait la promotion de 5 stages orientés vers les techniques de géodésie et de topométrie-topographie, et qui seront organisés en 1995 (si le nombre de participants est suffisant). En géodésie, trois sessions 1) Géodésie, notions fondamentales (3 jours - 5 500 F TTC), 2) Systèmes de référence et de coordonnées (3 jours - 5 500 F TTC), 3) Pratique du GPS en géodésie et topométrie (5 jours - 9 200 F TTC). Deux sessions en topométrie-topographie 1) Topométrie, notions de base (5 jours - 9 200 F TTC), 2) Comprendre et utiliser la carte (2 jours - 2 000 F TTC).

(St Mandé - 2 av Pasteur - 94160 BP68 - Tél. : 43 98 80 00 - Fax : 43 98 84 65)

## IGN : Les travaux spéciaux géodésiques

Tradition de l'IGN depuis sa création, produit dérivé de la géodésie, puis activité structurée au sein d'une unité distincte en 1960, les "Travaux spéciaux" ont été à l'origine de la métrologie et de la topométrie en France.

L'époque 1960-1975 a été principalement celle de la création de réseaux d'appuis pour de gros chantiers (RATP, SNCF, SACLAY, CERN). La décennie suivante s'est déclinée sur un élargissement des activités vers des mesures de déformations de terrains et d'édifices, des contrôles divers et le partenariat technique, sans que les grands travaux ne soient abandonnés pour autant.

Les années actuelles sont celles de l'évolution du statique au dynamique grâce à l'informatique et ses possibilités d'automatismes.

Intégrée dans le Service de Géodésie et Nivellement, l'unité "TS" bénéficie des moyens IGN : Logistique, Recherche, Ecole Nationale des Sciences Géographiques, Documentation géodésique.

Elle participe à des tâches d'enseignement et intervient sur des projets scientifiques, des travaux publics et industriels. Elle réalise des développements internes ou avec des partenaires. Elle répond, régulièrement ou en urgence, aux besoins les plus exigeants en topométrie et en métrologie.

De plus en plus, les interventions s'apparentent à celles de bureaux d'études et d'experts.

L'intérêt des entreprises pour l'unité "TS" réside dans les gains en temps et en investissements financiers pouvant être obtenus grâce aux compétences suivantes :

- capacité de concevoir et réaliser avec exactitude
- expérience très riche permettant de répondre à une extrême variété de situations
- garantie en tant que référence (d'où la mise en place d'un PAQ aux normes ISO9001)

(Contacts : IGN - TS - St Mandé - 2 avenue Pasteur - 94160 - Tél. : (1) 43 98 83 32 - Pour les centres régionaux IGN : 3615 IGN)

## Trimble France

Trimble France nous annonce que sa gamme de récepteurs GPS "Géodésie et Topographie" est désormais distribuée en France à travers une structure plus forte et plus proche du marché s'appuyant sur la compétence et le dynamisme de trois distributeurs :

- 1) Le Pont Equipement au service des Géomètres, Topographes et Bureaux d'Etudes
- 2) D3E Electronique spécialisé Grands Comptes et SIG
- 3) Acthyd pour le domaine Bathymétrie et Hydrographie

Cette structure permettra de mieux faire connaître aux professionnels les qualités exceptionnelles des équipements Trimble et de mettre à leur disposition les avantages de systèmes performants tels que le RTK-OTF\* à présent disponible en France.

\* RTK-OTF (cinématique temps réel-initialisation dynamique) avec une initialisation très rapide donne une précision de 2 cm en quelques secondes, rend

l'implantation possible par GPS et un gain de temps important sur le terrain.

(ZAC du Moulin - 9 rue de l'Arpajonnais - 91160 Saulx les Chartreux - Tél. : 64 54 83 90 - Fax : 69 34 49 73)

## Digitalisation de plans : Le Groupe ORIA

Le prix des matériels et logiciels nécessaires à l'acquisition d'un SIG ne cesse de baisser. Seuls les prestations de constitution de la base de données graphiques ne subissent pas cette tendance.

Le Groupe ORIA, société spécialisée dans la digitalisation de plans, a mis en œuvre les moyens techniques et humains pour réaliser une véritable économie d'échelle sur la production en reprise de plans.

Résultat : diminution des prix en plus d'une certification stricte de la qualité. Domaines d'application pour lesquels la société s'engage à réaliser les tests suivant le format désiré :

|                               |                              |
|-------------------------------|------------------------------|
| <b>CADASTRE</b>               | <b>BATIMENTS</b>             |
| - niveau 1 label DGI          | - reprise de plans existants |
| - niveau 0+ pour réseaux      | - plans à la cote            |
| - plans d'occupation des sols | - relevés et conception      |
| <b>INDUSTRIES</b>             | <b>CARTOGRAPHIE</b>          |
| - modélisation 3D             | - plan de ville              |
| - bibliothèque de pièces      | - plans topographiques       |
| - mécanique/électronique      | - altimétrie                 |

(217 Quai de Stalingrad. 92130 Issy les Moulineaux. Tél. : 45 29 90 00 - Fax : 45 29 90 91)

## Laser - Alignment Inc. : Changement d'adresse

Depuis le 22 décembre, la société est installée à La Pointe d'Abeau, 23 Boucle de la Ramée - 38290 St Quentin Fallavier - Tél. : 74 94 01 23 - Fax : 74 94 01 34.

## Exposés scientifiques du Bureau des Longitudes

14 mars 1995, 14h30 : Pourquoi certaines étoiles ont-elles apparemment des compositions chimiques différentes ? par Michèle Gerbaldi (Inst. d'Astro. de Paris) - 4 avril 1995, 14h30, Topex Poseidon, deux ans d'observations de variations des courants, par J.F. Minster (Observatoire Midi-Pyrénées). 9 mai 1995, 14h30 : La déduction interférométrique des ondes de gravitation avec Virgo, par Mme Man (Laboratoire de l'accélération linéaire à Orsay).

## GEOCITY

Les sociétés SYSECA, LEICA France et CLEMESY ont fait cause commune afin de répondre à l'appel d'offres sur performances lancé par l'IGN, pour la réalisation des ateliers de production "tout numérique" de la BD Topo.

Ce groupement a remporté la première phase de ce concours, qui consiste en une maquette d'un atelier pilote. Ce dernier est en cours de validation, et devrait donner suite à la fourniture d'autres ateliers de production.



L'ensemble de l'atelier pilote a été construit sur la base des outils de LEICA/HELAVA (chaîne photogramétrique numérique) ainsi que celui de CLEMESSY (SIG GeoCity), avec la compétence d'intégration de la société SYSECA (département S2IG).

Pour un opérateur les améliorations sont :

- saisie sur un écran informatique et stéréoscopique des vues aériennes numérisées,
- automatisation partielle des traitements (aide au pointé stéréoscopique, création du MNT),
- à terme, saisie semi-automatique des éléments linéaires (routes, rivières...), voire surfaciques (bâtiments),
- superposition pour le traitement des images permettant aujourd'hui la mise à jour des données de la BD Topo.

Ce produit développé peut être appliqué aux appareils traditionnels analytiques.

Enfin, l'ouverture du produit lui confère une grande souplesse d'exploitation, et notamment dans des domaines ou problématiques différents.

(Contacts : CLEMESSY - Benoît LEGIN - Tél. : (1) 49 80 75 00 ; SYSECA - Raymond FEST - Tél. : (1) 49 11 76 66 ; LEICA - Sylvain GEVREY - Tél. : (1) 47 32 85 95)

## **Contrat de CLEMESSY avec le CR de Bourgogne**

Le Conseil Régional de Bourgogne a contractualisé son appel d'offres de SIG avec la société CLEMESSY.

CLEMESSY a proposé son SIG GeoCity 2.0 sous environnement X11/Motif, dans lequel seront intégrées les données géographiques de la BD Carto de l'IGN (pour les limites administratives), les données géographiques MICHELIN (pour les voies départementales et nationales), les données alphanumériques de la BD FIDEL de l'INSEE (pour les informations socio-culturelles), ainsi que les données propres du Conseil Régional gérées sur un système central SIEMENS. L'ensemble de ces données constituera une base de données régionale capable d'aider à la décision pour les missions de renseignement ou d'investissement du conseil général.

(CLEMESSY SIG : Europarc, 14 rue Le Corbusier - 94035 CRETEIL Cedex - 18 rue de Thann - 68057 MULHOUSE Cedex - Tél. : 89 32 32 38 - fax : 89 32 32 07 - Contacts : CLEMESSY - Benoît LEGIN - Tél. : (1) 49 80 75 00 - Fax : (1) 43 99 46 50 ; CR de Bourgogne - Christian LECOMTE - Tél. : 80 34 34 06)

## **GéoStation : la solution des Géomètres pour MicroStation sous PC Dos / Windows et Mac**

GéoStation est un logiciel de DTAOO (Dessin Topographique Assisté par Ordinateur orienté Objet) répondant de manière idéale à la réalisation rapide et soignée, ainsi qu'aux besoins individuels. Accès aux configurations de structure des objets, permettant une personnalisation des objets créés définies dans une table des objets au format Ascii.

GéoStation s'appuie sur une base de données topo-

graphiques :

- Les données topométriques numériques (Stations, Points).
- Les objets géographiques placés dans le fichier DGN.

GéoStation est le premier applicatif global pour Géomètre sur MicroStation version 4 et 5.

Avec environ 250 fonctions GéoStation permet de répondre au besoin de la profession. La connaissance seule de GéoStation suffit. Aucune formation n'est requise.

Développé en langage C MDL, GéoStation utilise toute la puissance de MicroStation d'INTERGRAPH, en lui communiquant le savoir du Géomètre, du Topographe, des autres métiers de la Cartographie et de la Géomatique.

GéoStation utilise une structure topologique des objets : Ponctuel (Nœud isolé ou non, Symbole ponctuel). Linéaire (Arc défini par ligne brisée, arc de cercle, courbe). Surfacique (Face définie par surface simple ou complexe).

GéoStation a reçu le label de qualité "MicroStation Powered" de la part de la société BENTLEY filiale d'INTERGRAPH.

*GéoStation applicatif métier* : 250 commandes, 220 objets cartographiques.

Gain de productivité d'environ 30 %. Seul GéoStation suffit. Aucune connaissance de MicroStation n'est requise.

GéoStation est accessible à tous les collaborateurs.

GéoStation a été choisi par plusieurs géomètres et EDF. GéoStation permet de réaliser les plans selon les cahiers des charges.

## **LES FONCTIONS DE GÉOSTATION**

### **Commandes de Fichier**

Gestion de fichiers de dessin : (Nouveau, ouvrir, information). Echelle de création des dessins (Ex : 1/200). Changement d'échelle de dessin (Ex : 1/200 vers 1/500).

### **Commandes de Dossier**

Gestion des dossiers : (création, sélection).

### **Commandes de Topométrie**

Options d'échanges vers les logiciels de calcul : Importation des formats (.JSR) du logiciel GéoTop du SIGEF, (.DAT) du logiciel GéoSyst, (.DAT) du logiciel Image, du format du logiciel TopoJis, format Ascii, suivant la GéoCodification du client.

Exportation de fichier topométrique au format Ascii.

Gestion des points : saisie (clavier ou digit) en XYZ.

Gestion des Surfaces : sélection, édition, impression. Information sur le fichier de topométrie.

### **Commandes de Dessin des objets topographiques**

Différents thèmes d'objets (Limites, murs, voies, bâtiments, mobilier urbain, hydrographie, arbres, haies,

zones végétales et de cultures, relief, symboles, textes, etc). Création automatique des talus (4 types). Cotation de périmètre, filage des courbes de niveaux. Outils de construction.

## Commandes de Dessin des objets Réseaux

Réseaux E.D.F., TéléCom, A.E.P., E.P., E.U., Gaz, Eclairage Public, Signalisation, Réseau non défini. Placement des textes (diamètre, fil d'eau, type de conduite).

## Commandes d'Habillage

Mise en feuille automatique (carroyage, cartouche).  
Rotation sélective des écritures.  
Tableau de coordonnées (4 formats).

## GÉOStation UTILISE LA NOTION D'OBJETS

Chaque objet est défini de façon individuelle dans une table regroupant les paramètres des objets cartographiques suivant chacune des échelles configurées. Ce principe orienté objet cartographique est le seul concept permettant de produire les données géographiques suivant des cahiers des charges distincts ou des formats géographiques tel que EDIGéO.

(GéoConcept - Mr Jean-François BOIZET - 284 avenue de la Buge - 83110 SANARY sur MER).

## Éditions Euro Vista

Est paru en janvier : "Mercator 1995 Guide de la Cartographie Informatisée". Les 4 éditions précédentes (de 91 à 94) ont connu une large diffusion. Très utilisé par les fournisseurs de SIG, les entreprises, les collectivités locales, qui s'en servent pour se repérer et agir dans ce domaine. Plus de 140 logiciels font l'objet d'une fiche descriptive, 108 tableaux comparatifs permettent une lecture claire et rapide. Les entreprises du secteur sont décrites, avec produits et adresses. Un lexique a été en plus ajouté à ce guide pratique (mise à jour permanente - 3100 F TTC - Prix spéciaux dans certains cas : contacter Françoise Verebelyi - 43 36 70 00).

Aux mêmes éditions : "Les systèmes d'Information Géographique dans les collectivités territoriales". Première étude complète de SIG dans ce domaine. C'est la mise à jour d'une enquête nationale de 1992 pour une seconde enquête en 1993 (650 collectivités interrogées). Inventaire des systèmes en place avec analyse et critères de choix. 3 volumes - 1250 pages.

(EuroVista - 33 rue Linné - 75005 Paris - Tél. : 43 36 70 00 - Fax : 45 35 64 02).

## Les 4x4 Dangel

En production récente le Boxer / Jumper 4x4 Dangel, présenté lors du salon de Val d'Isère cet été. Ce nouveau cheval de bataille de la société a des qualités et des innovations techniques propres à séduire géomètres et topographes de terrain.

Le C15 4x4 Dangel en est, lui, à son 4ème anniversaire et il est toujours le seul petit utilitaire léger européen à 4 roues motrices. Il reçoit cette année un équipe-

ment 4x4 en version VP, 4 places. La gamme propose toutes les versions diesel de ce véhicule. Exemple des prix de l'équipement : pour la C15 600 kg BV5 diesel, 23,577 F (ce qui met le véhicule à 90,161 FHT), pour la C15 765 kg BV5, cabine approfondie, 24,277 F, (ce qui met le véhicule à 111,059 FHT).

(Dangel - 5 rue du Canal - 68780 Senthem - Tél. : 89 38 57 00 - Fax : 89 82 59 13)

## Sur le front des SIG

- Des concepts aux réalisations : à partir d'une étude de H. Pornon, aux éditions du STU et Hermès (150 F TTC).

- SIG pour les petites communes : à partir d'une étude de H. Pornon, aux éditions du STU (80 F TTC).

- Les SIG : mise en œuvre et applications, de H. Pornon - Editions Hermès (230 F TTC).

- Observatoire géomatique 1993, avec mise à jour 1994 aux Editions de la société IETI (800 F TTC).

(IETI - Consultants - 17 Bd des Etats Unis - 71000 Macon)

## Mesures sans contact par procédés optiques

Un colloque de deux jours, les 23 et 24 mars à l'Institut Méditerranéen de la Qualité (IMQ) à Toulon, organisé par "Métrologie Grand Sud".

Principes, possibilités, applications, limites, incertitudes, raccordement à la chaîne BNM, seront traités par des experts. Une présentation de matériel accompagnera ces deux journées qui s'adressent à toutes les entreprises désireuses de mieux maîtriser la mesure sans contact par procédés optiques (1 jour : 1450 F HT - 2 jours : 2200 F HT).

(Renseignements : Mme Cerny - Tél. : 94 09 78 00 - IMQ - ZE de Lagoubran - 83200 Toulon)

## Le Globe et son image

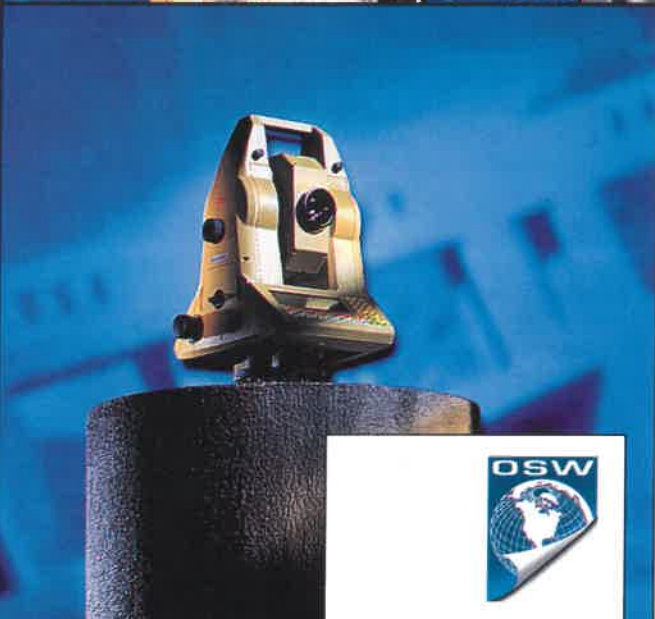
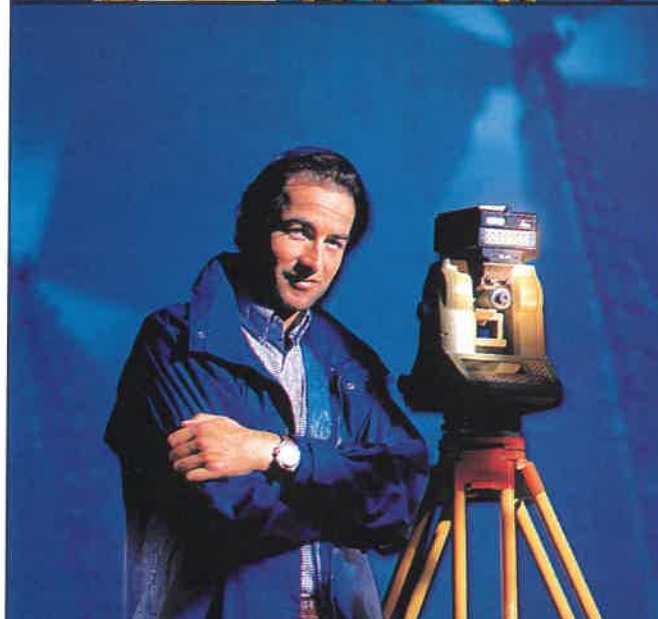
Une journée à la Bibliothèque Nationale de France, Galerie Colbert, 2 rue Vivienne, avec la participation du Comité Français de Cartographie (CFC). Le 11 mai 1995 - le matin 3 conférences : la Sphère grecque (Germaine Aujac), la Terre au Moyen-Age : sphère ou disque (Danielle Lecoq), La symbolique de la sphère au Moyen-Age (Mireille Pastoureaux). Ensuite présentation de l'exposition par Monique Pelletier, Catherine Hofmann et Eve Netchine. L'après-midi, 4 interventions : les cosmographes du roi à la Renaissance (Frank Lestringand), le globe dans la symbolique Royale et impériale française (Hervé Pinoteau), les instruments scientifiques de Louis XIV (J.N. Ronfort), lire le Globe : le globe terrestre de Coronelli (Christian Jacob).

## L'Académie des Sciences célèbre Louis Pasteur

Le 1er juin réouverture de la maison de Pasteur à Arbois (39).

Auparavant présentation à la presse : régionale de

## TPS-System 1000 – La solution totale



Vous souhaitez travailler avec un système de mesure par théodolite dont la précision, la fiabilité et la convivialité répondent à vos exigences? –

**Naturellement!**

Un système motorisé? –

**Ce serait bien!** –

Evolutif? – **Encore mieux!** –

Et vous souhaitez traiter directement les données GPS avec votre théodolite? – **Exactement!**

*TPS-System 1000  
La solution totale pour  
les mesures d'aujourd'hui et  
de demain. Contactez-nous !*

GEO 35-94

Leica SARL · Division LSG · 86, avenue du 18 juin 1940 · F-92563 Rueil-Malmaison Cedex  
Téléphone (1) 47 32 85 85 · Téléfax (1) 47 32 85 95

**Leica**



1er au 15 mai, et nationale du 15 au 26 mai. Inauguration le 9 juin et commémoration solennelle sous la coupole de l'Académie Française, du centenaire de sa mort. Le tout sur invitation.

### Michelin : carte 111 "Grand Lille"

Avec sa couverture verte, c'est la deuxième feuille au 1:50 000 qui vient de paraître (la première, la 101, étant la région parisienne), pour les zones fortement urbanisées. Une légende riche, à mi-chemin entre la carte routière et le plan de ville. Elle intègre, en plus, les plans détaillés de 5 métropoles (Lille, Roubaix, Tourcoing, Courtrai et Tournai) à cheval sur la frontière belgo-française.

A l'heure où le grand Lille s'affirme comme un carrefour transfrontalier au cœur de l'Europe, elle est une prestigieuse carte qui s'intègre dans le catalogue des publications Michelin - Prix : 25 F.

### CEIFCI : Programme

Dans le programme du 1er semestre 95, nous relevons : 15 et 16 mars, leçons techniques du tunnel sous la Manche, 5 et 6 avril, prévisions des crues et préventions des inondations, 21 et 22 juin, grandes voiries souterraines de l'agglomération lyonnaise (le projet et le chantier BPNL).

### L'Astrolabe...

Dans "Le Monde" du 12 janvier dernier un intéressant article d'Hervé Morin retrace en quelques colonnes l'histoire de l'Astrolabe qui a régné sans partage pendant 1800 ans sur la mesure du temps et de l'espace à la fois horloge, boussole et outil de mesure. L'article s'appuie et cite l'ouvrage de Raymond D'Hollander, "L'Astrolabe", édité par l'AFT et le Musée Paul Dupuy de Toulouse dans une édition assez luxueuse, bien illustrée et qui comporte en fin d'ouvrage, reproduite sur support transparent, l'araignée de l'Astrolabe d'Abù-Bakr, que l'on peut ainsi superposer aux figures explicatives et démonstratrices du texte, ce qui est du plus grand intérêt.

Rappelons que Raymond D'Hollander a fait une conférence sur ce sujet le 7 janvier dernier au Palais de la Découverte.

L'article cite également Micheline Grenet : "La passion des astres au XIIème siècle, de l'astrologie à l'astronomie" paru chez Hachette.

(L'Astrolabe de Raymond D'Hollander, 154 pages - 270 F à l'AFT et Micheline Grenet, dans la collection L'histoire en marche chez Hachette, 295 pages - 95 F)

### Le concours STAR INFORMATIC 94

C'est le 25 novembre 94, sous la présidence de Mr René Greisch, que STAR INFORMATIC a sélectionné et classé 14 lauréats parmi les 159 inscrits de 20 pays différents. Les récompenses étaient des licences de logiciels offertes par la société et des équipements offerts par les sponsors. Parmi les lauréats, pour la France : Ateliers

Gilles Neveux (Roubaix), ACTA, Sarl d'architecture (Pau) et AGORA (Paris). Parmi les mentionnés : A.T.A.U.B. (Bois Guillaume), ATTICA (Rouen), groupe de 6 architectes de Grenoble, SOGINORPA (Douai), SOFREDIS-SECHAUD et BOSSUYT (Montreuil s/s Bois), et la ville de Besançon.

Remis le 13 janvier 1995, en présence de MM. Cornil, PDG, Fraipont et Pallage, au Château de Modave - Belgique.

### Programme COMMETT : Session à Mâcon (71) les 10 et 11 mai

Organisée par l'AFT et IETI. Objectif : réunir des intervenants français et suisses francophones pour comparer les démarches nationales respectives des deux pays sur les SIG et étudier l'échange de données en géomatique. La première journée (10 mai), sera consacrée aux données et scénari d'échanges et à leur dimension institutionnelle et économique, la deuxième journée (11 mai), parlera de "communication et outils d'échanges" et posera la question : "comment surmonter les barrières institutionnelles à l'échange de données".

Des exemples pratiques et une visite sont prévus.

Pour participer contacter l'AFT (Mr Bailly) ou IETI, 17 Bld des Etats-Unis - 71000 Mâcon - Tél. : 85 39 40 80 - Fax : 85 38 65 91 (Mlle Lallemand)

### CIMbéton

Au service de ceux qui participent à l'acte de construire, des spécialistes qui s'adressent aux concepteurs, prescripteurs et à l'enseignement dans le domaine des ciments, bétons et leurs applications. CIMbéton informe par des publications périodiques spécialisées, en particulier la plus ancienne revue d'architecture "Construction Moderne" et "Routes, Ciments et Chaux" consacrée au domaine routier. L'équipe organise des communications et des réunions et répond aux questions notamment par la banque de données télématiques accessibles par Minitel (3614 CIMBETON). CIMbéton conçoit également et met en œuvre des actions de formation et édite des ouvrages techniques.

Parmi ceux-ci vient de paraître "Conception des bâtiments d'industrie, de commerce et de stockage", vers une architecture de composants en béton. A notre époque où l'utilisation d'une technique de construction dominante pour ces bâtiments altère les abords des villes ou des campagnes par la banalité des formes, ce livre veut donner aux concepteurs des ouvertures vers d'autres solutions à partir du béton.

(41 avenue de Friedland - 75008 Paris - Tél. : 43 59 08 93 - Fax : 42 25 87 80)

### Matérialisation dans Paris du tracé du Méridien de l'Observatoire : hommage à François Arago

Le 14 novembre 1994 a eu lieu à Paris, place de l'Île de Sein, en bordure du boulevard Arago, l'inauguration d'un "monument" très particulier, réalisé en hommage à Arago, astronome éminent et physicien, qui avait pris

part dans des conditions très difficiles à une partie des travaux de la méridienne de France (rattachement des Baléares).

Ce "monument" qui remplace l'ancienne statue en bronze d'Arago, située place de l'Île de Sein, détruite durant la deuxième guerre mondiale, consiste en la mise en place d'une chaîne de 135 médaillons en bronze sur lesquels apparaît le nom d'Arago, imaginée par l'artiste néerlandais Jan Dibbets, chaîne traversant Paris du nord au sud le long du méridien passant par l'observatoire. Les conditions dans lesquelles furent réalisées cette chaîne et l'implantation des médaillons, feront l'objet d'un article plus détaillé de Bernard Tailliez qui paraîtra dans le prochain numéro d'XYZ (63).

## **Le second challenge Collinet du géomètre topographe**

Il vous invite à photographier le géomètre topographe dans son environnement professionnel, en noir et blanc et en couleur, en tous temps, en tous lieux et en toutes circonstances.

Le règlement (format de photos, dates, jury, prix, etc) sera établi au cours de l'année 1995.

Le challenge sera ouvert à tous les professionnels, aux enseignants, aux étudiants utilisant des outils topographiques.

Toutefois, les fabricants et distributeurs de ces outils, leurs personnels et familles ne pourront pas participer au challenge.

Dès à présent, ayez le déclic.

Ouvrez vos rideaux sur les multiples fenêtres de votre profession.

(244 avenue du Saint Laurent - Zone Atlantis - 44811 St Herblain Cedex - Tél. : 40 92 04 51 - Fax : 40 92 05 38)

## **120ème Congrès National des sociétés Historiques et Scientifiques**

Le 120ème Congrès National des sociétés Historiques et Scientifiques se tiendra à Aix-en-Provence du 23 au 29 octobre 1995. Son programme résumé est le suivant.

- Colloque interdisciplinaire :  
Le tourisme. La nouvelle donne touristique et son impact géographique (notamment en PACA).
- Histoire moderne et contemporaine :  
Correspondre jadis et naguère : de la poste au Minitel, esquisse préliminaire.
- Histoire de la Révolution française :  
Contre-Révolution et anti-Révolution. L'an III : réaction et terreur blanche.
- Histoire médiévale et philologie :  
La ville au moyen-âge.
- Archéologie et histoire de l'Art :  
Villes et campagnes en Gaule méridionale.  
Les apports récents et l'archéologie à la connaissance de la construction navale antique et médiévale en

Méditerranée.

• Pré et Proto-Histoire :

L'Homme préhistorique et la mer : 5 thèmes.

• Histoire des Sciences :

La transmission des savoirs agricoles.

Jardins d'essais, jardins botaniques.

Histoire de l'aluminium.

• Ethnologie et anthropologie françaises :

La généalogie, entre science et passions.

• Géographie physique et humaine :

Grands travaux et grands équipements.

Les risques majeurs naturels, anthropiques et les problèmes d'environnement.

Dessins, gravure, peinture et géographie.

Les évolutions démographiques et les flux migratoires dans la France méridionale.

Urbanisation et métropolisation dans la France méridionale.

La géographie du Mistral et des autres vents régionaux.

• Histoire moderne et contemporaine :

Histoire des jeux et des sports.

• Sciences :

La transmission des savoirs scientifiques.

Nomenclature et terminologie en Sciences.

Les personnes intéressées par ce Congrès peuvent s'adresser dès maintenant au Comité des Travaux Historiques et Scientifiques (CTHS) - 175 Bd Saint Germain 75006 Paris - Tél. : 40 65 75 51 qui leur enverra un programme détaillé et un formulaire d'inscription ; celui-ci doit parvenir au CTHS avant le 31 mai.

## **MARI 95 et GEOMERCATIQUE 95**

Le marché européen de l'information Géographique et les premières journées professionnelles du géomarketing, les 4, 5, 6 avril 1995 à Paris La Défense. Patronnés par IGN, CNIG, SPDG, CMD, IEMD, IAE Lille et Stratégies.

## **Une structure ROLLEIMETRIC maintenant en France**

La société Rollei Metric Service opérationnelle depuis le premier janvier 1995 constitue l'antenne française exclusive de Rollei-Fototechnic pour les applications scientifiques des systèmes issus de la firme de Brunswick.

Les moyens intégrés de R.M.S., accessibles en Ile-de-France :

- laboratoire photographique adapté au travail scientifique moyen format,
- matériel et logiciel de la gamme Rollei Metric,
- équipements d'analyse et de restitution,
- liaison directe et permanente avec la firme Rollei,

permettent aujourd'hui avec une politique commerciale basée sur le service et adaptée au marché français d'offrir l'expérience du seul groupe européen, fabricant

Ashtech means GPS... receivers, software and training for precision geodetic surveying



and global

navigation, real-time differential positioning on land or sea, aerial



photogrammetry, advanced dual P-Code surveying, attribute

tagging for GIS, precision



GPS avionics and 3-dimensional direction finding.



## Du terrain jusqu'au plan, Ashtech couvre les besoins actuels et futurs !

La constellation des satellites GPS Navstar étant officiellement complète, tous les domaines d'applications GPS nous projettent dans le 21<sup>e</sup> siècle. Ashtech, leader mondial en matière de technologie GPS, offre dorénavant les meilleures solutions pour la topographie/géodésie et également pour la navigation différentielle. Le récepteur Z-12 d'Ashtech est devenu la révélation de l'année 94 après l'établissement définitif de l'"A/S" (Anti-Spoofing = anti-brouillage). Grâce à son convertisseur A/D RF "Dual/Bit" et à sa technologie "Z-Tracking", le Z-12 offre la meilleure immunisation contre les effets de l'"A/S". Il assure ainsi la pleine précision pour les applications civiles. Le nouveau logiciel



"PRISM II" intègre un extraordinaire programme "PNAV" qui traite tout mode d'acquisition de mesures GPS différentielles en un seul module. Il permet de lever les ambiguïtés à-la-volée au centimètre. Cette caractéristique est particulièrement cruciale pour mesurer une trajectoire photogrammétrique avec une précision décimétrique. Ashtech continue d'anticiper les besoins du futur, en développant de nouveaux systèmes complètement intégrés. En France, TECHMATION distribue tous les produits ASHTECH destinés à la topographie, la géodésie et la navigation précise en assurant également le service et la maintenance des systèmes. Pour de plus amples informations, appelez au (1) 42 00 11 05.



Groupe R.E.A. - 20, quai de la Marne 75019 PARIS.  
Tél. (1) 42 00 11 05. Fax (1) 42 40 51 40.

A partir de mars 1995 :  
81, rue Pierre-Sémar  
92320 CHATILLON  
Tél. (1) 41.17.74.74 - Fax (1) 41.17.74.75



Ashtech Europe Ltd U.K. - Blenheim Business Park  
LONG HANBOROUGH, Oxfordshire OX8 8LN (Angleterre)  
Tél (44) 993 883533 - Fax (44) 993 883977



exclusivement en Allemagne sa gamme originale d'équipements de photogrammétrie.

En parallèle avec les systèmes film 135 et 120 basés sur les caméras 3003, 6006, 6008 équipés de réseau on trouve aussi les matériels de mesures industrielles, format 23x23 normalement exploités par les scanners haute résolutions type RS1 sous logiciel Miro.

Complément des solutions films photographiques, des systèmes à capteurs numérique sont déjà mis sur le marché, ouvrant la voie au traitement direct sur écran, telles les caméras réseau à balayage RSC ou les systèmes basés sur les boîtiers type 6008 équipés de détecteurs ChipPack et opérationnel sous logiciel OLIS...

Rollei Metric Service - BP 75 - 92323 Chatillon Cedex  
- Tél. : (33 1) 47 35 08 93 - Fax : (33 1) 47 35 64 70

## Notre couverture

### Geodimeter System 4000 au travail

La station robotisée est fixée sur un trépied de grande hauteur.

Une fois déployée en position horizontale, la plateforme arrière solidaire du véhicule peut être déplacée en hauteur par un système hydraulique, permettant à l'opérateur d'effectuer sa mise en station. Le système a un double avantage : l'instrument robotisé est à la fois protégé et surélevé, permettant de passer au-dessus des obstacles. Cet équipement a été développé par le cabinet CLERGET à Belfort.

"A travers cet exemple de mise en œuvre, c'est en fait toute l'évolution des techniques topographiques qui est ici illustrée.

En effet, au cours des 20 dernières années, avec l'apparition des distancemètres puis des stations totales avec carnets électroniques, et enfin des stations robotisées et du GPS, les effectifs des brigades de terrain sont passés de 4 ou 5 personnes à une seule.

Comme dans beaucoup d'autres domaines, la vitesse de ces évolutions techniques a inévitablement entraîné de profondes remises en question humaines nécessitant des efforts d'adaptation certains. Ainsi, ceux qui ont dès à présent franchi le pas en travaillant seul sur le terrain ne le regrettent en aucun cas.

Pour les autres qui entrevoient tous les avantages d'un tel système sans oser y passer brusquement, GEOTRONICS leur ménage la possibilité d'une transition progressive à partir d'un appareil traditionnel vers une station robotisée. En effet, le nouveau Geodimeter System 600 propose pour la toute première fois des stations totales complètement évolutives.

La simple adhésion à ce tout nouveau concept est une garantie certaine sur la liberté d'évolution de chacun et la capacité d'adaptation ainsi offerte qui sera, à n'en pas douter, de plus en plus vitale au cours des années à venir !".

## AFT - Annonces - Emplois

**JF - 26 ans - Belge - 3 ans de profession après 2 ans de stage - Propose ses services pour chantiers et travaux à l'étranger, dont la France. Écrire ou téléphoner à la revue n°621 ou téléphoner au 32.2.425.47.81**

**JH. 20 ans - BT de Topographie (1993) - dégagé des obligations militaires - Stages d'opérateur géomètre - cherche emploi - Écrire ou téléphoner à la revue n°622 ou téléphoner au 40.78.96.52**

**Dessinatrice projeteuse - 28 ans - BEP en Génie Civil - BT de l'ESTB - Formation en génie civil - Formation AutoCad V12 - 5 ans d'expérience en bureaux d'études et cabinets d'architectes - Libre immédiatement. Ecrire à la revue n°624 ou Tél. : 46 80 22 89**

**Toutes traductions techniques et juridiques - N° SIRET 38854173200029 - PC Mac - Logiciels Excel, Word 6 - 5 avenue Albine - 78600 Maison Laffitte. Ecrire à la revue n°625 ou Tél./Fax : 39 62 19 71**

## SUR NOTRE AGENDA

20-23 Fev. Madrid : GIS for Business 95 - Tél. : 44 1730 266 544 - Fax : 44 1730 268 865.

### Mars 1995

20-23, AM/FM International Annual Conference XVIII - à Baltimore, USA. Tél. : 1 303 337 0513 - Fax : 1 303 337 1001.

26-31, International School, GPS school for Geodesy, La Haye, Pays Bas. Tél. : +31 15 782819 - Fax : +31 15 782745.

27-31. Joint European Conference and exhibition on Geographic Information - La Haye. Pays Bas. Tél. : +41 61 691 88 88 - Fax : +41 61 691 81 89.

### Avril 1995

4-6. Paris France. MARI Europe & GEOMERCATIQUE 95 (Geomarketing Business Meeting). Contact : Franck Bleuzen ou Florence Valliez, Ortech, France. Tél. : +33 1 45 23 08 16 - Fax : +33 1 24 48 01 81.

5-7. Braunschweig, Allemagne. 38. DVW-Seminar, FIG Symposium: Gebäudeinforamtionssysteme. Tél. : +49 0531 391 74 42 - Fax : +49 0531 391 55 99.

13. RIVS HQ, Londres (UK). Position Monitoring of Deep Water Subsea Structures - Sub Metre Accuracy with Acoustics. Contact Amanda Pieniazek, RICS, London, UK, Tel: +44 (71) 334 3737.

17-28. Madrid. Automated Cadastral Cartography - Fax : +34 1 397 85 99.

20-21. University of Nottingham (UK). Propagation Effects on GPS. Tél. : +44 (1159) 513 882 - Fax : +44 (1159) 513 881.

### Mai 1995

Mai. Nottingham University (UK). Seminar on Atmospheric Propagation Effects on GPS. Tél. : +44 (1159) 513 882.

2-5. Cologne, Allemagne. Geotecnica 95: International Trade Fair and Congress for Geo-Sciences and Technology. Tél. : +49 (221) 8210 - Fax : +49 (221) 821 2574.

21-26. Berlin, Allemagne. 62nd FIG Permanent Committee Meeting. Tél. : +61 6 253 2922 - Fax : +61 6 253 1741

23-25. NEC, Birmingham, Royaume-Uni. GIS 95. Tél. : +44 81 742 2828 - Fax : +44 81 747 3856.

### Juin 1995

12-16. Budapest, Hongrie. GIS/LIS 95 Central Europe. Tél. : +1 301 951 0480 - Fax : +1 301 951 0499.

29 - 1er juillet. Budapest, Hongrie. EN+IN International Conference on Environment and Information. Fax : +353 21 271 1980.

### Juillet 1995

2-14. Washington, USA. IUGG XXQ General Assembly - Fax: 1-202-328-0566.

5-7. Salzburg, Autriche. 7th Symposium for Applied Geographic

Information Processing. Tél. : +43 662 8044 Ext. 5224 - Fax : +43 662 8044.

10-14. Florence, Italie. IGARSS 95: International Geoscience and Remote sensing Symposium. Fax : +39 55 495 348.

## **Août 1995**

13-17. San Antonio, Texas, USA. URISA 95 Annual Conference. Tél. : +1 202 289 1685.

23-25. Dortmund, Allemagne. 79 Deutscher Geodätentag. Freistuhl 4, W-44137 Dortmund, Allemagne.

## **Septembre**

3-9. Barcelone, Espagne. 17th International Cartographic Conference & 10th General Assembly of the ICA. Tél. : +34 3 218 87 58 - Fax : +34 3 218 89 59.

11-16. Vienne, Autriche. 16th International Conference on the

History of Cartography. Tél. : +43 (1) 53 410 297 - Fax : +43 (1) 53 410 319.

21-23. Semmering, Autriche. COSIT 95: International Conference on Spatial Information Theory. Tél. : +43 1 588 01 3787 - Fax : +43 1 504 3535.

27-29. Berlin, Allemagne. Computer Science for Environment Protection 95: Space and Time in Environmental Information Systems. Tél. : +49 30 25 86 26 87 - Fax : +49 30 25 86 21 16.

## **Octobre 1995**

16-20. La Haye, Pays bas. 5th International Symposium on Land Subsidence - FISOLS 95. Tél. : +31 15 782819 - Fax : +31 15 782745.

## **Novembre**

13-17. Nashville, Tennessee, USA. GIS/LIS 95. Tél. : +1 301 493 0200 - Fax : +1 301 493 8245.

## **AFT - ELECTION AU CONSEIL D'ADMINISTRATION**

L'Assemblée générale de l'AFT s'est tenue le 7 décembre 1994 au cours de la 3ème CITOP.

Statutairement elle s'est prononcée à bulletin secret sur l'élection des membres nationaux du Conseil.

Les 7 candidats élus sont : MM. Becker, Bienvenu, Bijou, Bourgoïn, Cabanel, Fuhrer, Second.

Le conseil se présente donc ainsi :

MM. André Bailly, Gérard Bienvenu, Pierre Bijou <sup>(\*)</sup>, Jean Boutonnier, Jean Cabanel <sup>(\*)</sup>, Jacques Fuhrer, Michel Mémier, Robert Vincent, Edmond Barbacanne, Jean-Marie Becker <sup>(\*)</sup>, Jean Bourgoïn, Robert Chevalier, Jean Fleury, Raymond d'Hollander, Michel Mayoud, Michel Sautreau, Pierre Second, Jacques Tassou.

Nous remercions et saluons pour leur participation efficace nos amis qui quittent le Conseil, Maurice Daugé et Robert Schaffner, membres du CA depuis la création de l'AFT et Didier Kopf, tous fidèles de longue date et dont la tâche sera maintenant assurée par les nouveaux membres : Jean-Marie Becker, Service Foncier Suède, vice-président de la commission 5 (instruments et méthodes) de la FIG. Pierre Bijou, ingénieur ESGT, ingénieur européen, chef de la cellule topographique au service Technique des Bases Aériennes. Jean Cabanel, ingénieur commercial Carl-Zeiss.

Que nous accueillons avec plaisir.

<sup>(\*)</sup> : Nouveaux élus

## L'UNIFICATION DES RÉFÉRENCES GÉODÉSIQUES : L'EXEMPLE DU TUNNEL SOUS LA MANCHE

*Pascal Willis, Claude Boucher  
Institut Géographique National, Saint-Mandé, France*

One of the thorniest problems in modern geodesy is the unification of geodetic references, both planimetric and altimetric components. After a brief theoretical description of the different geodetic concepts involved, the example of the Channel Tunnel will be discussed. First of all, the work accomplished by the IGN and the OSGB in 1987 to determine the planimetric and altimetric references to prepare the realization of the Channel Tunnel will be described. A detailed presentation of the vertical datum shifts between France and England will be presented.

Finally, the difficult problem of the unification of geodetic references will be presented in its actual context and in particular relating to European geodetic works accomplished within IAG Commissions (EUREF, REUN). In most of cases, the results from these groups can be directly used with profit. Nevertheless, there still remain few applications for which a new complementary geodetic approach would be beneficiary.



### 1. INTRODUCTION

Depuis plus d'un siècle, la plupart des pays ont entrepris d'équiper leur territoire de canevas géodésiques planimétriques et altimétriques afin d'offrir une référence unique aux travaux de cartographie, topographie, cadastre, hydrographie, génie civil,...

Néanmoins, les besoins qui nécessitent d'utiliser des positions dans une référence unique qui ne s'arrête pas aux frontières existent depuis des décennies et se sont largement accrues ces dernières années :

- problèmes de navigation maritime et aérienne,
- échange de données numérisées d'information géographique (modèles numériques de terrain, réseaux routiers, réseaux hydrographiques,...)
- grands travaux linéaires trans-frontaliers (tunnels, ponts, réseaux routiers ou ferroviaires,...).

Par ailleurs, les techniques spatiales ont progressivement amené sur le marché des systèmes de navigation, de localisation ou d'imagerie qui expriment leurs résultats dans des systèmes de référence globaux et géocentriques.

Or, les désaccords entre ces divers systèmes géodésiques atteignent des centaines de mètres en planimétrie et quelques mètres en altimétrie, ce qui pose souvent un certain nombre de problèmes d'incompréhension de la part des utilisateurs non spécialistes.

Cette situation a donné lieu à de nombreux problèmes qui se sont souvent traduits par des surcoûts financiers importants, voire des risques en terme de sécurité des personnes physiques.

Nous nous proposons d'examiner ici les diverses solutions désormais disponibles, en fonction des impératifs de *précision* ou d'*urgence*, en nous concentrant volontairement dans un cadre européen.

### 2. CONCEPTS GÉNÉRAUX

Une connaissance suffisante des concepts de systèmes de référence et de coordonnées est indispensable à la compréhension des problèmes et des solutions. Le groupe technique TC287 du CEN qui traite de l'échange d'information géographique numérique a ainsi créé un groupe de travail sur ces questions délicates de concepts et de terminologie associés à la notion de référence spatiale. On pourra utilement se référer à ses résultats dont les lignes suivantes s'inspirent [1] :

- un système de référence géodésique est un repère affine cartésien orthogonal  $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$  dont l'origine  $O$  est proche du centre de masse de la Terre  $G$ , dont l'axe  $\vec{k}$  est proche de celui du pôle de rotation terrestre et pour lequel le plan défini par les vecteurs  $\vec{i}$  et  $\vec{j}$  et passant par  $O$  est proche du plan méridien de Greenwich.

La surface terrestre réduite de sa topographie, ou plus exactement le géoïde (voir ci-dessous) est bien approximée (à 100 m près) par un ellipsoïde de révolution aplati aux pôles. Un tel ellipsoïde, dit géodésique, est généralement associé à un système de référence géodésique pour définir des coordonnées géographiques.

Pour cela, après avoir choisi les dimensions de cet ellipsoïde (avec deux paramètres, par exemple, le demi grand axe et l'aplatissement), on fait coïncider son centre avec l'origine  $O$  du système et son axe de révolution avec  $\vec{k}$ .

Les coordonnées géographiques (latitude  $\varphi$  et longitude  $\lambda$ ) sont alors définies naturellement, en projetant un point  $P$  de l'espace sur l'ellipsoïde. La distance de  $P$  à cet ellipsoïde est appelée hauteur au dessus de l'ellipsoïde.

La longitude est souvent comptée à partir d'un méridien origine qui ne coïncide pas avec celui de Greenwich, ceci pour des traditions historiques de type astronomique ou cartographique. L'angle de ce méridien par rapport à Greenwich est alors conventionnel  $\lambda_G$ .

En conséquence, à un système de référence géodésique sont associés plusieurs systèmes de coordonnées :

- cartésiennes :  $X, Y, Z$



# Simple à l'utilisation, rapide dans les mesures: productivité garantie.



**Nouveau**

**Rec Elta® 15**

**Rec Elta® 14**

**Rec Elta® 13**

La durée des mesures, si brève soit-elle, ne fait pas à elle seule la productivité d'une station totale. La simplicité et la fiabilité de son utilisation y contribuent en premier. C'est pourquoi le clavier de la **Rec Elta® 15** de Carl Zeiss n'a pas de touche à double fonction. C'est aussi pour cela que les fonctions de ces touches sont affichées sur l'écran graphique, largement dimensionné de la **Rec Elta® 15**. Des instructions en texte clair vous conduisent à travers le programme.

Ce que vous avez à faire? Ce que vous devez mesurer? La **Rec Elta® 15** vous le dira avec ses programmes intégrés, spécifiques aux différentes applications.

Station totale, comme son nom l'indique, la **Rec Elta® 15** se fait un devoir de mémoriser automatiquement les résultats, sans que vous soyez obligé de le lui rappeler. Testez-la et vous serez convaincu que la simplicité et la fiabilité de son utilisation sont encore les meilleurs atouts de productivité. Vous constaterez aussi que la performance, ça peut s'acquérir à un prix tout à fait raisonnable. Nous aurions encore tant de choses à dire sur les avantages dont vous pouvez bénéficier avec la **Rec Elta® 15**. Si vous voulez en savoir plus, téléphonez-nous ou passez-nous un fax.

Contact : Jean-François CABANEL

**Arpenter tous azimuts  
avec Carl Zeiss.  
Satisfaction de la précision.**



**Carl Zeiss S.A.**  
60, Route de Sartrouville  
78230 Le Pecq  
Tel.: 1 34 80 20 00  
Fax: 1 34 80 20 01

- géographiques  $\phi$ ,  $\lambda$ ,  $h$  (en ayant fait un choix d'ellipsoïde et de méridien origine)

De plus, pour les applications cartographiques, le choix d'une représentation plane de l'ellipsoïde permet de remplace les coordonnées géographiques ( $\phi$ ,  $\lambda$ ) par des coordonnées planes (E, N) : Est et Nord.

Face à ces définitions idéales, il existe de multiples réalisations de ces systèmes. On considère généralement deux catégories de réalisations :

- les *processus de détermination des coordonnées d'un point* dans le système de référence considéré (par exemple, navigation en temps réel par GPS, exprimé en WGS84,

- les *repères* ou réseaux qui sont un ensemble de points et de coordonnées associées qui sont exprimées dans ce système (par exemple, réseau géodésique classique, réseau de nivellement, éphémérides d'un satellite,...) et qui servent d'appui aux travaux futurs.

Ainsi, en Europe, on peut citer les réseaux suivants, chacun pouvant se caractériser par sa couverture, sa densité et sa précision :

- réseaux géodésiques nationaux,
- réseaux nationaux de nivellement de précision,
- réseaux européens,
- réseaux globaux.

Le tableau 1 illustre la multiplicité actuelle de ces différents réseaux :

Tableau 1  
Multiplicité des réseaux géodésiques actuels

| Réseau        | Type                               | Couverture                     | Précision                                       | Remarques  |
|---------------|------------------------------------|--------------------------------|---|--|
| NTF<br>OSGB36 | planimétrie<br>planimétrie         | France (dense)<br>G.B. (dense) | $10^{-5}$<br>$10^{-5}$                          | système légal en France<br>système légal en G.B. |
| IGN69<br>ODN  | nivellement<br>nivellement         | France<br>G.B.                 | $1\text{mm}\sqrt{\text{km}}$<br>système 1 mm/km | nouveau système depuis 1970                      |
| ED50          | planimétrie                        | Europe 1er ordre               | local $10^{-5}$<br>30 m                         | disponible en 1950                               |
| ED87          | planimétrie                        | Europe 1er ordre               | local $10^{-6}$<br>1 m                          | disponible en 1987                               |
| UELN73        | nivellement                        | Europe 1er ordre               | $1\text{mm}\sqrt{\text{km}}$                    | disponible en 1973                               |
| EUREF<br>ITRF | tridimensionnel<br>tridimensionnel | Europe<br>Mondial              | 1-5 cm<br>1-5 cm                                | solutions depuis 1991<br>solutions depuis 1988   |

Les *systèmes d'altitude* sont définis pour exprimer l'éloignement d'un point à une surface de référence, dite géoïde, qui est une équipotentielle du champ de pesanteur terrestre (somme des composantes de gravitation et de rotation), passant au mieux par le niveau moyen des mers.

En fait, on mesure la différence de potentiel  $C$  par rapport à une référence, et généralement un point de référence (dit point fondamental) et on exprime l'altitude par la relation (équ. 1) :

$$H = \frac{C}{g} \quad (1)$$

où  $g$  peut être pris de diverses façons (on définit ainsi des altitude dynamiques, orthométriques ou normales).

Le choix des diverses surfaces de référence et de types

différents d'altitude crée des systèmes différents. De plus, les sytématismes de nivellement de précision font que les altitudes peuvent différer de l'ordre du mètre. Notons enfin que certains pays (par exemple, la Belgique) adoptent une référence décalée par rapport au géoïde.

## 3. L'EXEMPLE DU TUNNEL SOUS LA MANCHE

### 3.1 Contexte historique et objectifs

En 1986, la société Trans-Manche Link (TML) contacta l'IGN et l'OSGB en vu d'effectuer une expertise sur la qualité du réseau d'appui géodésique pour le travaux à venir de percement du tunnel sous la manche. Le travail consistait à valider la qualité des résultats déjà fournis dans le passé par l'IGN et l'OSGB, à la lueur des informations géodésiques nouvelles et en particulier des résultats d'une campagne scientifique d'observations GPS entre la France et l'Angleterre en 1986. Il était envisagé aussi, si la nécessité s'en faisant sentir, de redéfinir éventuellement un nouveau repère qui servirait d'appui pour les travaux imminents de percement du tunnel, ce qui entraînerait, bien évidemment alors une reprise d'un nombre important de calculs et de préétudes du côté de TML.

Sachant que le jeu de coordonnées d'appui fourni par l'IGN et l'OSGB servirait de base à tous les travaux de percement, et que sa qualité intrinsèque ne pourrait effectivement être validé par les utilisateurs qu'après les travaux de percement, il était primordial que ce réseau d'appui soit irréprochable d'un point de vue métrologique et qu'il

n'entraîne pas pour les utilisateurs d'erreurs plus importantes que celles des mesures de leurs propres travaux. Ce critère de qualité était d'autant plus essentiel que le choix, tant technique que politique, de la stratégie de percement était celle d'un percement simultané de deux tunnels de chaque côté de la Manche qui devaient donc se "rencontrer au mieux" entre les deux pays, sous la Manche.

D'un point de vue technique, s'il était facile d'assurer que les deux tunnels allaient se rencontrer (et non passer l'un à côté de l'autre, ce qui aurait été pour le moins dramatique d'un point de vue financier), il

était moins facile de prédire quelle serait la différence d'alignement constatée au point de rencontre. Cette différence étant due à la fois aux erreurs dans le réseau d'appui mais surtout, comme nous le verrons, dans les erreurs d'alignement du tunnel en cours de percement. Cette différence impliquait alors une conséquence financière immédiate qui pouvait devenir catastrophique en cas de désaccord trop important.

En effet, si un désalignement planimétrique était relativement facile à prendre en compte, une différence verticale aurait été catastrophique car, le tunnel devant servir au passage de trains sur lesquels seraient embarquées les voitures et camions, les pentes maximales autorisées pour ce genre de travaux sont très faibles. En cas de différence importante en altimétrie, il aurait donc fallu recréer les tunnels sur une distance très importante afin de faire dimi-

nuer cette pente.

D'autres problèmes techniques se posaient à l'époque. La technique GPS (Global Positioning System) n'en était encore qu'à ses balbutiements et un certain nombre de questions se posaient à l'époque :

- le nouveau réseau devrait comporter uniquement des observations GPS ? Pourrait-on (et comment) incorporer des mesures de géodésie terrestre à des mesures spatiales ? Devait-on le faire ?

- quel était l'objectif d'une campagne GPS : vérifier les coordonnées CTG86 [2] ou en obtenir de nouvelles (ce qui impliquait des reprises de plan, et donc à court terme des surcoûts importants pour TML) ?

- quel type de récepteur GPS devait-on utiliser (monofréquences, bi-fréquences) en une ou plusieurs campagnes d'observations ?

- comment estimer la qualité des résultats ? Cette dernière question est souvent, en géodésie, comme plus généralement en métrologie, l'une des plus difficiles à traiter.

Enfin d'un point de vue purement opérationnel, la demande de TML était très difficile à respecter : les campagnes de terrain GPS devaient avoir lieu en octobre 1987 et si les rapports complets et définitifs ne devaient être remis qu'en fin d'année, il était néanmoins indispensable de fournir un nouveau jeu de coordonnées définitif et sur une valeur du décalage entre les systèmes d'altitude français (IGN69) et anglais (ODN) avant fin novembre 1987.

## 3.2 Les opérations de terrain

L'utilisation des résultats de la campagne scientifique GPS de novembre 1986 montra rapidement qu'il était indispensable d'utiliser désormais des mesures spatiales pour la réalisation du réseau d'appui. Prenant en compte les délais très courts à respecter, il fut décidé entre l'IGN et l'OSGB de réaliser trois campagnes d'observations GPS indépendantes en octobre 1987 :

- une campagne GPS sous-traitée à la société de services Nortech utilisant des récepteurs GPS bifréquences TI4100 (à l'époque, ni l'IGN, ni l'OSGB ne possédaient de tels équipements) qui permis de déterminer 3 points en Angleterre et 3 points en France,

- une campagne GPS réalisée en Angleterre par l'OSGB avec 4 récepteurs GPS monofréquences Trimble SX sur un réseau local de 7 points,

- une campagne GPS réalisée en France par l'IGN avec 4 récepteurs GPS monofréquences SERCEL TR5S sur un réseau local de 5 points.

Une partie des opérations de terrain se déroula d'ailleurs durant la fameuse tempête d'octobre 1987 qui ravagea le sud de l'Angleterre et le nord de la France ce qui ne facilita bien évidemment pas le respect des délais imposés par TML.

## 3.3 Calculs planimétriques

Les campagnes GPS furent traitées de manières séparées avec des logiciels différents (NOVAS pour Nortech, Trimvec pour l'OSGB et GDVS [3] pour l'IGN).

Dès le début, il fut clair pour les géodésiens français et anglais qu'il était important d'utiliser des résultats de géodésie spatiale dans l'ajustement, mais aussi de conserver et

d'utiliser au mieux les mesures anciennes de géodésie terrestre (réalisées depuis 1963) [4].

Un des problèmes délicats à résoudre était l'incorporation des résultats des campagnes GPS qui posait un problème en terme de modélisation, mais surtout en terme d'appréciation des poids relatifs à apporter dans la compensation et de choix de paramètres systématiques à estimer [5].

Les calculs furent réalisés à l'IGN à l'aide de la chaîne RSG [6] et refaits à l'OSGB, de manière totalement indépendante et à partir d'hypothèses légèrement différentes, afin de s'autocontrôler le plus possible. L'ajustement était fait en bi-dimensionnel, les résultats GPS furent convertis à l'époque en pseudo-observations d'azimut et de distances, avec des poids appropriés, et permirent d'obtenir le RTM87 (Réseau Trans-Manche 1987) qui servi d'appui aux travaux de percement.

On peut noter au passage que les différences en terme de coordonnées entre l'ancien repère (CTG86) et le nouveau (RTM87) représentaient des erreurs planimétriques inférieures à 10 cm du côté anglais, mais allant jusqu'à 70 cm du côté français et justifiaient donc a posteriori l'importance de ces nouveaux calculs et surtout l'impact de l'introduction des données de géodésie spatiale.

Cette différence de comportement des erreurs ne provient bien évidemment pas de la qualité des observations de part et d'autre de la Manche, mais à une désorientation générale, légère mais significative, et au fait que le point de référence (fixé) se trouvait du côté anglais (Paddlesworth).

## 3.4 Calculs altimétriques

Le deuxième aspect de l'étude tout aussi imposant était d'estimer le décalage entre les deux systèmes d'altitude français et anglais. Cette étude était relativement délicate à l'époque car on ne pouvait pas encore disposer de données réelles de nivellement de précision tout le long du tunnel. Plusieurs approches différentes du problème furent entreprises :

La première idée fut d'utiliser les **informations marégraphiques** de chaque côté de la Manche. En effet, le marégraphe permet de mesurer en temps réel le niveau instantané de la mer par rapport à un repère de nivellement situé sur la côte. En effectuant une moyenne de ces mesures sur l'année, par exemple, on peut en déduire l'altitude (dans le système français ou anglais) du niveau moyen de la Manche (tableau 2). En utilisant ensuite les résultats de géodésie spatiale, on peut en déduire une information d'altitude [7].

Une première étude globale de ces résultats, permit d'estimer un décalage d'environ 27 cm (voir tableau récapitulatif 5 à la fin du paragraphe). Si l'on veut poursuivre cette étude de manière plus détaillée, il est nécessaire de connaître la pente du niveau moyen de la Manche par rapport au géoïde, due aux courants marins particulièrement compliqués dans cette partie du détroit.

Nous voyons que nous détermineront non plus une valeur unique du décalage des deux systèmes d'altitude, mais plutôt une valeur différente pour chaque couple de marégraphes. En nous appuyant sur les travaux de Cartwright et Crease [8] et de Le Provost [9], deux nouvelles valeurs furent trouvées pour les couples de marégraphes Shareham-Dieppe (19 cm) et Ramsgate-Dunkerque (42 cm).

Tableau 2

Altitude des marégraphes français et anglais  
dans leur système d'altitude respectif

| Marégraphe | Altitude<br>ODN (en m) | Altitude<br>IGN69 | Ecart type estimé<br>(en m) |
|------------|------------------------|-------------------|-----------------------------|
| Dover      | -0,185                 |                   | 0,094                       |
| Portsmouth | 0,031                  |                   | 0,072                       |
| Newlyn     | 0,000*                 |                   | 0,000*                      |
| Dunkerque  |                        | 0,224             | 0,120                       |
| Calais     |                        | 0,165             | 0,114                       |
| Boulogne   |                        | 0,094             | 0,098                       |
| Le Havre   |                        | -0,075            | 0,093                       |
| Cherbourg  |                        | -0,037            | 0,063                       |
| Brest      |                        | 0,002             | 0,045                       |

\* = point de référence conventionnel des altitudes (fixé)

Une deuxième étude fut alors entreprise en essayant de valoriser les résultats des différentes campagnes de géodésie spatiale de 1986 et de 1987 [10]. Pour chaque point GPS nivelé, on connaît son altitude ellipsoïdale  $h$  provenant de GPS, son altitude orthométrique  $H$  dans le système local. Si l'on appelle  $C$ , la différence entre le quasi-géoïde (surface zéro du nivellement) et  $N$  la hauteur du géoïde au dessus de l'ellipsoïde, on a la relation (2) :

$$h = H_i + N - C_i \quad (2)$$

où  $i$  = ODN si le point est en Angleterre  
et  $i$  = IGN69 si le point est en France

Le décalage recherché entre les deux systèmes d'altitude est donc  $C_{ODN} - C_{IGN69}$

Pour cela, il faut connaître les valeurs de hauteurs de géoïde en chaque point et donc disposer d'un modèle de géoïde européen ou mondial. Nous avons utilisé à l'époque le modèle EGG1 [11]. Les tableaux 3 et 4 donnent les valeurs estimées de ces biais  $C_{ODN}$  et  $C_{IGN69}$  pour chacun des points GPS.  $H_{IGN69}$   $H_{ODN}$   $H_{EGG1}$

De la même manière que pour l'étude marégraphique, des cartes de ces décalages  $C_i$  furent établies et permirent d'obtenir un nouvel estimateur indépendant (12 cm). Ces cartes permirent de confirmer que ces valeurs  $C_i$  ne sont pas des constantes, mais varient de plusieurs cm ou plusieurs dizaines de cm suivant les zones géographiques considérées (tableaux 3 et 4), probablement à cause des erreurs systématiques du nivellement.

Enfin, une dernière étude se concentra sur l'étude d'un profil de nivellement qui possédait plusieurs avantages intéressants, par rapport à cette première étude globale :

- tous les points se trouvaient dans la zone d'intérêt du tunnel,

- ils étaient tous nivelés par du nivellement de précision,

- ces points étaient alignés pratiquement suivant l'axe du futur tunnel.

Cette nouvelle étude fournit une valeur encore différente (17 cm). Il était alors nécessaire pour chacun de ces estimateurs de la valeur du décalage entre les systèmes IGN69 et ODN de déterminer une exactitude réaliste, en tenant compte des différentes sources d'erreurs possibles, aléatoires ou systématiques : précision des nivellements et en particulier, erreurs systématiques ; désorientation possible des réseaux GPS ; précision et erreur systématique du modèle de géoïde ; erreurs possibles dans la détermination

Tableau 3  
Altitude des points anglais

| Site           | $H_{ODN}$<br>(en m) | $\sigma$<br>(en m) | $h$<br>(en m) | $N_{EGG1}$<br>/GRS80<br>(en m) | $N_{EGG1} - (h - H_{ODN})$<br>(en m) |
|----------------|---------------------|--------------------|---------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| Rumfield       | 79,17               | B                  | 123,2         | 44,2                           | 0,17                                 |
| Dover          | 99,354              | A                  | 143,2         | 44,3                           | 0,46                                 |
| Dover          | 6,821               | A                  | 50,7          | 44,3                           | 0,42                                 |
| Denton         | 78,301              | B                  | 122,6         | 44,5                           | 0,20                                 |
| Paddlesworth   | 186,79              | B                  | 231,1         | 44,5                           | 0,19                                 |
| Faverham       | 4,49                | B                  | 49,0          | 44,8                           | 0,29                                 |
| Fairlight Down | 175,72              | B                  | 220,3         | 44,8                           | 0,22                                 |
| Herstmonceux   | 33,05               | B                  | 77,7          | 44,9                           | 0,25                                 |

A = nivellement de précision

B = nivellement trigonométrique

Tableau 4  
Altitude des points français

| Site         | $H_{ODN}$<br>(en m) | $\sigma$<br>(en m) | $h$<br>(en m) | $N_{EGG1}$<br>/GRS80<br>(en m) | $N_{EGG1} - (h - H_{ODN})$<br>(en m) |
|--------------|---------------------|--------------------|---------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| Dunkerque    | 5,370               | A                  | 48,9          | 43,8                           | 0,27                                 |
| Graveline    | 38,53               | B                  | 82,0          | 43,8                           | 0,33                                 |
| Calais       | 6,255               | A                  | 49,7          | 43,9                           | 0,46                                 |
| Coulogne     | 3,999               | A                  | 47,5          | 43,9                           | 0,40                                 |
| Polincove    | 2,547               | A                  | 46,0          | 43,9                           | 0,45                                 |
| Serques      | 6,61                | B                  | 50,1          | 43,9                           | 0,41                                 |
| St Inglevert | 162,57              | B                  | 206,0         | 44,0                           | 0,57                                 |
| Boulogne     | 6,461               | A                  | 50,3          | 44,1                           | 0,26                                 |
| Mt Lambert   | 189,59              | B                  | 233,4         | 44,1                           | 0,29                                 |
| La Canche    | 178,39              | B                  | 222,2         | 44,1                           | 0,29                                 |

A = nivellement de précision

B = nivellement trigonométrique

de la surface topographique de la Manche ;...

A partir de ces différentes valeurs et de leurs écarts types respectifs estimés, une moyenne pondérée fut calculée et fournie à TML pour servir de valeur de référence pour la totalité des travaux de percement (30 cm  $\pm$  8 cm). Cette valeur fut confirmée a posteriori puisque l'écart constaté après la jonction des deux tunnels ne fut que de 5.8 cm en altitude (pour 35.8 cm en planimétrie) [12] et que la nouvelle valeur estimée en 1994 [13], grâce aux mesures de nivellement de précision dans le tunnel est désormais de 39 cm.

Tableau 5

Détermination du décalage entre les systèmes d'altitude  
anglais (ODN) et français (IGN69)

| Méthode<br>utilisée | Caractéristiques      | Décalage<br>vertical<br>(ODN - IGN 69)<br>(en mètre) | Ecart<br>type<br>estimé<br>(en mètre) |
|---------------------|-----------------------|--|---------------------------------------|
| Marégraphie         | Approche globale      | 0,27   | 0,15                                  |
| Marégraphie         | Shareham-Dieppe       | 0,19   | 0,06*                                 |
| Marégraphie         | Ramsgate-Dunkerque    | 0,42   | 0,02*                                 |
| GPS                 | Approche globale      | 0,12   | 0,15                                  |
| GPS                 | Profil de nivellement | 0,17   | 0,08                                  |
| Synthèse            | moyenne pondérée      | 0,30   | 0,08                                  |
| Nivellement         | Tunnel sous la Manche | 0,39   | 0,01                                  |

\* = sans prendre en compte le bruit de mesure marégraphique lui-même.



## 4. UNIFICATION DES REFERENCES GEODESIQUES

L'unification progressive des systèmes de référence géodésiques est le résultat de deux facteurs principaux :

- les possibilités techniques nouvelles,
- la pression socio-économique croissante pour réaliser cette unification.

Nous allons examiner cette évolution dans le cas de l'Europe, en adoptant une démarche chronologique qui expliquera en particulier les choix faits en 1987 pour le réseau d'appui du tunnel sous la manche et qui aboutira aux perspectives nouvelles qui s'ouvrent actuellement.

Avant 1960, la réalisation de ces références géodésiques utilisait les techniques de la géodésie terrestre (triangulation, mesures de distances et nivellement de précision). Les réseaux s'établissaient ainsi progressivement sur des décennies. Chaque pays (nous parlons des pays d'Europe) avait progressivement adopté d'établir des réseaux nationaux de géodésie et de nivellement de précision, cadre géométrique de la cartographie, de l'hydrographie et des levés topographiques.

Une précision relative de  $10^{-5}$  pourrait être atteinte pour la géodésie, sans erreur systématique globale et de 1 mm  $\sqrt{\text{km}}$  pour le nivellement avec des erreurs systématiques de 1 mm/km (constatées à défaut d'être expliquées et corrigées).

La priorité restait l'établissement de ces canevas afin de permettre aux utilisateurs de pouvoir réaliser leurs travaux et de les rattacher sans surcoût excessif à la référence nationale légale.

La seconde guerre mondiale souligna les difficultés rencontrées lors des opérations militaires à cause des diversités des références géodésiques nationales. Ce fut l'une des raisons qui poussèrent les différents pays d'Europe de l'Ouest, avec un soutien technique et politique important des Etats-Unis, à réaliser une unification européenne sous l'égide de l'Association Internationale de Géodésie (AIG).

Le premier canevas ainsi créé utilisa les chaînes de triangulation de premier ordre, récompensées globalement sur l'Ellipsoïde International. Ce fut la réalisation primaire du système Europe 50 (ED50), qui conservait la précision locale de  $10^{-5}$ , ce qui représente plusieurs décimètres de différence sur l'ensemble de l'Europe.

A la suite de cela, une commission européenne fut créée par l'AIG (commission RETRIG) pour continuer et améliorer cette tâche dans un cadre scientifique international.

L'apparition de la géodésie spatiale vers 1960 allait apporter une technique radicalement nouvelle, permettant de réaliser des réseaux géocentriques globaux. La précision décimétrique atteinte pendant les années soixante permettait une unification globale (rattachement d'îles à des continents), mais n'apportait rien à l'unification continentale, mieux réalisée par l'exploitation des mesures terrestres traditionnelles, même à travers les mers étroites où les visées restaient possibles (cas de la Manche, par exemple), et ceci sans détérioration trop importante.

Dans les années soixante-dix, apparurent les techniques spatiales radioélectriques (mesures de type Doppler) particulièrement intéressantes car elles étaient tout temps, aisément exploitables grâce à des appareils au sol d'encombre-

ment et de prix de plus en plus faibles, et qu'elles aboutissaient enfin à une précision métrique.

Si la réalisation des systèmes globaux en bénéficia (naissance des systèmes WGS72, puis de WGS84), l'unification du réseau européen aussi : d'abord utilisées pour déterminer les distorsions des réseaux nationaux et européens (ED50, puis les premières recompensations scientifiques issues de RETRIG, comme ED79), ces techniques furent ainsi appliquées pour l'extension en mer des références terrestres, pour une meilleure définition des frontières maritimes et les travaux offshore (cas de la mer du Nord). La commission RETRIG utilisa enfin pleinement ces données nouvelles pour aboutir à sa réalisation finale du système européen désigné par ED87. On avait très grossièrement amélioré d'un facteur 10 la qualité de réalisation du système ED50 (soit une précision relative de  $10^{-6}$  et globalement sur l'ensemble de l'Europe occidentale).

En parallèle, les techniques de géodésie spatiale évoluèrent pendant les années 80, offrant à la fois des techniques primaires (télémétrie laser, VLBI) lourdes, mais de précision centimétrique, et des techniques radioélectriques très opérationnelles (GPS, puis DORIS début 1990), donnant d'abord une précision améliorée en mode différentiel ( $10^{-6}$ , puis bientôt bien mieux), qui s'est transformée aujourd'hui par une précision absolue également centimétrique.

Grâce à une coordination internationale réalisée par le Service International de la Rotation Terrestre (IERS), un système géocentrique conventionnel (ITRS) est réalisé annuellement depuis 1988 par combinaison de toutes les données disponibles (ITRF).

Cette maturité des techniques de géodésie spatiale fit que la commission RETRIG fut remplacée en 1987 par la commission EUREF chargée de réaliser une référence géocentrique tridimensionnelle pour l'ensemble de l'Europe, incluant cette fois-ci les ex-pays du bloc de l'Est, et utilisant ces nouvelles techniques spatiales.

Grâce à une utilisation des techniques radioélectriques (et principalement GPS), la commission EUREF a pu créer un réseau dense de stations de précision centimétrique couvrant progressivement l'ensemble de l'Europe. Ce nouveau réseau permet à tous les pays d'unifier leurs réseaux nationaux à la précision centimétrique. Plusieurs pays (Grande Bretagne, France,...) ont entrepris une densification nationale par technique GPS.

En France, on a décidé même de convertir progressivement l'ensemble du canevas dans ce nouveau système ETRS89 (défini comme coïncidant avec l'ITRS en 1989, mais co-mobile avec la plaque tectonique européenne (afin d'annuler des vitesses inutiles pour une utilisation strictement européenne). Ce nouveau réseau (le RGF) doit remplacer à terme la NTF actuelle.

Quand au nivellement, l'unification fut entreprise dans le cadre de la commission UELN de l'AIG, aboutissant en 1963 à une première compensation d'ensemble des données de 1er ordre en Europe (UELN55). En 1971, on décida de faire une nouvelle compensation (UELN73) qui fut effectivement publiée en 1986. Le problème des jonctions à travers les mers ou détroits marins reste crucial et souvent non résolu. Ainsi, des îles comme la Corse restent isolées. Pour la jonction franco-anglaise, seules les mesures de nivellement hydrodynamiques furent utilisées.

L'utilisation conjointe du positionnement satellitaire et d'un modèle de géoïde permet la détermination directe de l'altitude. Evidemment sa précision dépend de celles des

deux composantes. On voit ainsi que cet apport devient déjà intéressant si la précision est décimétrique. Or, c'est seulement maintenant que ces performances sont atteintes pour les modèles de géoïde en Europe (travaux de la Commission Internationale sur le Géoïde de l'AIG).

En fait, sur une région restreinte, on pouvait déjà atteindre cette précision en mode différentiel, c'est ce qui fut mis en œuvre en 1987 pour les travaux géodésiques du tunnel sous la Manche.

Désormais, une coopération de EUREF, REUN et de la sous-commission européenne du géoïde doit permettre d'obtenir une réalisation conjointe pour l'Europe entière d'une référence géométrique égocentrique et d'une référence verticale, et ceci, avec une exactitude centimétrique.

Ceci doit fournir une réponse aux besoins d'unification des références géodésiques pour les années à venir.

## 5. CONCLUSIONS

Comme nous l'avons vu le problème d'unification des références géodésiques, jadis problème d'école pour les géodésiens scientifiques, est devenu un problème d'une actualité brûlante avec l'augmentation considérable d'informations géographiques numérisées pour tout type d'applications.

Sous la pression des utilisateurs et grâce à de nouvelles techniques de géodésie spatiale, et en particulier la technique GPS, ce problème a été en grande partie résolu au niveau de l'Europe puis, dans une autre mesure, au niveau mondial.

Les réseaux géodésiques, autrefois nationaux et par conséquent incohérents entre eux, ne se conçoivent plus, dans une optique géodésique moderne, qu'appuyés sur des systèmes continentaux ou mondiaux et réalisés à partir de mesures de géodésie spatiale, en partie ou en totalité.

Le problème particulier du rattachement géodésique entre la France et l'Angleterre, en vue du percement du tunnel sous la Manche, a été abordé dans son aspect historique et replacé dans le contexte de 1987. D'un point de vue géodésique, il a été important historiquement pour l'IGN et l'OSGB, car il a permis de mélanger des observations de géodésie terrestre traditionnelle à des mesures plus récentes de géodésie spatiale par GPS (mono et bifréquences simultanément). Il est bien évident, que ces travaux, s'ils devaient être refaits à l'heure actuelle, seraient conçus différemment, à la lueur des nouveaux travaux effectués dans les commissions EUREF et REUN de l'AIG, ainsi qu'en profitant de tous les progrès accomplis par la technique GPS au cours de ces dernières années.

Mais du point de vue de l'utilisateur, l'important n'est-il pas que le réseau géodésique d'appui réalisé conjointement par l'IGN et l'OSGB en 1987, n'ait pas pu être mis en défaut par les techniques topométriques utilisées ensuite et que finalement, les deux tunnels français et anglais, creusés simultanément en s'appuyant sur ce réseau, se soient rencontrés sous plusieurs centaines de mètres d'eau à quelques centimètres d'écart !

C'est l'un des aspects ingrats de la géodésie, qui comme toute discipline de métrologie, est rapidement oubliée par les utilisateurs tant qu'elle ne peut pas être mise en défaut et tout aussi rapidement critiquée, dans le cas contraire ; par exemple, dès que des possibilités nouvelles de mesures apparaissent. Mais c'est aussi dans ce défi sans cesse renouvelé que se situe la beauté de la Géodésie.

## REMERCIEMENTS

Nous souhaiterions remercier ici les équipes géodésiques françaises et anglaises qui ont participé aux travaux de terrain et au calcul du canevas géodésique d'appui en vue du percement du tunnel sous la Manche et tout particulièrement MM. Bordley, Calvert et Christie de l'OSGB et M. Petit désormais BIPM. Ce travail a permis de conforter et d'intensifier la collaboration scientifique entre l'OSGB et l'IGN.

## REFERENCES

- [1] TC287, Geographic Information Reference Position, CEN, draft 1994.
- [2] B. Best, C.E. Calvert, The Channel Tunnel Grid 1986, The Surveying Technician, Octobre-Novembre 1987.
- [3] P. Wallis, Méthodes de traitement de la phase GPS pour la localisation relative (statique et cinématique): Application à la Géodésie, Thèse de Doctorat de l'Observatoire de Paris, Décembre 1989.
- [4] C. Boucher, Maintenance centimétrique de la position relative entre deux points situés sur des berges d'un détroit marin, 1985, IGN NT/G n° 48.
- [5] R.R. Christie, R.F. Bordley, C. Boucher, C.E. Calvert, G. Petit, P. Willis, The establishment of a survey network for use on the cross channel project, First International Workshop on Geodesy for the Europe-Africa fixe link feasibility studies in the strait of Gibraltar, Mars 1989, Madrid, Espagne, IGN CC/G n° 541.
- [6] G. Petit, La chaîne RSG: Modèles et algorithmes. Comparaisons avec des logiciels extérieurs, IGN NT/G n° 57, 1988.
- [7] P. Willis, C. Boucher, Rattachement des marégraphes au système de référence mondial BTS par les systèmes GPS et DORIS, Journées systèmes de référence spatio-temporels de l'Observatoire de Paris, IGN CC/G n° 586, Juin 1988.
- [8] D.E. Cartwright, J. Crease, A comparison of the geodetic reference levels of England and France by means of sea surface, Proc. Royal Society, A, 273, P. 558-580, Londres, 1963.
- [9] C. L. Provost, An analysis of SEASAT altimeter measurements over a coastal area: The English channel, Journ. of Geophys. Res., 88, P. 1647-1654, 1983.
- [10] P. Willis, R.F. Bordley, C. Boucher, C.E. Calvert, R. Christie, G. Petit, Connection of the two levelling system datum IGN69 and ODN through the Channel by using GPS and other techniques, First International Workshop on Geodesy for the Europe-Africa fixe link feasibility studies in the strait of Gibraltar, Mars 1989, Madrid, Espagne, IGN CC/G n° 540.
- [11] W. Torge, G. Weber, H.-G. Wenzel, High resolution geoid heights and gravimetric vertical deflections of Europe including marine areas, XVIII<sup>th</sup> IUGG General Assembly, Hambourg, 1983.
- [12] J.-J. Morlot, Tunnel sous la Manche: Résultats de la première jonction topographique sous mer entre la France et le Royaume Uni, revue X,Y,Z de l'A.F.T., 46, P. 7-8, Février 1991.
- [13] C.E. Calvert, The difference in height between the French and the British levelling datums, 3ème Conférence Internationale sur la Topographie (CITOP), Paris Londres, Décembre 1994.

## ANNEXE 1 - SIGLES ET ABBREVIATIONS

|        |   |
|--------|---|
| AIG    | Association Internationale de Géodésie                                      |
| CEN    | Comité Européen de Normalisation  |
| CTG86  | Channel Tunnel Grid 1986  |
| DORIS  | Détermination d'Orbite et Radiopositionnement Intégré sur Satellite         |
| ED50   | Europe Datum 1950   |
| ED79   | Europe Datum 1979   |
| ED87   | Europe Datum 1987   |
| ETRS89 | European Terrestrial Reference System 1989                                  |
| EUREF  | Européen Reference Frame  |
| GDVS   | Géodésie par mesures de Distances et Variations de distances sur Satellites |
| GPS    | Global Positioning System   |
| IERS   | International Earth Rotation Service  |
| IGN    | Institut Géographique National  |
| IGN69  | Réseau de nivellement IGN 1969  |
| ITRF   | International Terrestrial Reference Frame                                   |
| ITRS   | International Terrestrial Reference System                                  |
| NOTAS  | NortechVector Adjustment Software   |
| NTF    | Nouvelle Triangulation de la France   |
| ODN    | Ordnance Survey Datum Network   |
| OSGB   | Ordnance Survey of Great Britain  |
| RETRIG | Réseaux Européens de Triangulation  |
| REUN   | Réseaux Européen de Nivellement   |
| RGF    | Réseau Géodésique Français  |
| RTM87  | Réseau Trans-Manche 1987  |
| TML    | Trans-Manche Link   |
| UENL   | Unified European Levelling Network  |
| VLBI   | Very Long Baseline Interferometry   |
| WGS72  | World Geodetic System 1972  |
| WGS84  | World Geodetic System 1984  |

## MÉTHODES GÉODÉSIQUES ET MODELES MATHÉMATIQUES POUR L'IMPLANTATION DES NOUVELLES TRANSVERSALES ALPINES

A. Carosio, O. Reis  
IGP EPF Zurich, Suisse

### ABSTRACT \*

*In connection with the drilling of a new 57km long St Gothard tunnel forming the backbone of a planned new trans-Alpine rail link, the Swiss Federal Railways instructed the Swiss Federal Institute of Technology Zurich to make studies of mathematical models for the definition of quality of the geodetic work required. The simulation computations have enabled tests of the levels of precision, and especially of reliability, offered by a reference network whose underground portion has been given particular attention. Because of the length of the tunnel, gyroscopic observations are required in addition to conventional methods. However, in a mountainous area such as the St Gothard range, the effects of variations in the earth's gravity field are not negligible. Experiments have been carried out on the effects of such variations on gyroscopic azimuths. The accuracy with which these can be integrated into the network simulations has been deduced and the corresponding calculations have been done. The results are briefly presented.*

(\*)The english version of this paper is also available and can be obtained from our institute.



### 1. LES NOUVELLES LIGNES FERROVIAIRES ALPINES

#### 1.1 Aperçu général

De par sa position géographique, la Suisse est une importante plaque tournante des transports et un pays de transit au cœur de l'Europe. Elle est donc touchée de plein fouet par l'augmentation du trafic international (doublement prévu à l'horizon 2020). Afin d'éviter la saturation d'un réseau déjà actuellement surchargé et pour maintenir les nuisances qui lui sont inhérentes (bruit, gaz d'échappement, ...) à un niveau encore tolérable, la Suisse a décidé de lancer le projet de "nouvelles lignes ferroviaires à travers les Alpes" [1]. Deux tunnels de base passant sous le St-Gothard (long de 57 km) et le Lötschberg (long d'environ 30 km) en constituent l'épine dorsale. Leur réalisation permettra de ramener la durée du parcours Bâle-Milan à 3 heures [2].

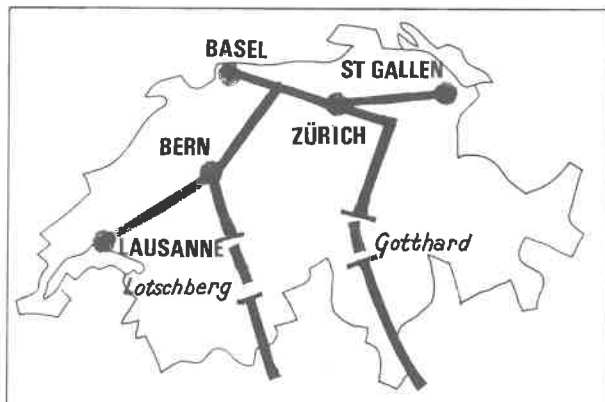


Fig. 1 - Représentation schématique des nouvelles lignes ferroviaires à travers les Alpes [2]

#### 1.2 Le tunnel de base du St-Gothard

Le tunnel ferroviaire existant, long de 15 km, fut creusé il y a un siècle, à plus de 1100 m d'altitude. La densité du trafic ayant considérablement augmenté depuis lors, cet ouvrage est proche de la saturation. De plus, les longues rampes d'accès nécessaires pour atteindre l'altitude du tunnel ralentissent le trafic. C'est pourquoi le percement d'un nouveau tunnel de base est devenu indispensable. Il sera percé à une altitude telle (environ 500 m) qu'elle ne nécessite pas de rampes d'accès, aura de ce fait une longueur de 57 km et impliquera le forage de puits d'aération de 800 m de profondeur. Cet ouvrage étant de loin le plus ambitieux de tout le projet, une attention toute particulière lui est dévolue. Les Chemins de Fer Fédéraux (CFF), maîtres d'œuvre du projet, ont ainsi décidé la formation de groupes de travail, par disciplines techniques, chacun étudiant pour son domaine spécifique les difficultés liées à la réalisation d'un tel ouvrage et les moyens de les surmonter. Un groupe de travail géodésie fut ainsi mis en place.

#### 1.3 Les travaux menés dans le cadre du rapport d'avant-projet

Le groupe de travail géodésie avait pour but de fixer le cadre technique et organisationnel dans lequel doivent s'effectuer les travaux topographiques. Il a pour cela recensé les travaux à exécuter et étudié les moyens de les mener à bien, permettant ainsi de localiser les points critiques requérant un examen plus approfondi. Il a aussi procédé à une analyse globale sous forme d'une simulation de réseau pour établir les exigences que les offres des entreprises contractantes devront satisfaire, les méthodes géodésiques à employer étant cependant laissées à la libre appréciation des entrepreneurs. Ces travaux, confiés à notre institut du fait de la participation du prof. Dr. A. Carosio au groupe de travail géodésie, sont décrits dans le rapport d'avant-projet, document de base pour la mise au concours des travaux topographiques.

Les études menées se concentrent sur les modèles mathématiques à appliquer pour définir la qualité des

méthodes géodésiques à mettre en œuvre. Le calcul de simulation global a ainsi permis de tester les niveaux de précision et de fiabilité offerts par un réseau de référence. Le second paragraphe, après une brève présentation du modèle de calcul, détaille les indicateurs utilisés, de précision et surtout de fiabilité, et présente les considérations ayant prévalu lors de la modélisation du réseau. Celle-ci, pour le réseau souterrain, ne peut faire appel qu'aux méthodes de mesure conventionnelles, appuyées par des mesures gyroscopiques rendues indispensables par la longueur du tunnel. Dans une zone montagneuse telle que le massif du St Gothard, l'influence du champ de pesanteur terrestre, irrégulièrement variable, ne peut être négligée. L'étude expérimentale menée sur l'impact de cette influence sur les gisements gyroscopiques fait l'objet du troisième paragraphe, dont la précision à laquelle ces derniers peuvent être intégrés à la simulation se déduit ; enfin, les résultats de ces calculs sont présentés au quatrième paragraphe.

## 2. MODELE MATHEMATIQUE DU CALCUL DE SIMULATION

### 2.1 Qu'entend-on par simulation de réseau ?

Quand un réseau a une configuration complexe et qu'il nécessite différents types de mesures, le simple bon sens ne peut permettre seul d'apprécier la suffisance des moyens qui doivent être mis en œuvre pour garantir les précisions demandées [3]. Pour le suppléer, on dispose d'outils mathématiques et statistiques permettant d'étudier différentes configurations possibles pour le réseau. On peut alors comparativement en analyser les résultats, desquels se dégagera le meilleur compromis possible entre les buts à atteindre et les moyens d'y parvenir.

### 2.2 Modèle de calcul

Un calcul de simulation se passe avant que la moindre observation n'ait été effectuée sur le terrain. Il nécessite un outil de calcul adéquat tel qu'un logiciel de compensation. Celui utilisé, LTOP, de l'Office fédéral de topographie (Bern) se base sur la méthode des observations médiates et traite séparément planimétrie et altimétrie. Certaines parties du logiciel, dont la fiabilité, furent développées à notre institut. Pour exécuter le calcul, limité à la planimétrie, le logiciel doit disposer d'informations relatives aux modèles fonctionnels et stochastiques envisagés.

#### 2.2.1 Le modèle fonctionnel

Les renseignements suivants sont nécessaires pour former la matrice des coefficients des équations aux erreurs (notée A) :

- le statut de chaque point du réseau (fixe ou nouveau)
- les coordonnées approchées de ces points
- les mesures prévues et leur type

Concernant celles-ci, une combinaison quelconque des types suivants doit être possible :

- directions
- distances
- coordonnées GPS (devenues la base du réseau de référence extérieur)
- azimuts astronomiques
- mesures gyroscopiques (selon la longueur du tunnel ou en cas de départ de galerie depuis un puits)

Les coordonnées GPS sont traitées, pour ce qui est de la planimétrie dans LTOP, par la méthode des séries de coordonnées [4]. Les mesures gyroscopiques sont, du point de vue physique, équivalentes aux azimuts astronomiques. Il est tenu compte dans le modèle de la présence d'une correction d'addition inconnue de l'instrument et d'une distorsion locale du système de coordonnées, sous forme d'une inconnue d'orientation Z, commune à toutes les mesures d'une même période.

#### 2.2.2 Le modèle stochastique

Pour former la matrice des poids (notée P), il faut estimer la précision à laquelle les observations seront faites. Le calcul de simulation est tributaire de la qualité de cette estimation, qui ne pose aucun problème pour les directions et les distances. Dans le cas de coordonnées GPS, elle est fonction de la durée d'observation, de l'extension du réseau et, ce qui est inhabituel, de la méthode de calcul utilisée dans les prétraitements. Un procédé approprié permet d'atteindre une précision centimétrique en planimétrie pour des distances allant jusqu'à 100 km, millimétrique localement (1 km). L'estimation de la précision des mesures gyroscopiques fera l'objet d'un développement ultérieur plus complet.

### 2.3 Les indicateurs de précision

La précision est caractérisée par un écart type ou dans le cas d'une variable à 2 dimensions (point de coordonnées Y, X) par une ellipse d'erreur. Cette dernière est définie par la connaissance de son demi grand-axe a, de son demi petit-axe b et du gisement  $\omega$  du grand-axe, dont les formules bien connues (cf. [5] par exemple) ne font intervenir que  $\sigma_0$ , écart type de l'unité de poids et les éléments  $q_{xx}$ ,  $q_{xy}$  et  $q_{yy}$  de la matrice des cofacteurs des inconnues (notée  $Q_{xx}$ ) pour le point correspondant, où :

$$Q_{xx} = (A^T P A)^{-1} \quad (1)$$

Dans le cas d'ellipses d'erreur relatives, entre par exemple 2 points  $P_1$  et  $P_2$ , tels que :

$$\Delta x = x_2 - x_1 \quad (2)$$

$$\Delta y = y_2 - y_1 \quad (3)$$

il faut remplacer x par  $\Delta x$  et y par  $\Delta y$  dans les formules de calcul selon :

$$q_{\Delta x \Delta x} = q_{x_1 x_1} - 2 q_{x_1 x_2} + q_{x_2 x_2} \quad (4)$$

$$q_{\Delta y \Delta y} = q_{y_1 y_1} - 2 q_{y_1 y_2} + q_{y_2 y_2} \quad (5)$$

$$q_{\Delta x \Delta y} = q_{x_1 y_1} - q_{y_1 x_2} - q_{x_1 y_2} + q_{x_2 y_2} \quad (6)$$

### 2.4 Les indicateurs de fiabilité

Un réseau est considéré comme fiable s'il permet la détection de fautes grossières éventuelles avec une probabilité suffisante ou, en d'autres termes, si les fautes non détectées sont assez petites pour n'avoir aucune influence préjudiciable. Les travaux du professeur hollandais W. Baarda, basés sur la statistique mathématique, ont ouvert la voie à une quantification de la fiabilité, grâce à un certain nombre d'indicateurs également calculés par le logiciel LTOP [6].

#### 2.4.1 La fiabilité interne

Elle concerne les observations proprement dites et s'analyse, dans le cadre d'une simulation à l'aide des indicateurs suivants :



■ l'indicateur de fiabilité locale ou redondance partielle  $z_i$ , indiquant la participation de la mesure concernée à la surdétermination du réseau, mathématiquement exprimée par [7] :

$$z = \frac{q_{vv}^{(ii)}}{q_{ii}^{(ii)}} \quad (7)$$

où  $z_i$  est l'indicateur de fiabilité locale pour la  $i^{\text{ème}}$  observation

$q_{vv}^{(ii)}$  est le  $i^{\text{ème}}$  élément diagonale de la matrice des cofacteurs des erreurs résiduelles,  $Q_{vv} = Q_{ii} - A Q_{xx} A^T$

$q_{ii}^{(ii)}$  est le même élément de la matrice des cofacteurs des observations,  $Q_{ii}$  inverse de la matrice des poids P

$z_i$  peut varier de 0 à 1 (ou de 0 à 100%),  $z_i = 0$  indique le cas d'une observation non contrôlée,  $z_i = 0.5$  celui d'une double mesure et  $z_i = 1$  celui d'une mesure infiniment bien contrôlée [7].

■ la faute limite  $\nabla_{li}$  de chaque observation. Sa détermination suppose la connaissance préalable des éléments suivants (cf. aussi [5], [7]) :

- le test statistique et la méthode prévus pour le contrôle des résultats.

- la valeur limite  $w_{\max}$  de  $w_i$  (erreur résiduelle normée, rapport du résidu à son écart type cf. [5], [7]), au-delà de laquelle la probabilité qu'il y ait une faute est suffisamment grande pour pouvoir rejeter le test (ex.  $w_{\max} = 2.5$  correspond à une erreur de 1<sup>er</sup> type  $\alpha = 1\%$  pour un degré de liberté = 1). L'erreur de 1<sup>er</sup> type  $\alpha$  est la probabilité de rejeter  $H_0$  (hypothèse selon laquelle l'observation  $i$  ne contient pas de faute grossière) quand elle est juste.

- l'erreur de 2<sup>ème</sup> type est la probabilité  $\beta$  d'accepter  $H_0$  à tort, en présence d'une erreur dépassant la valeur limite fixée.

Les relations entre ces différents éléments sont représentées à la figure 2.

On peut dès lors définir  $\nabla_{li}$ , exprimant la plus petite faute grossière que l'on peut encore détecter tout en admettant de courir un risque de  $\beta\%$  de ne pas la déceler [7]. De la Fig. 2, on a :

$$\delta = w_{\max} + d \quad (8)$$

$$\nabla_{li} = \frac{\sigma_{vi}}{z_i} \cdot \delta = \frac{\sigma_{vi}}{\sqrt{z_i}} \cdot \delta \quad (9)$$

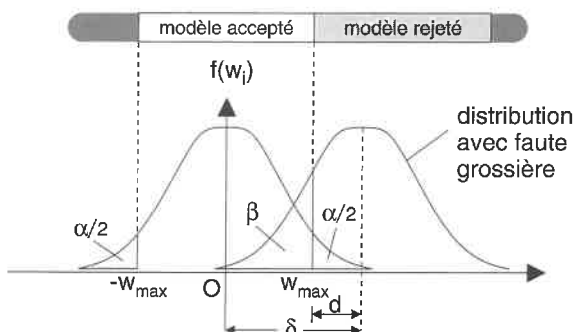


Fig. 2 - Domaines d'acceptation et de rejet du modèle

## 2.4.2 La fiabilité externe

Sous l'hypothèse qu'il n'existe qu'une seule faute, on peut déterminer l'influence d'une faute  $\nabla_{li}$  sur les coordonnées de chaque point nouveau du réseau. En effet, dans le

cas de la méthode des observations médiates, les inconnues s'expriment sous la forme vectorielle :

$$x = (A^T P A)^{-1} \cdot A^T P \cdot l \quad (10)$$

où  $x$  est le vecteur des inconnues et  $l$  celui des observations

Si l'on remplace  $l$  par le vecteur  $\nabla_{li}$  composé d'éléments nuls sauf le  $i^{\text{ème}}$  terme, l'influence de cette faute limite sur les coordonnées des nouveaux points du réseau s'exprimera par :

$$N = (A^T P A)^{-1} \cdot A^T P \cdot \nabla_{li} \quad (11)$$

Le vecteur déplacement en chaque point se déduit alors des informations contenues dans le vecteur  $N$ , à savoir  $\nabla_x$  et  $\nabla_y$  en chaque point nouveau. En répétant le même processus pour chacun des  $(n-1)$   $\nabla_{li}$  restants, on obtient un faisceau de  $n$  vecteurs en chaque point nouveau.

Il est possible également de déterminer l'influence d'une faute grossière  $\nabla_{li}$  sur la position relative de 2 points. Il suffit pour cela de combiner les informations du vecteur  $N$  pour ces 2 points, relatives à chaque fois à la même faute grossière  $\nabla_{li}$ . Il en résultera un faisceau de  $n$  vecteurs relatifs à la différence de coordonnées entre ces 2 points. Cette possibilité supplémentaire a été développée dans le cadre du calcul de simulation et intégrée à LTOP.

Pour faciliter la lisibilité de la représentation graphique de cet indicateur de fiabilité, le faisceau de vecteurs (rapporté à un point ou à la position relative de 2 points) est figuré par un rectangle orienté. On désigne alors par  $N_A$  le vecteur ayant la plus grande norme et par  $N_B$  la plus grande composante perpendiculaire à  $N_A$ . Le gisement du vecteur  $N_A$  fournit l'orientation du rectangle, indépendante de l'orientation du système de coordonnées dans lequel on travaille.

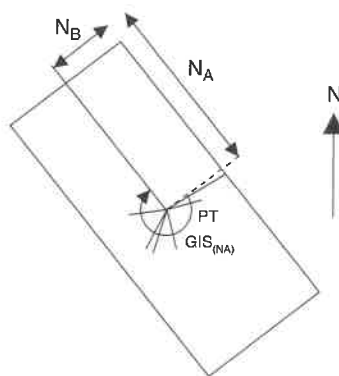


Fig. 3 - Représentation graphique des rectangles de fiabilité

## 2.5 Le calcul de simulation appliqué à la détermination de l'erreur de percement d'un tunnel

### 2.5.1 Définition de l'erreur de percement

L'erreur effective de percement est la contradiction qui apparaît lorsqu'on calcule séparément et à partir de chaque extrémité du tunnel la position du point de jonction [8]. On peut la décomposer selon :

- une composante verticale, suivant la verticale du lieu
- une composante longitudinale, le long de l'axe du tunnel
- une composante transversale, perpendiculairement à l'axe du tunnel

La composante verticale ne sera pas traitée dans le

cadre de cet article (cf. §2.2). Il ne sera question que de la planimétrie et plus particulièrement de la composante transversale.

## 2.5.2 critères de précision et de fiabilité

L'erreur de percement est une grandeur calculable a posteriori à partir des mesures effectives. La valeur ainsi obtenue n'est en fait qu'une réalisation particulière de la variable aléatoire "erreur de percement", pour laquelle précision et fiabilité doivent être déterminées.

Dans le cas de la précision, l'ellipse d'erreur relative entre deux points coïncidant (le point de jonction défini tel qu'en 2.5.1) est indépendante du référentiel et du positionnement choisis [7] et peut être déterminée par LTOP. Les écarts types sur les écarts longitudinaux et surtout transversaux s'en déduisent alors simplement [9], [10]. Dans le cas de la fiabilité, l'influence d'une faute  $\nabla_{ij}$  sur la différence de coordonnées entre les 2 points à la jonction est indépendante du positionnement choisi [11].

## 2.5.3 Modélisation du réseau souterrain

Le dispositif de mesure retenu se déduit d'une part des objectifs à atteindre (précision et fiabilité) et d'autre part des contraintes inhérentes à l'exiguïté d'un tunnel. Les premiers imposent de mettre en place un réseau garantissant un niveau de contrôle suffisant, donc une surdétermination, les secondes ne laissent que peu d'alternatives quant aux moyens d'y parvenir. Dans [12], 4 solutions sont proposées, dérivant toutes de manière plus ou moins complexe d'un cheminement polygonal. Elles sont représentées à la figure 4.

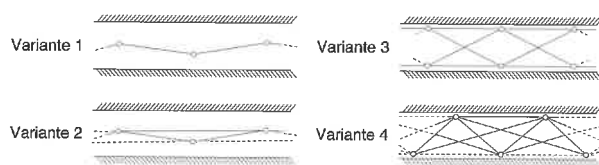


Fig. 4 - exemples de solutions possibles pour le réseau souterrain [12].

S'ils permettent de garantir un contrôle interne du réseau satisfaisant, ces dispositifs sont insuffisants en matière de précision, dès lors que le tunnel prévu dépasse une certaine longueur. En effet, si l'on considère un cheminement polygonal simple, on peut établir la relation [9], [10] :

$$t_x = t_0 + \sum_{i=1}^x \beta_i - (x - 1) \cdot 200''$$

où  $t_x$  est la direction du  $x^{\text{ème}}$  côté du cheminement polygonal ;  $t_0$  est la direction initiale d'orientation ;  $\beta_i$  est le  $i^{\text{ème}}$  angle du cheminement

Par application de la loi de propagation des erreurs, il en découle la relation suivante concevant les écarts types, fonction linéaire de  $x$  :

$$\sigma_x^2 = \sigma_0^2 + x \cdot \sigma_\beta^2 \quad (13)$$

Pour atténuer l'influence de  $x$ , on complète le réseau par des déterminations indépendantes de gisements à l'aide d'un gyroscope, dont l'emploi se justifie à partir du moment où :

$$\sigma_{\text{gyro}} \leq \sigma_x \quad (14)$$

donc, au niveau du nombre des côtés du cheminement, lorsque :

$$x \geq \frac{\sigma_{\text{gyro}}^2 - \sigma_0^2}{\sigma_\beta^2} \quad (15)$$

D'après [12], un dispositif tel que celui de la variante 2

(cf. Fig. 4) renforcé par des mesures gyroscopiques assure un niveau de précision et de fiabilité satisfaisants, le surcroît de travail inhérent à la complexité des variantes 3 et 4 n'est pas en rapport avec le gain de précision qu'elles entraînent. Elles impliquent de plus l'utilisation de consoles murales, faisant intervenir le problème de la réfraction, évité si les points sont situés au centre du tunnel (variante 2).

L'efficacité de ce dispositif repose toutefois sur une utilisation optimale du gyroscope, ce qui implique que toutes les erreurs possibles, autres qu'aléatoires, soient préalablement éliminées. L'influence du champ de pesanteur terrestre irrégulièrement variable (déviation de la verticale) mérite de ce point de vue une attention toute particulière dans une zone aussi sensible que le massif du St-Gothard. C'est pourquoi l'étude expérimentale menée dans cette zone avec le Gyromat 2000 de Deutsche Montan Technologie, Bochum (temps de mesure : 8 minutes, précision nominale :  $7''$ ) acquis par notre institut fait l'objet du prochain paragraphe.

## 3. MESURES GYROSCOPIQUES ET DÉVIATION DE LA VERTICALE

### 3.1 Traitement des mesures gyroscopiques

Comme déjà mentionné au §2.2.1, les mesures gyroscopiques sont équivalentes à des azimuts astronomiques. Les calculs de compensation étant effectués dans le système de projection national, les réductions suivantes permettent de passer aux gisements en projection [13] :

- la correction du mouvement du pôle (pôle actuel -> pôle CIO, Conventional International Origin)
- la réduction à la corde
- la convergence des méridiens
- les corrections instrumentales (étalonnage, température) et l'inconnue d'orientation (cf. 2.2.1)
- la correction de la déviation de la verticale

Les précisions suivantes peuvent être apportées, concernant ces réductions :

- la correction due au mouvement du pôle est suffisamment faible pour qu'on puisse la négliger (inférieure à  $1''$ ).
- la convergence des méridiens et la réduction à la corde se font par l'intermédiaire de formules de calcul propres à la projection considérée ; elles peuvent donc toujours être déterminées à une précision suffisante. La réduction à la corde est par ailleurs négligeable pour de courtes distances.
- les corrections d'étalonnage et de température sont automatiquement apportées aux mesures par l'instrument, le domaine de correction de l'inconnue d'orientation a déjà été décrit au §2.2.1. Les éventuelles corrections résiduelles doivent alors être suffisamment petites pour être négligées, ce qui demande évidemment à être prouvé.

• la déviation de la verticale est l'angle entre la verticale du lieu et la normale à l'ellipsoïde de référence. L'application de cette correction permet de passer d'un azimut astronomique à un azimut géodésique, selon :

$$A = \alpha - \eta \tan \varphi - (\xi \cdot \sin \alpha - \eta \cdot \cos \alpha) \cdot \cotg z \quad (16)$$

où  $\alpha$  est l'azimut astronomique

$A$  est l'azimut géodésique

$\eta$  est la composante Est-Ouest de la déviation de la verticale

$\xi$  est la composante Nord-Sud de la déviation de la verticale

$\varphi$  est la latitude géographique

$z$  est la distance zénithale vers le point visé

Dans le cas d'un tunnel, où les visées sont quasiment horizontales,  $\text{ctg } z \approx 0$ , (16) se simplifie donc selon :

$$A \approx \alpha - \eta \tan \varphi \quad (17)$$

La correction à apporter à l'azimut devient de ce fait indépendante de l'azimut lui-même et ne dépend plus que de la composante Est-Ouest de la déviation de la verticale et de la latitude géographique. En Suisse, cette dernière varie entre  $45^\circ$  et  $48^\circ$ , donc  $1.00 < \tan \varphi < 1.11$ . La correction de la déviation de la verticale est donc de l'ordre de grandeur de sa composante Est-Ouest, qui dans les Alpes, peut présenter des variations importantes ( $30''$ , voire davantage).

Outre la précision de la mesure gyroscopique elle-même, c'est la précision à laquelle la composante Est-Ouest de la déviation de la verticale peut être définie qui est déterminante, les autres corrections à apporter pouvant soit être négligées, soit calculées, donc toujours obtenues à un niveau de précision suffisant.

### 3.2 La détermination des composantes de la déviation de la verticale

Elle peut s'effectuer à une précision de  $3''$ , voire mieux, par comparaison des coordonnées astronomiques et des coordonnées géodésiques du point considéré (détermination de la latitude et de la longitude astronomiques du point au moyen d'un théodolite ou d'une caméra zénithale) selon :

$$\varphi_A - \varphi_G = \xi \quad (18)$$

$$(\lambda_A - \lambda_G) \cos \varphi = \eta \quad (19)$$

Cela suppose cependant que des mesures astronomiques puissent être effectuées au point considéré, ce qui est évidemment impossible dans un tunnel, où la connaissance de  $\eta$  est néanmoins indispensable à la réduction des mesures gyroscopiques. La seule alternative possible est donc d'utiliser un modèle mathématique pour la calculer. La Suisse dispose d'un modèle astro-géodésique du géoïde depuis 1978, fournissant, entre autres informations, les composantes de la déviation de la verticale en n'importe quel point du pays (y compris sous terre), avec un écart type de  $3''$  en surface. La modélisation se fait grâce à un modèle numérique de terrain à mailles de 500 m pour la topographie, tient compte de la discontinuité de Mohorovic entre le manteau et la croûte terrestre, de la lithosphère et de la masse très dense du corps d'Ivrea. L'écart entre composantes calculées et mesurées par voie astronomique est connu pour une centaine de points, ce qui permet d'améliorer considérablement le modèle.

### 3.3 Les travaux de recherche menés par l'EPF Zurich

La campagne de mesure menée par l'EPF Zurich au cours de l'été 1992 a permis de tester la précision effective des mesures gyroscopiques (et de leur réduction dans le système de projection) pour s'assurer de la validité des hypothèses formulées dans le cadre des calculs de simulation. Celles-ci ne sont correctes que si la précision effective de l'instrument correspond aux indications fournies par le constructeur, que si les composantes de la déviation de la verticale calculées à l'aide du modèle du géoïde sont d'une précision suffisante (y compris sous terre) et que si les influences restantes non prises en compte sont effectivement négligeables.

A cette fin, 2 cheminements polygonaux, renforcés par des mesures gyroscopiques, ont été mesurés dans la région du St-Gothard. Le premier simule un réseau de tunnel à ciel ouvert sur une longueur de 8.6 km, alors que le second, de 7.9 km de longueur, a été mesuré dans le tunnel de service du tunnel routier du St-Gothard. Une description complète de ces travaux et des résultats qu'ils ont permis d'atteindre peut être trouvée dans [14]. Nous nous contenterons ici d'indiquer la démarche suivie :

- détermination de tout ou partie des points du cheminement par des mesures indépendantes (GPS, rattachement à un réseau existant,...) pour obtenir des coordonnées de référence de ces points.

- calcul du cheminement proprement dit de 4 manières différentes :

1. - **sans** mesures gyroscopiques et **sans** correction de la déviation de la verticale

2. - **sans** mesures gyroscopiques et **avec** correction de la déviation de la verticale

3. - **avec** mesures gyroscopiques et **sans** correction de la déviation de la verticale

4. - **avec** mesures gyroscopiques et **avec** correction de la déviation de la verticale

- comparaison de ces 4 déterminations sur la base des critères suivants :

- test du modèle, précisions à priori-à posteriori pour les différents types de mesures

- différence de coordonnées aux points communs cheminement-réseau de référence

- précision de la détermination des coordonnées

De cette comparaison pour les 2 cheminements, il ressort clairement que le calcul 4 fournit les meilleurs résultats alors que le calcul 3 conduit aux plus mauvais, particulièrement en ce qui consomma les différences de coordonnées entre points communs cheminement-réseau de référence. Les figures 5 et 6 en fournissent l'illustration.

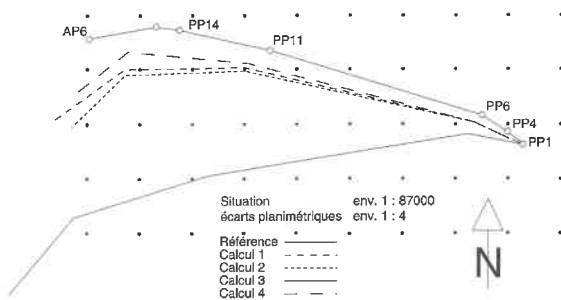


Fig. 5 - Différences de coordonnées pour le tunnel simulé à ciel ouvert

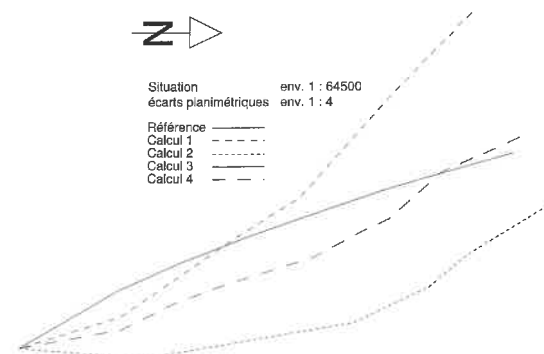


Fig. 6 - Différences de coordonnées pour le réseau du tunnel de service du tunnel routier du St-Gothard

Compte-tenu des précisions atteintes dans la détermination des points, les différences de coordonnées constatées pour les calculs 1, 2 et 4 par rapport à la référence ne sont pas significatives, celles constatées pour le calcul 3 le sont ; deux remarques s'en déduisent :

- la non prise en compte de la déviation de la verticale conduit évidemment à des résultats faux, ce qui incite à penser qu'il vaut mieux s'abstenir d'adjoindre des mesures gyroscopiques au réseau si celles-ci n'ont pas au préalable été corrigées de l'influence de la déviation de la verticale. Cette remarque ne peut cependant s'appliquer qu'aux 2 réseaux calculés, où la déviation de la verticale est variable.

- l'hypothèse selon laquelle les composantes de la déviation de la verticale peuvent également être obtenues pour des points situés sous terre et à une précision suffisante avec le modèle de calcul utilisé est ici confirmée. Cette remarque ne peut cependant s'appliquer qu'au réseau du tunnel de service du tunnel routier du St-Gothard, sa généralisation devrait faire l'objet d'une étude plus approfondie.

Le gain de précision entraîné par les mesures gyroscopiques est considérable. Pour le dernier point du premier cheminement, le demi grand-axe de l'ellipse d'erreur atteint 1, 34 mm pour le calcul 2, 33 mm pour le calcul 4. Pour le dernier point du second cheminement, ces valeurs atteignent 275 mm pour le calcul 1, 40 mm pour le calcul 3. La nécessité de renforcer le cheminement par des mesures gyroscopiques est ainsi justifiée.

La comparaison des précisions estimées a priori et obtenues a posteriori, confirme la valeur de  $7''$  pour les mesures gyroscopiques. En effet, l'estimation a priori était de  $8''$  (donnée par  $7''$  pour la mesure elle-même et  $3''$  pour la composante Est-Ouest de la déviation de la verticale, cf. 3.2) ; pour le premier cheminement et pour le calcul 4, la valeur a posteriori était de  $7''$ , pour le second cheminement et pour le calcul 4, la valeur a posteriori était de  $5''$ . Le calcul prendra donc une valeur de  $7''$  en compte, ses résultats font l'objet du prochain paragraphe.

## 4. RÉSULTATS DU CALCUL DE SIMULATION

### 4.1 Tracé de la ligne de base

Le calcul de simulation a été effectué début 1992, alors que le tracé définitif du tunnel n'était pas encore fixé. Diverses solutions étaient alors envisagées (décrites dans [15]) et l'une d'entre elles a servi de base au calcul (variante 2, cf. Fig. 7). La profondeur des puits de Tujetsch I et II est d'environ 800 m, celle du puits de Polmengo d'environ 300 m. Il est prévu de creuser une galerie de sondage à partir de Polmengo pour localiser l'endroit le plus favorable pour traverser la couche de la Piora-Mulde, de percement très délicat. De plus amples informations relatives au tracé figurent dans [16].

### 4.2 Le réseau

Limité à la planimétrie (cf. 2.2), il regroupe le réseau de surface, datant du début des années 70 et en partie contrôlé en 1992 (cf. [17]), le réseau souterrain et la liaison entre les deux. Le réseau de surface ayant été conçu pour une autre variante du projet, une densification dans les secteurs des portails et des puits devra être entreprise. Pour la simula-

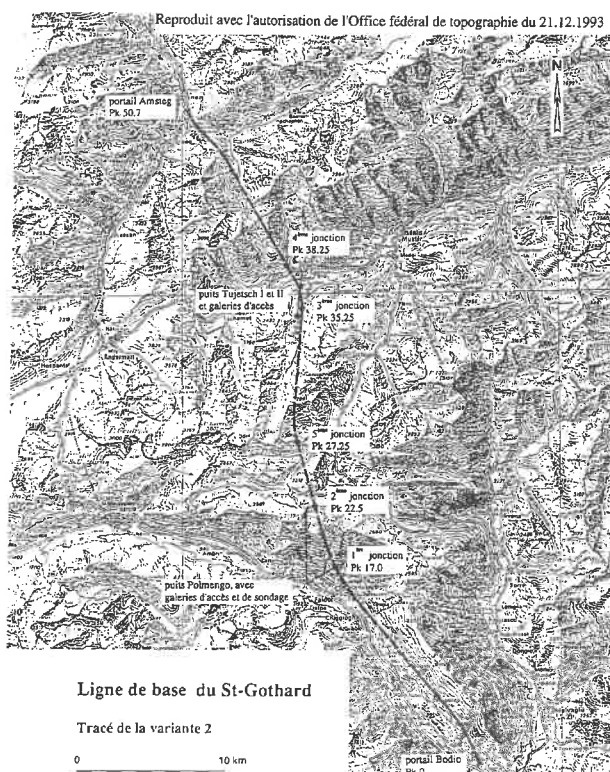


Fig. 7 - Tracé de la variante 2 et points de jonction prévus

tion, la liaison est figurée par des visées directes entre le point du portail (ou du puits) et les 3 ou 4 points du réseau de surface les plus proches. Des mesures GPS, sur à chaque fois deux de ces points sont prévues en complément. Le réseau souterrain couvre le tunnel, les galeries d'accès et les puits, conformément au modèle du § 2.5.3. La distance entre points consécutifs est de 500 m en ligne droite, de 250 m dans les courbes. Des mesures gyroscopiques, toutes les 8 stations vers le point précédent et le point suivant renforcent le dispositif. La liaison entre les niveaux inférieurs et supérieurs des puits est simulée par des différences de coordonnées (suivant les deux axes du repère) entre leurs centres respectifs. La méthode par laquelle cette liaison sera assurée en pratique n'est pas encore définie ; des études sont en cours. L'orientation au niveau inférieur est fourni par les seuls mesures gyroscopiques.

### 4.3 Conditions de calcul

5 tronçons (voir Fig. 7) ont été définis à partir du calendrier prévisionnel de percement (cf. [16]). Un calcul séparé a été effectué pour chacun d'entre eux, tenant compte de toutes les mesures faites jusque'à la date de la jonction.

En fixant le PK 0 au portail sud (Bodio), on a défini :

- **tronçon 1 :** BODIO - POLMENGO, jonction au PK 17
- **tronçon 2 :** POLMENGO - PIORA-MULDE, jonction au PK 22.5
- **tronçon 3 :** TUJETSCH I - TUJETSCH II, jonction au PK 35.25
- **tronçon 4 :** AMSTEG - TUJETSCH I, jonction au PK 38.25
- **tronçon 5 :** TUJETSCH II - PIORA-MULDE, jonction au PK 27.25

Les 5 réseaux calculés sont des réseaux libres (un point fixe et un gisement). Les autres points sont tous nouveaux,



déterminés par des observations des types suivants, aux précisions indiquées :

- directions 3<sup>cc</sup>
- mesures gyroscopiques 7<sup>cc</sup>
- distances 2 mm + 2 mm / km
- différences de coordonnées 10 mm pour une profondeur d'environ 500m  
(descente de base dans les puits)
- mesures GPS 10 mm

Les tests statistiques et la détermination des rectangles de fiabilité se font sur la base de valeurs de 2.5 pour l'erreur résiduelle normée  $w_i$  et de 1% pour l'erreur de 2<sup>ème</sup> type  $\beta$ . La déviation de la verticale, est intégrée dans LTOP sous forme d'une correction à apporter aux observations, donc à caractère systématique. Elle ne peut effectivement s'effectuer qu'à posteriori. La préanalyses ne prenant en compte que les erreurs aléatoires, fait l'hypothèse que cette correction a déjà été apportée aux observations concernées (cf. aussi § 3).

## 4.4 Valeurs à respecter

- 10 cm pour l'écart-type de l'erreur de percement (composante transversale). Sur le tronçon le plus long (17 km) cela correspond à 5.8 mm par km de tunnel percé, soit un peu plus que la valeur fixée pour le tunnel sous la Manche (4.4 mm par km de tunnel percé, cf. [18]).

- 25 cm pour la demi-longueur d'un rectangle de fiabilité (absolu pour un point du réseau souterrain ou relatif pour la jonction).

## 4.5 Résultats

Les résultats, tronçon par tronçon, des calculs effectués sont rassemblés dans le tableau 1 où NA et NB sont les dimensions du rectangle (demi-longueur, demi-largeur), GIS(NA) le gisement de la direction NA et MFA, MFB, GIS(MFA) les éléments caractéristiques de l'ellipse d'erreur relative à la jonction.

| Tronçon                   | NA<br>(mm) | NB<br>(mm) | GIS<br>(NA)        | MFA<br>(mm) | MFB<br>(mm) | GIS<br>MFA        |
|---------------------------|------------|------------|--------------------|-------------|-------------|-------------------|
| Bodio-Polmengo            | 231.8      | 171.9      | 253.8 <sup>a</sup> | 91.9        | 24.1        | 54.3 <sup>a</sup> |
| Polmengo-Piora            | 203.1      | 161.6      | 0.0                | 58.3        | 17.4        | 94.6              |
| Tujetsch I<br>Tujetsch II | 68.3       | 68.3       | 100.0              | 24.0        | 19.7        | 93.2              |
| Tujetsch I<br>Amsteg      | 152.7      | 26.1       | 256.5              | 83.6        | 16.8        | 65.6              |
| Piora<br>Tujetsch II      | 155.5      | 19.9       | 95.5               | 83.2        | 16.5        | 95.2              |

Tableau 1- Résultats des calculs de simulation

Les calculs de simulation effectués ont eu pour but principal de prouver que les limites fixées au §4.4, tant en ce qui concerne les écarts types que les indicateurs de fiabilité, pouvaient être partout respectées pour le réseau de référence envisagé. Cet objectif a été partout atteint, le premier tronçon, le plus long, s'avérant à cet égard le plus critique.

## 5. CONCLUSION

Les calculs de simulation effectués, l'étude relative à l'influence de la déviation de la verticale sur les mesures gyroscopiques, ainsi que d'autres études dont il n'a pas été question dans le présent article, ont permis d'établir les exi-

gences que les entreprises en charge des travaux topographiques du tunnel de base du St-Gothard auront à respecter et leur fournissent des indications quant aux moyens d'y parvenir, libre à eux d'en tenir compte ou pas. Ils devront en tous les cas fournir la preuve que les méthodes qu'ils préconisent permettent d'atteindre les objectifs fixés, et ceci assez rapidement ; la procédure de mise au concours des travaux topographiques pour le projet de "nouvelles lignes ferroviaires à travers les Alpes" a en effet été lancée au courant du mois de septembre, le début des travaux effectifs de percement étant prévu pour le courant de l'année 1996.

## Bibliographie

- [1] collectif NLFA: nouvelle ligne ferroviaire à travers les Alpes publié par le Département fédéral des transports, des communications et de l'énergie, juillet 1992
- [2] collectif AlpTransit publié par le Département fédéral des transports, des communications et de l'énergie, mai 1990
- [3] M. Mayoud Métrologie géodésique des grands accélérateurs de particules - Revue XYZ N°50, janvier 1992
- [4] A. Carosio La combinaison de mesures terrestres et par satellite dans les réseaux planimétriques Mensuration, Photogrammétrie, Génie rural, novembre 1992
- [5] A. Carosio Fehlertheorie und Ausgleichsrechnung, Band I Vorlesungsscript, 1992
- [6] H. Dupraz Les contrôles de qualité pour les travaux topographiques en Suisse Revue XYZ N°59, 2<sup>e</sup> trimestre 1994
- [7] A. Carosio T. Burnand La théorie de la fiabilité dans le domaine de la mensuration Le modèle de fiabilité de la mensuration nationale suisse Fiabilité dans la mensuration : journée d'étude du 16 mars 1990, ETH-Hönggerberg Zurich, Rapport IGP N° 169
- [8] P. Gerber Die Genauigkeit freier Netze in kartesischer Darstellung und ihre Anwendung zur Absteckung langer Stollen Thèse de doctorat N° 5722, EPFZ, 1977
- [9] K. Rinner Ueber die zweckmässige Anlage von Tunnelnetzen VII. Internationaler Kurs für Ingenieurvermessungen hoher - Präzision, TH Darmstadt 1976
- [10] U. Schor Absteckung langer Tunnel Rapport IGP N° 205, septembre 1992
- [11] J. v. Mierlo Hypothesentests und Zuverlässigkeitsaussagen in Tunnelnetzen VIII. Internationaler Kurs für Ingenieurvermessung 1980, Zurich
- [12] J. Krüger, W. Niemeier Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsanalyse bei der Anlage von Tunnelabsteckungsnetzen, IX. Internationale Kurs für Ingenieurvermessung, Graz, 1984
- [13] M. Zanini Hochpräzise Azimutbestimmung mit Vermessungskreiseln Rapport IGP N° 209, décembre 1992
- [14] M. Zanini R. Stengele M. Plazibat Kreiselazimute in Tunnelnetzen unitaire Einfluss des Erdschwere-fendes Rapport IGP N° 214, mars 1993
- [15] Ingenieur-gemeinschaft GBT Gotthard - Basistunnel Tunnelkonzepte: zusammenfassender Bericht Office fédéral des transports, AlpTransit, août 1991
- [16] O. Reis Calculs de simulation pour la ligne de base du St-Gothard - Rapport IGP N° 231, janvier 1994
- [17] O. Reims Die Ueberprüfung des Gotthardbasissetzes Rapport IGP N° 224, juin 1993
- [18] N. Korritke T. Wunderlich Le gyromat, un gyrothéodolite de grande précision et son emploi dans l'Eurotunnel Revue XYZ N° 40, juillet 1989

Adresse des auteurs

Prof. Dr. A. Carosio, O. Reis  
Institut de Géodésie et de Photogrammétrie  
Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich  
8093 Zurich - SUISSE

## POSE DE LA VOIE SUR LA LIGNE À GRANDE VITESSE "TGV RHÔNE ALPES"

Michel Leroy - Ingénieur Principal

Chargé de la réalisation des travaux de voie ferrée du TGV Rhône Alpes

### ABSTRACT

This document discusses:

- The geometric characteristics of the Rhone-Alpes TGV Line and the means used to achieve the objectives.
- The method employed to build 1000m of single track per day. This method consisted of the use of 18m prefabricated track elements to build a temporary track, along which final track elements were transported.
- The vérification carried out after construction to ensure optimum levels of safety and comfort for the TGV service.



### 1. INTRODUCTION

La ligne nouvelle T.G.V. R.A. est un maillon du T.G.V. S.E. qui avant l'an 2000 devrait permettre de relier PARIS à MARSEILLE ou MONTPELLIER en 3 heures.

Le T.G.V. R.A. a pu bénéficier pour sa construction de l'expérience des T.G.V.

S.E. et Atlantique.

Dans l'exposé qui suit, je vous parlerai d'abord de la géométrie de la voie, puis en m'appuyant sur une cassette vidéo réalisée par l'entreprise T.S.O., je vous montrerai comment a été construite la voie du T.G.V. R.A.

Enfin, je vous parlerai des contrôles effectués avant la mise en service commercial de cette ligne nouvelle.

### 2. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE LA LIGNE A GRANDE VITESSE T.G.V. RHONE ALPES

#### 2.1 Vitesses de référence

La gamme des vitesses de référence appliquées à cette ligne est la suivante : 230, 270, 300 et 320 km/h. Les rames actuelles ne circulent qu'à 270 km/h (rames sud-est oranges) ou 300 km/h rames réseau. Les futures rames à 2 étages devraient pouvoir circuler à 320 km/h.

#### 2.2 Entr'axe entre V1 et V2

Les T.G.V. S.E. et Atlantique ont un entr'axe de 4,20 m, les lignes classiques de 3,60 m, le T.G.V. RHONE ALPES et le T.G.V. Nord ont un entr'axe de 4,50 m.

#### 2.3 Tracé en plan

Caractéristiques des courbes valeurs limites

#### Valeurs limites

| Vitesse<br>(km/h) | Rayon en plan (m) |         |
|-------------------|-------------------|---------|
|                   | Nominal           | Minimal |
| 230               | 2500              | 2173    |
| 270               | 5000              | 3250    |
| 300               | 6000              | 4000    |
| 320               | 6000              | 5000    |

#### Dévers de la voie

On distingue le divers d'équilibre DV et le dévers pratique D.

Le dévers d'équilibre compense l'effet de la force centrifuge. Il est donné par la formule :

$$DV = 11,8 \frac{V^2}{R}$$

Dans laquelle :

- le dévers DV est exprimé en mm,
- la vitesse V est exprimée en km/h,
- le rayon R est exprimé en m.

Le dévers pratique appliqué à la voie est donné par la formule :

$$D^{mm} = K/R(m) \text{ ce dévers est limité à } 180 \text{ mm.}$$

dans laquelle K représente un coefficient de divers fonction de la vitesse.

| V (km/h) | K       |
|----------|---------|
| 230      | 390 000 |
| 270      | 576 000 |
| 300      | 720 000 |
| 300 (*)  | 900 000 |

#### Raccordement de tracé :

Les raccordements de tracé entre alignement et courbe ou entre courbes successives, de même sens ou de sens contraire, sont réalisés au moyen de raccordements à courbure progressive (RP) sur lesquels s'effectue la variation de

dévers de la voie.

La variation de dévers s'exprime par la formule

$$i = \frac{D}{L}$$

-  $i$  représente la variation de dévers, en mm/m,

$i \leq 0,56$  mm/m si  $V = 320$

$i \leq 0,6$  mm/m si  $V = 300$

$i \leq 1$  mm/m si  $V = 160$

-  $D$  le dévers appliqué à la voie, en mm,

-  $L$  la longueur du RP, en m est un multiple de 10 m.

La longueur des raccordements est déterminée par la formule ci-après :

$$L = K/R(m) \times i$$

Longueur minimale des éléments géométriques (alignements, courbes).

La longueur minimale d'une pleine courbe, d'un alignement situé entre 2 courbes de même sens ou de sens contraire est égale à :

$L \text{ en m} = V/2$  si  $V < 300$  km/h

et à  $L \text{ en m} = 300$  si  $V \geq 300$  km/h.

## 2.4 Profil en long

La déclivité maximale est de 35 mm/m en pleine ligne; elle est nulle dans les gares et sur les voies d'évitement.

Courbes de raccordement en profil en long

Pour les vitesses de référence  $V 230 - V 270 - V 300 - 320$  il convient d'introduire une courbe circulaire de raccordement de profil en long entre deux déclivités lorsque la valeur absolue de leur différence algébrique est  $> 1$  mm/m.

La gamme des courbes à appliquer, en bosse ou en creux, en fonction de la vitesse de référence, correspond aux valeurs suivantes :

| Vitesse de référence | Courbe de raccordement en bosse ou en creux |                |
|----------------------|---|----------------|
| km/h                 | Conseillée                                  | Minimal normal |
| 230                  | 16 000 m                                    | 10 000 m       |
| 270                  | 25 000 m                                    | 13 000 m       |
| 300                  | 25 000 m                                    | 16 000 m       |
| 320                  | 25 000 m                                    | 21 000 m       |

La courbure maximale utilisée est de 40 000 m.

La développée du rayon de raccordement doit être, chaque fois que cela est possible, supérieure à 100 m. Entre deux raccordements successifs, il doit être aménagé une déclivité constante de 150 m environ.

## 2.5 Appareils de voie

Les appareils de voie installés sur le T.G.V. R.A. sont construits à partir de rails UIC 60 kg et posés sur traverses bois ou béton. Ils sont définis par la tangente de l'angle de déviation. Les plus longs de tg 0,0154 ont un rayon la voie déviée de 7 350 m minimum et une longueur approximative de 220 m. Ils sont parcourus à 230 km/h sur la voie déviée. Les plus courants, utilisés dans tous les postes de change-

ment de voie et pour les entrées sur les voies à quai des gares sont des tg 0,0128, rayon minimum 3 550 m longueur environ 160 m et vitesse sur la déviée 170 km/h. Il existe également des appareils de tg 0,0654 pour les entrées sur voies d'évitement ou voies de service à 80 km/h. Tous les appareils situés sur les voies directes sont parcourus à la vitesse de la ligne sur la voie directe. Ils sont posés en plan et en alignement. Ils sont précédés et suivis d'un alignement d'une longueur minimale de 100 m sans raccord de déclivité.

## 2.6 Travaux topographiques nécessaires à la pose de voie

### 2.6.1 Implantation des points d'axe

Les points d'axe sont implantés dans l'axe de l'entre voie à partir du canevas de base fourni par la S.N.C.F. La liste des coordonnées des points d'axe tous les 20 m et des points caractéristiques du tracé, origines et fins de raccordements, pointes, talons et centres géométriques des appareils avec leur position kilométriques sont également fournis par la S.N.C.F. et sont implantés soit par la S.N.C.F. pour les points principaux, (points d'axe tous les 200 m, origines et fins de raccordement et implantation des appareils) soit par un géomètre de l'entreprise de pose de voie pour les autres points appelés points secondaires.

### 2.6.2 Rejets

Les points d'axe sont rapidement couverts par le ballast. Avant pose de la voie ils sont donc reportés en dehors de la zone ballast et appelés rejets. Ces rejets sont nivelés par double détermination et sont utilisés jusqu'à la mise à niveau définitif de la voie à la fois pour positionner avec précision la voie à la pose en dressage, mais aussi à chaque relevage, pour vérifier son altitude.

### 2.6.3 Régularisation des courbes

Les piquets de rejet sont utilisés pour le dressage de la voie jusqu'à l'avant dernière passe de relevage. A l'avant dernière passe la voie doit être à  $\pm 1$  cm de sa position théorique. Afin d'améliorer la qualité du dressage, les courbes sont régularisées par la méthode des flèches.

Depuis la construction du T.G.V. Atlantique, la S.N.C.F. associée aux entreprises Framafra et T.S.O. a mis au point un système de relevé automatique de flèches relié à un ordinateur et monté directement sur la bourreuse. Le relevé est fait par passage de la bourreuse à 30 km/h avant travail. Le listing de flèches à réaliser recalculé par l'ordinateur est soumis par l'entrepreneur à un agent qualifié de la S.N.C.F. présent à bord de la bourreuse. Si la proposition est jugée satisfaisante l'entrepreneur est autorisé à réaliser le travail. Si le travail réalisé est conforme au projet proposé à l'agent S.N.C.F., le travail est accepté.

La variation de flèche sur 20 m, relevée tous les 10 m ne doit pas excéder 0,5 mm.

## 2.7 Défauts courts

Les défauts géométriques courts ne sont pas ressentis par les passagers, mais ils provoquent une dégradation rapide du nivellement et du matériel. Les défauts courts sont dus à des patinages de trains de travaux pendant la construction ou à des écrasements de ballast pendant les circulations d'essais à grande vitesse (330 à 350 km/h).

Pour éliminer ces défauts une campagne systématique

de meulage SPENO est réalisée après rechargement à l'arc des plus gros défauts.

## 3. METHODE DE POSE

### 3.1 Montage de la voie

La méthode de pose utilisée sur le T.G.V. R.A. consiste à mettre en place une voie provisoire, de 6 à 7 km, composée de longueurs montées de 18 m à l'aide d'une poutre.

Cette poutre prend les longueurs montées sur une rame d'approvisionnement située à l'arrière, elle les transfère à l'avant et les pose devant elle, ces longueurs sont éclissées entre elles, ensuite la poutre avance sur la nouvelle longueur et recommence la même opération. Cette opération permet de poser plus de 1 000 m de voie provisoire chaque jour.

Cette voie provisoire est utilisée : pour approvisionner les rails définitifs en longueurs de 288 ou 396 m. Les rames d'approvisionnement peuvent comporter jusqu'à 42 barres de 396 m soit plus de 16 km de rails ou 4 km de double voie. La voie provisoire est également utilisée pour approvisionner les traverses et ramasser les longueurs de voie provisoire de la manière suivante :

Chaque jour un train chargé de 1 800 traverses béton pénètre sur la voie provisoire le long de laquelle les rails définitifs ont été déchargés. Deux portiques enjambent le train de traverses pour enlever les longueurs de voie provisoire et les charger sur des wagons vides. Au retour ils prennent chacun 30 traverses et vont les placer à la place des longueurs montées déposées. Le menu matériel est déchargé lors du déchargement des rails définitifs. Dès que tous les matériaux de la voie définitive sont en place, l'opération de montage commence, et ainsi chaque jour environ 1 000 m de voie sont montés. En fin de journée la voie définitive est raccordée à la voie provisoire, le train vide de traverse et plein de longueurs de voie provisoire est rentré à la base et les longueurs sont transférées de nuit sur le train de pose de longueurs montées à mettre en place le lendemain.

### 3.2 Relevage

Cette opération consiste à relever la voie en six passes à l'aide de bourreuses dresseuses lourdes.

Chaque passe de relevage est précédée d'un déchargement de ballast. Il faut 4 500 t de ballast pour avoir un minimum de 35 cm de ballast sous les traverses. A chaque passe la quantité de ballast mise en œuvre et la capacité des bourreuses ne permettent pas de lever la voie de plus de 8 cm. En alignement et compte tenu de la pente de la sous-couche (4 %) la voie est posée avant relevage avec un dévers de 60 mm ( $150 \text{ cm} \times 0,04 = 6 \text{ cm} = 60 \text{ mm}$ ) ce qui fait que six relevages sont nécessaires pour amener la voie à son altitude théorique avec une tolérance de  $+0 -2 \text{ cm}$  sur la file basse et au dévers calculé avec une tolérance  $+0 -4 \text{ mm}$ .

Au cours de ces opérations de relevage on stabilise la voie à l'aide d'un stabilisateur après la 2ème et la 5ème passe de relevage (cas général) en tout état de cause avant la libération. (Le stabilisateur vieillit artificiellement la voie et augmente sa résistance transversale).

### 3.3 Libération

Les longs rails soudés subissent des variations de température importantes. La température des rails peut atteindre 60°. Pour éviter une déformation de la voie du fait des contraintes thermiques provoquées par cette élévation de température, on règle les rails à une température d'équilibre comprise entre 25 et 32°.

Les rails sont désolidarisés des traverses, mis sur rouleaux, une coupe est réalisée au milieu d'une longueur de 1 200 m de toute contrainte et en fonction de la température ambiante, on calcule l'allongement à donner aux rails pour les amener à leur longueur théorique à la température de 25°.

A l'aide de vérins hydrauliques on allonge les rails et on les soude par aluminothermie.

### 3.4 Finitions

Après avoir réalisé cette libération on fait à l'aide d'une bourreuse, un nivellement et un dressage de finition appelé nivellement complémentaire. Cette opération a lieu avant le meulage SPENO.

### 3.5 Montage des appareils de voie

Le montage de la voie est fait de manière continue, y compris à la place des appareils afin de ne pas perturber sa cadence d'avancement.

Les appareils sont posés dès que la voie est terminée dans la zone où se trouvent les appareils.

A la place des appareils, la voie est déposée, le ballast régalié et les appareils montés avec beaucoup de précautions afin de leur donner une géométrie parfaite dès la pose. Cette géométrie sera facilement conservée si elle est de bonne qualité et difficilement améliorée si elle est de mauvaise qualité à la pose.

Après montage et soudure, les appareils sont relevés comme la voie courante à l'aide de bourreuses dresseuses lourdes pour appareils de voie. La géométrie est contrôlée comme pour la voie courante en apportant beaucoup de soins au parallélisme des deux voies et à la valeur de l'entraxe de 4,50 m dans les zones d'appareils en communication V1-V2. Les appareils sont comme la voie courante mis en équilibre thermique à une température de référence comprise entre 25 et 32°.

## 4. VERIFICATIONS DE LA GEOMETRIE

L'entreprise de pose de voie est chargée d'assurer tout au long du chantier le contrôle de la réalisation des travaux aussi bien au niveau de la qualité de la prestation (non détérioration des rails, traverses, attaches, vérification du serrage au couple prescrit, etc ...) que, du respect des tolérances prescrites dans le cahier des charges.

Chaque jour l'entreprise établit systématiquement des fiches de contrôle, ces fiches sont vérifiées par sondage par la S.N.C.F. Le chantier est arrêté si les fiches ne sont pas fournies ou si les indications portées ne sont pas conformes aux spécifications.

Les bourreuses sont équipées d'enregistreurs qui indiquent la qualité du travail effectués (gauches, dévers, etc) et pour la dernière passe de relevage, les flèches obtenues après bourrage dressage.



Malgré ces divers contrôles la S.N.C.F. fait passer chaque mois une voiture d'enregistrement de la géométrie de la voie. Cette voiture appelée voiture MAUZIN donne les défauts de nivellement et dressage en vraie grandeur de chaque file de rail, l'écartement de la voie, les écarts de dévers et les gauches. La base de mesure du nivellement et du dressage est de 14,5 m.

Avant mise en service commercial, une campagne de mesures d'accélération transversales de caisses et de bogie est faite en faisant circuler à vitesse croissante une rame T.G.V. spécialement équipée pour effectuer ces mesures et circuler à des vitesses très supérieures aux vitesses commerciales.

## 5. CONCLUSION

Je vous rappelle que sur le T.G.V. A, ces montées en vitesse nous ont permis d'atteindre 482,4 km/h en Décembre 1989 et 515,3 km/h en Mai 1990. Dans ces deux cas les accélérations transversales de caisses et bogies sont restées dans les limites fixées pour les trains classiques. Sur le T.G.V. A nous disposions de 40 km de voie avec des courbes de 12 500 m et 15 000 m de rayon. Sur le T.G.V. R.A. les courbes avaient des rayons de 4 000 m dans la partie nord et 6 000 m dans la partie Sud, ce qui a limité la vitesse de nos essais à 335 km/h dans les courbes de 4 000 m et 360 km/h dans les courbes de 6 000 m de rayon.

Le résultat des mesures d'accélération à ces vitesses nous a montré que l'on pouvait circuler sans risque aux vitesses commerciales envisagées : 300 km/h dans la partie Nord et 320 km/h dans la partie Sud dès que les rames seront aptes à cette vitesse.

# VUES AERIENNES METRIQUES

Toutes échelles - Toutes émulsions : pour toutes applications

— Vues aériennes panoramiques —

Tous travaux photographiques de précision liés à la cartographie :  
Agrandissement, réduction, modification, assemblage de plans - tous formats - tous supports.



## AU SERVICE DES AMENAGEURS

670, rue Jean Perrin - Z.I. - 13851 AIX EN PROVENCE CEDEX 03

Téléphone : 42.60.05.45 - Télécopie : 42.24.26.04

## APPLICATIONS GÉODÉSQUES ET TOPOGRAPHIQUES DE TUC RAIL DANS LE PROJET TGV BELGIQUE

M. Menu  
TUC RAIL - Bruxelles, Belgique

### ABSTRACT

*Established since July 1992, the company TUC RAIL is a joined subsidiary from the National Railroad Company (S.N.C.B.) and from TRANSURB Consult. TUC RAIL is providing services from the preliminary stage of the conceptual and feasibility studies up to the organization and control of the infrastructure works related to the T.G.V. project.*

*In this perspective, a surveying and engineering department was created to cover the multiple tasks related to such project as planning and organization of aerial surveys and mapping activities, complementary terrain surveys, digitizing cadastral maps, management of the land information from the areas concerned by the project; coordination of the engineering studies (geology, hydrology, civil engineering) and follow-up of the infrastructure works.*



### 1. INTRODUCTION

T.G.V. (Train à Grande Vitesse) sont les trois lettres qui s'identifient à un bond technologique remarquable en matière de transport par voies ferrées.

Ce concept de train à grande vitesse bouleverse les habitudes de déplacement et engendre un nouvel élan commercial.

Le nord de l'Europe est particulièrement concerné et pour la Belgique, qui a été un pionnier dans le transport par rail, il s'agira de joindre diverses capitales ou villes importantes à Bruxelles. Ces liaisons seront réalisées soit en site propre soit sur des sites existants améliorés.

Pour ce faire, la Société Nationale des Chemins de Fer Belge (S.N.C.B.) a été officiellement invitée à débiter les études du tracé suite à l'adhésion du Gouvernement Belge au projet de la Communauté Economique Européenne (C.E.E.) lors de la réunion de La Haye au mois de novembre 1989.

Constituée dès le mois de juillet 1992, la société TUC RAIL, qui est en fait une filiale de la S.N.C.B. et de TRANSURB Consult, a pour objet la fourniture de services, la conception d'études et l'organisation des travaux relatifs à la création des nouvelles infrastructures nécessaires à la circulation du T.G.V.

Dans cette perspective, un service de topographie a été créé et les diverses tâches attendues d'un bureau d'études lui ont été confiées.

Citons entre autre, l'organisation de prises de vue aériennes en vue de leur restitution cartographique, des opérations de topographie de complément, la numérisation de plans cadastraux et la gestion informatisée du patrimoine concerné par les études, la coordination des besoins topographiques pour les services de géologie, d'hydrologie et de génie civil, ainsi que les tâches de surveillance des travaux.

L'organisation des informations graphiques et alphanu-

mériques est gérée par un système d'information Géographique (S.I.G.) édité par la société Star Informatique. Les plans techniques, les schémas, les études techniques sont réalisés à l'aide du logiciel AutoCad de la société Autodesk et les calculs topographiques sont menés avec le logiciel LisCad Plus développé par la société Leica et le logiciel Topo-TX produit par la société Star Informatique.

### 2. SAISIE ET GESTION DES DONNEES DE BASE

#### 2.1 Réception des restitutions photogrammétriques

Les premières données de base établies consistent en une restitution photogrammétrique d'une couverture aérienne de l'ensemble du tracé.

Les clichés, dont les échelles varient entre le 1/3750 et le 1/4250, couvrent une bande de 600 mètres centrée sur l'axe théorique avec un recouvrement longitudinal de 60 %.

Ils permettent la génération de plan terriers à l'échelle du 1/1000ème, dans le système de coordonnées Lambert Belge tel que défini par l'Institut Géographique National de Belgique, avec une imprécision tolérée de 20 cm dans les trois axes.

Cette restitution est complétée par des relevés topographiques localisés aux endroits difficiles pour la restitution telles les zones boisées par exemple. Elle est communiquée à TUC RAIL sous forme informatique (Cf. Annexe 2).

Les données numériques sont ensuite transférées sur un serveur d'information géographique pour former une base de données structurées sous forme de cartes et de couches.

Le système mis en place chez TUC RAIL comprend plus de 40 stations de travail graphiques organisées en réseau autour de deux serveurs. Les logiciels sont installés sur chaque station alors que les données sont uniques au niveau des serveurs et donc partagées par les différents utilisateurs.

Avant de modifier des données et d'introduire des informations complémentaires issus des levés topographiques,

# Grands projets ferroviaires (3ème CITOP) - Grands projets f

l'opérateur doit préciser la zone géographique dans laquelle il va réaliser les traitements. Seul, cet opérateur verra alors les informations modifiées, et nul autre ne pourra effectuer des modifications simultanément dans cette même zone. Après mise à jour des modifications la zone redeviendra accessible à tous pour d'autres transactions.

La structure de la base de données mise en place chez TUC RAIL permet également de visualiser simultanément les différents levés topographiques (hydrologie, impétrants, compléments cadastraux, ouvrages d'art) et de connaître donc les différents ordres de précision des informations et la confiance que l'on peut leur attribuer.

## 2.2 Données cadastrales

La base de données ainsi établie va être complétée par des données cadastrales.

Ces données graphiques issues de la numérisation des plans cadastraux vont être intégrées par transformation sur les données de la restitution photogrammétrique. Cette transformation est basée sur un modèle mathématique de plus de 6 paramètres qui seront déterminés par la méthode des moindres carrés. Ces paramètres tiennent compte des translations entre les deux systèmes de coordonnées, de la non orthogonalité des axes et des deux facteurs d'échelles (Cf. Annexe 2).

L'analyse des corrections sur l'information surabondante permet de réaliser un contrôle de qualité et d'exclure de la procédure des points douteux. Dans le cas où le support papier du plan cadastral n'a pas rempli les conditions de stabilité, une transformation par anamorphose peut être opérée en aval.

Des liaisons sont alors établies entre les parcelles cadastrales et les informations alphanumériques correspondantes de la matrice cadastrale. L'accès est alors possible dans les deux sens et permet les requêtes diverses.

## 2.3 Gestion Patrimoniale

Sur base des emprises nécessaires aux installations ferroviaires et aux rétablissements des voies de communication, la méthode utilisée et l'organisation de la base de données permettent la création des plans parcellaires et les documents annexes au dossier d'expropriation ainsi que la confection des dossiers nécessaires à l'obtention du permis de bâtir.

La gestion informatique du patrimoine du pouvoir expropriant permet également la fourniture immédiate de toutes informations, notamment à l'administration qui a en charge le remembrement des terres agricoles, et à l'administration du cadastre.

## 2.4 Données des réseaux

Une autre entrée de données va être établie au départ des plans de réseaux fournis à la demande de TUC RAIL par les différents concessionnaires concernés par le tracé.

Il s'agit des réseaux d'eau, de gaz, d'électricité, d'éclairage public, d'oléoducs, d'égouts, de télévision par câble et de télécommunication.

Ces différentes données sont introduites soit par voie de numérisation, soit par constructions géométriques si les plans sont cotés, soit encore par relevés topographiques.

Comme pour les données cadastrales, chaque élément

est lié à une base de données alphanumérique contenant les informations relatives à la nature du réseau concerné (diamètre, matériaux, date de pose, soudure, etc) à l'identité du concessionnaire, à l'identification du plan ayant servi à l'introduction de l'élément et toutes autres informations pouvant influencer la conception du tracé.

## 3. CONCEPTION DU TRACE ET REALISATION TOPOGRAPHIQUE

### 3.1 Le tracé

Le tracé est étudié en fonction de différentes contraintes en plan et en élévation. Citons notamment la géométrie requise pour conserver des vitesses de 300 km/heure, la topographie des lieux, la constitution géotechnique du sous-sol, l'hydraulique, le dimensionnement des ouvrages d'art existants, l'impact sur l'environnement et les questions administratives.

L'étude en élévation est travaillée sur base de modèles numériques de terrain générés automatiquement à partir d'un semis de points et d'une sélection de lignes caractéristiques reprenant les ruptures de relief (Cf. Annexe 1).

La conception du tracé est réalisée à l'aide du logiciel Star Infra permettant de travailler simultanément sur l'axe en plan et le profil en longueur en répercutant instantanément toutes les modifications sur un quelconque des raccordements altimétriques ou planimétriques.

A l'issue des générations successives de l'axe en plan, des profils en travers associés et du profil en long, les axes peuvent être intégrés dans le modèle numérique de terrain afin de mieux apprécier l'impact du projet sur le site et de pouvoir effectuer le calcul de la quantité des matériaux nécessaires à sa réalisation (métrés) (Cf. Annexe 1).

### 3.2 Implantation de l'axe et contrôle

#### 3.2.1 Polygonale de base

Un cheminement polygonal a été développé sur l'ensemble du tracé, soit plus de 235 kilomètres. Les spécifications techniques exigeaient la matérialisation d'un sommet tous les 300 mètres environ, à l'aide de borne en béton. L'imprécision maximale à craindre a été fixée à 5 cm en X et Y et à 3 cm en Z.

L'ensemble des cheminements de chaque tronçon est rattaché au système de représentation cartographique Lambert Belge. Les observations surabondantes ont été ajustées par la méthode des moindres carrés pour détecter les éventuelles fautes et surtout fournir une qualification statistique impartiale des résultats en terme de précision et de fiabilité.

Pour pouvoir contrôler et réceptionner valablement ce travail de base, TUC RAIL a acquis le système de positionnement par G.P.S de LEICA. Ce système est composé de deux récepteurs bi-fréquence, des contrôleurs et du logiciel SKI de traitement des observations.

L'attrait de ce système réside dans la rapidité environ 5 minutes par point, l'immunité au cryptage du code P et la puissance du logiciel. Il s'agit d'un système véritablement topographique. La haute précision obtenue, permet à TUC RAIL de l'utiliser comme un véritable comparateur.

La méthode retenue a été celle du statique rapide pour

le contrôle des sommets des cheminements et la méthode du Stop & Go pour le contrôle des points d'axe proprement dits. La transformation des coordonnées obtenues en WGS-84 en coordonnées Lambert Belge est effectuée via le module Datum & Map.

Des divergences ayant été constatées lors de ces opérations sur les points géodésiques de l'IGN, ce dernier entrepris la réfection locale de son réseau géodésique pour satisfaire aux contraintes de précision et d'homogénéité.

L'utilisation du G.P.S. est donc entrée rapidement dans la culture topographique de TUC RAIL et d'autres missions ont été réalisées à l'aide de ce système.

### 3.2.2 Implantation de l'axe

Les tableaux d'implantation des axes sont extraits automatiquement de la base de données et sont transférés par informatique vers les carnets électroniques de terrain et les modules mémoire dont sont garnies les stations totales utilisées par les topographes.

Ceux-ci se calent sur la polygonale de base pour réaliser les implantations, ainsi que pour effectuer simultanément les relevés de profils en travers du terrain naturel destinés aux entrepreneurs pour établir les différents métrés.

A titre de contrôle indépendant, une équipe de topographes reprend tous les points d'axe à l'aide du système G.P.S.

## 4. GESTION TOPOGRAPHIQUE DES CHANTIERS

### 4.1 Délimitation préalable des emprises

Conjointement avec l'entrepreneur, les topographes de TUC RAIL implante les emprises des expropriations dans le but de délimiter les zones de travail et de préparer les opérations de remembrements ultérieures.

Ces travaux s'effectuent au moyen de stations totales LEICA. Un système de codification topométrique permet le relevé de points, lignes et surfaces directement sur site avec introduction des symboles associés.

### 4.2 Réception des travaux avant pose des voies

Dans le cadre du contrôle de la qualité sur les chantiers, les équipes topographiques de TUC RAIL doivent exécuter un ensemble de prestations dont notamment la vérification de l'implantation des ouvrages d'art et le suivi de la construction de ceux-ci et l'examen de la conformité des remblais, déblais et de la plate-forme en général.

En cas de travaux supplémentaires non repris dans les plans d'exécution, des levés sont entrepris afin de mettre à jour la base de données du système d'Information Géographique, pour qu'en fin de travaux, l'on dispose directement d'informations et de documents représentant l'état final. (plan de recollement)

### 4.3 Implantation des voies

Une équipe spécialisée pour la pose des voies, implantera celles-ci dans l'axe, par coordonnées polaires et cheminement polygonal à partir de la polygonale de base.

Des logiciels embarqués dans les stations totales assisteront les opérateurs.

Tous ces points sont ensuite reportés en bord de plateforme et feront l'objet d'un nivellement de précision à l'aide de niveau numérique LEICA.

Ils permettront de guider la pose des rails durant les diverses opérations.

## 5. CONCLUSION

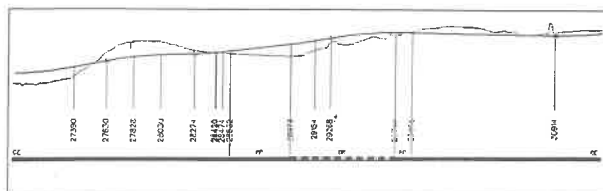
Quoique souvent considéré comme un mal nécessaire, la topographie gagne ses lettres de noblesse dans des travaux d'envergure, tel que ce projet T.G.V. Belgique où l'intervention régulière des géomètres et des topographes s'est montrée indispensable.

En effet, toutes les informations alimentant la base de données, la gestion de celle-ci, les travaux de contrôle par G.P.S., l'implantation des axes et les innombrables levés complémentaires sont le fait de ces professionnels dont la modestie et la discrétion sont souvent les seuls défauts.

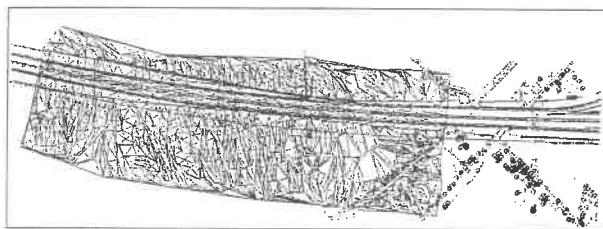
Nous remercions par ce biais, l'équipe des 12 topographes et géomètres de TUC RAIL, les différents bureaux de topographie privés, ainsi que les géomètres fonctionnaires des différentes administrations qui auront permis au T.G.V. de relier nos différents pays.

## ANNEXE 1 - TGV - VOIES ET TRACE

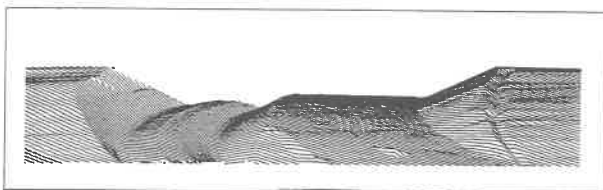
Outre la conception tridimensionnelle, planimétrique et altimétrique du tracé d'une ligne nouvelle en tenant compte du site et de l'environnement, TUC RAIL réalise toutes les études de détails relatives aux implantations, aux profils en travers, aux appareils de voies et installations diverses, etc.



Profil en long de l'axe



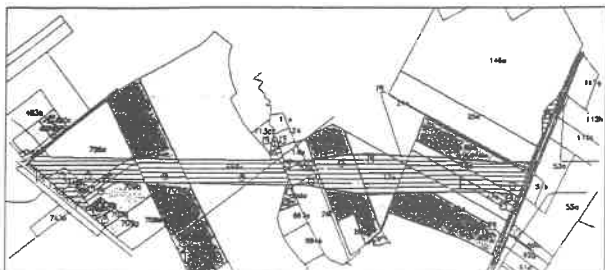
Modèle numérique du terrain



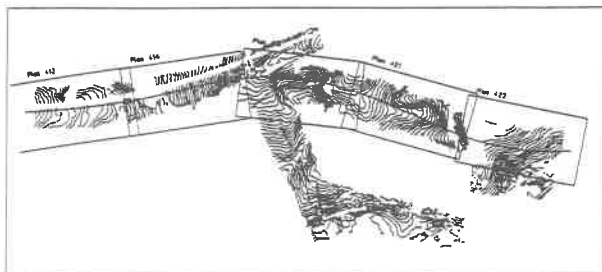
Intégration du projet dans le modèle terrain

## ANNEXE 2

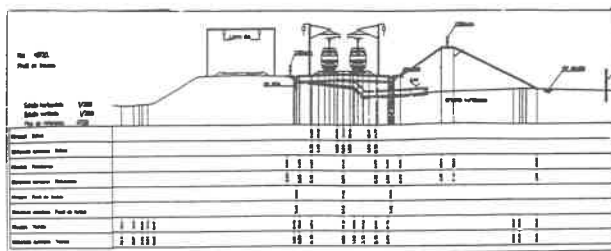
Sur base des plans de travaux, des cartes cadastrales digitalisées et de la banque de données alphanumériques reprenant les informations de tous les propriétaires concernés, les plans tableaux des terrains à acquérir sont dressés par TUC RAIL.



Restitution le long du tracé, ainsi que des compléments pour nouvelles voies à créer



Profil en long type le long d'une voie existante



Présenté au Salon  
**EUROPROPRE 1993**

Mesure tout partout  
de 1 cm à 100 m

### Le CURVIMESUREUR 700B

- \* Cadran horizontal
- \* Manche métal  
télescopique

- Pour évacuer rapidement les longueurs, surfaces, telles que murs, sols, plafonds, revêtements, tapis, peinture, canalisations.

- Entretien, nettoyage : des années d'usage.

- Un service immédiat en cas d'incident.

- Si petit et léger qu'il se range dans une serviette.

- Livré avec un étui de protection qu'il est possible de porter à la ceinture, laissant les mains libres pour faciliter les relevés.

- Service dans 5 pays.

- Fabrication française





## LE TUNNEL SOUS LA MANCHE INSTALLATIONS DES ÉQUIPEMENTS FIXES D'INFRASTRUCTURE

François DUPONT  
SETEC TPI / Eurotunnel

### ABSTRACT

*The Channel Tunnel transport system consists of various sub-systems/elements (civil engineering, fixed and moving equipment) which contribute to achieving the objectives and resolving the environmental constraints. These include:*

- the shuttles designed for transportation of road vehicles;*
- the Terminals required for vehicle reception, loading and unloading of shuttles, and entry of national trains into the tunnels;*
- the running tunnels, which will be examined in regard to alignment and equipment;*
- the service tunnel, which will be assessed in terms of its importance as a means of access to all points within the tunnels and for passenger evacuation;*
- the rail tracks, which must be suitable in terms of layout and design for transporting the proposed tonnage at the required speed;*
- the catenaries, which must be sufficiently robust and designed to accept high speeds and tractive power levels;*
- the ancillaries required for system-wide operations and safety: electricity, drainage and pumping of water, tunnel ventilation and cooling and fire-fighting equipment;*
- Control Centres:*

*Two Control Centres handle system-wide control and monitoring. The main control centre is located in the UK Terminal, and the second on the French side is ready to take over immediately in the event of failure of the former.*



### O. PRÉAMBULE

Avant d'aborder les descriptions des diverses installations d'équipements fixes mises en œuvre dans le Tunnel sous la Manche et les impératifs imposés à celles-ci par le concept du système de transport, une rapide description des objectifs du système de transport et de son

concept sont nécessaires afin d'appréhender les motivations qui ont conduit à la conception et à la mise en œuvre des équipements fixes.

### 1. PRINCIPES GÉNÉRAUX DU SYSTÈME DE TRANSPORT

#### 1.1 Présentation du système de transport

La vocation de la liaison fixe Transmanche est d'être un système de transport intégré qui permette la traversée rapide de la Manche aux trains et véhicules circulant entre la Grande Bretagne et le continent.

Ce système répond donc à deux objectifs essentiels :

- Assurer, selon la Concession, un passage continu des véhicules (tourisme et poids lourds), d'une façon analogue à une autoroute reliant la Grande Bretagne et la France.
- Réaliser, selon la Convention d'Utilisation l'interconnexion entre les réseaux ferrés français et britanniques.

Le système est conçu, de manière à fonctionner avec

toutes les assurances concernant la sécurité et le confort des passagers.

La liaison réalisée entre les réseaux routier et ferroviaire britanniques et français est souterraine. L'examen des différentes contraintes techniques et économiques a conduit au choix d'une jonction entièrement ferroviaire par l'intermédiaire d'un ensemble de trois tunnels parallèles :

- Deux tunnels principaux qui écoulent chacun dans une direction assignée, le trafic routier par l'intermédiaire de navettes, et le trafic des trains nationaux.

- Un tunnel de service, relié à intervalles réguliers aux précédents, et qui permet d'assurer la ventilation, l'entretien et l'intervention des équipes de sécurité.

En conséquence de ce choix, les réseaux ferrés nationaux bénéficient d'une interconnexion complète, sans rupture de charge.

Le trafic routier, en revanche, doit transiter par des installations terminales spécifiques situées à Coquelles, près de Calais et à Folkestone. Ces terminaux assurent l'accueil des véhicules, leur transfert et leur chargement sur les navettes Eurotunnel, et leur déchargement de l'autre côté de la Manche.

Conformément à la convention d'utilisation, les deux trafics (routier et ferroviaire) sont acheminés en alternance à travers les tunnels principaux.

#### 1.2 Contraintes dues à l'environnement

Lors de la conception du système de transport, il fut nécessaire d'identifier et de résoudre les problèmes et contraintes spécifiques dus à l'environnement du Tunnel sous la Manche, et, principalement :

- des contraintes géologiques et géotechniques influant sur le tracé des tunnels et la disposition des terminaux.

- de l'infiltration des eaux dans les tunnels, nécessitant des installations de captage, de pompage et d'évacuation.

- des problèmes aérodynamiques dus à l'effet de pistonement des trains dans les tunnels.

- de l'élévation de température dans les tunnels due à l'échauffement de l'air par frottement au passage des trains, nécessitant des installations de refroidissement.

- des contraintes dues à l'espace limité, résultat d'un compromis entre coût du génie civil, gabarit du matériel roulant et équipements fixes.

- des risques pour les passagers voyageant en milieu confiné et souterrain, nécessitant des dispositions pour assurer le renouvellement de l'air, la protection et la lutte contre l'incendie, un éclairage suffisant, des moyens et des procédures d'évacuation des passagers en cas d'incident.

## 1.3 Description générale des ouvrages

### 1.3.1 Généralités

Il est nécessaire d'identifier les éléments (Génie Civil, Équipements Fixes et mobiles) qui concourent à assurer les objectifs définis précédemment et à résoudre les contraintes dues à l'environnement. Il s'agit, en particulier :

- des navettes destinées au transport des véhicules routiers,

- des terminaux nécessaires pour accueillir les véhicules, assurer le chargement et déchargement des navettes, et permettre l'insertion de trains nationaux dans les tunnels,

- des tunnels ferroviaires dont on étudiera le tracé et les équipements,

- du tunnel de service dont on mesurera l'importance comme moyen d'accès à tous les points du tunnel et pour l'évacuation des passagers,

- des voies ferrées qui doivent avoir le tracé et les qualités nécessaires pour transporter le tonnage envisagé à la vitesse requise.

- des caténaires qui doivent être suffisamment robustes et dimensionnés pour accepter des vitesses et des puissances de traction élevées,

- des auxiliaires nécessaires au fonctionnement de l'ensemble du système et à sa sécurité : électricité, drainage et pompage de l'eau, ventilation et refroidissement des tunnels et équipements de la lutte contre l'incendie.

Tous ces éléments sont en interaction étroite les uns par rapport aux autres et sont conçus pour le même objectif : assurer le trafic routier et celui des trains nationaux dans les temps impartis, avec toute la sécurité et le confort voulus pour les usagers.

- des centres de contrôle :

La commande et le contrôle de l'ensemble du système, sont assurés par deux centres de contrôle. Le centre principal est implanté sur le Terminal britannique, le second côté français est prêt à prendre immédiatement le relais en cas de défaillance du premier.

Le centre de contrôle en fonctionnement dispose de deux moyens pour remplir sa mission :

- Les consignes d'exploitation et de sécurité qui permettent : de gérer le trafic ferroviaire et routier, de délivrer les ordres nécessaires pour le fonctionnement des auxiliaires, de déclencher les opérations de maintenance et d'assurer la sécurité et la sûreté.

- un système de contrôle et de télécommunications qui mesure en permanence l'état de l'ensemble des éléments composant le système, et les transmet aux opérateurs du centre de contrôle. Il leur permet ainsi : d'effectuer les opérations nécessaires au maintien des consignes d'exploitation et de sécurité et de déclencher des interventions urgentes en cas d'incident.

### 1.3.2 Conception de l'ouvrage compte tenu des impératifs

#### 1.3.2.1 Les tunnels

La liaison est longue de 50 km, dont 37 km sous le détroit de la Manche (franchi à une profondeur de 25 à 40 m sous le fond de la mer).

Les deux tunnels ferroviaires unidirectionnels ont un diamètre interne de 7,60 m et sont distants de 30 m environ. Ils sont reliés entre eux tous les 250 m environ, par des rameaux de pistonement et tous les 375 m environ à la galerie de service, dont le diamètre interne est de 4,80 m.

#### 1.3.2.2 Tunnels ferroviaires

##### (i) Le tracé

Le tracé des tunnels est déterminé par deux contraintes principales :

- la géométrie de la voie : rayons de courbure verticaux et horizontaux, et une rampe maximum de 1,1% (adhérence des locomotives),

- les conditions géologiques et géotechniques du terrain. Le tracé emprunte essentiellement la couche de craie bleue qui possède de bonnes propriétés mécaniques et d'imperméabilité.

La pente des tunnels est aussi supérieure à 0,18% pour faciliter le drainage des eaux d'infiltration. Les points bas du tunnel détermineront la position des stations de pompage.

##### (ii) Coupe en travers type

Le diamètre interne des tunnels ferroviaires est égal à 7,6 m. Il résulte de la combinaison des différents équipements qui devront y être logés.

L'élément déterminant est le gabarit des navettes et des équipements qui en découlent : la hauteur de la voie et les caténaires. Le diamètre doit aussi tenir compte du gabarit des obstacles latéraux, tels que :

- la largeur du trottoir d'évacuation des passagers et de celui prévu pour l'entretien,

- le gabarit cinématique des navettes (jeu latéral des boggies, saillies dans les rayons de courbure etc..)

- les équipements fixes (conduites d'eau, câbles, etc..).

Enfin, le diamètre est aussi déterminé par la tolérance de construction du Tunnel, qui est de  $\pm 150$  mm.

#### 1.3.2.3 Les tunnels de service

##### (i) Le tracé

Situé entre les tunnels ferroviaires, distants de 15 m environ de part et d'autre, la majeure partie du tunnel de service est parallèle aux tunnels ferroviaires. Le tracé diffère

re au niveau des portails de Castle Hill et Beussingue, pour permettre l'accès des véhicules de service. Il diffère aussi, dans les Ouvrages de Shakespeare Cliff et au niveau des traversées-jonctions des Tunnels Ferroviaires.

La pente maximale de 3,5 % a été étudiée en fonction des véhicules de service qui emprunteront la galerie.

#### (ii) La coupe en travers type

Le diamètre interne du tunnel de service est égal à 4,8 m. Il résulte de la combinaison de divers éléments :

- avoir suffisamment d'espace pour accepter le gabarit des véhicules de service (deux voies de circulation) et des équipements fixes : câbles, conduites d'eau, drainage, etc..)
- assurer une section suffisante pour le dimensionnement de la ventilation des tunnels,
- assurer l'évacuation des passagers.

#### 1.3.2.4 Liaisons intermédiaires:

Il s'agit de communications entre les différents tunnels.

##### *Les Rameaux de Pistonnement :*

Il est nécessaire de construire des rameaux de pistonnement reliant les deux Tunnels Ferroviaires, pour minimiser la résistance à l'avancement des trains et navettes. Disposés tous les 250 mètres et de diamètre égal à deux mètres, le dimensionnement des rameaux est un compromis, entre le coût du Génie Civil, et le coût des dépenses d'énergie pour la traction des trains.

Les revêtements sont en fonte ou en béton, le coefficient de rugosité étant calculé pour satisfaire aux exigences d'aérodynamisme. Enfin, la section, l'espacement et le coefficient de résistance sont calculés en sorte que la résistance à l'avancement des navettes soit constante à une vitesse donnée.

Chaque rameau de pistonnement est équipé d'un système d'obturation manœuvrable à distance, pour assurer, en cas d'incendie et de fumées, l'étanchéité avec le tunnel adjacent et permettre la maintenance dans un tunnel.

#### 1.3.2.5 Les rameaux de communication et d'évacuation

Disposés tous les 375 mètres environ, ces rameaux relient la galerie de service aux tunnels ferroviaires. Ils ont deux fonctions principales :

- en priorité, l'évacuation des passagers depuis les trottoirs des tunnels ferroviaires,
- et le passage de l'air venant du tunnel de service, pour assurer la ventilation des tunnels ferroviaires.

Les rameaux sont fermés en permanence par des portes étanches, résistantes au feu, situées au droit des Tunnels Ferroviaires.

Le dimensionnement des rameaux de communication a été conçu pour satisfaire aux impératifs d'évacuation des passagers (pente  $\pm 10\%$ , hauteur et largeur). Des rameaux spéciaux sont aménagés près des portails de sortie où le tracé du tunnel de service est différent, et aux traversées-jonctions. Les revêtements sont en fonte.

#### 1.3.2.6 Traversées-Jonctions

Le but des traversées-jonctions est de permettre, suite à un incident ou pour des raisons d'entretien programmé, l'exploitation en voie unique sur un tronçon du tunnel ferroviaire.

Deux traversées-jonctions sont prévues sous-mer. Elles

sont du type ciseaux. Une traversée-jonction est aussi prévue dans la zone couverte d'Holywell. En période d'exploitation normale, les jonctions sont fermées par des portes étanches.

#### 1.3.2.7 Locaux techniques

Ces locaux sont destinés à loger les équipements électriques et mécaniques nécessaires pour assurer le fonctionnement des auxiliaires du tunnel.

Placés à distance régulière de part et d'autre de la galerie de service, les locaux sont semblables aux rameaux de communication, mais l'extrémité, côté tunnels ferroviaires, est obturée de façon permanente. On distingue :

- tous les 3 à 5 kms environ, les sous-stations électriques (ES) qui assurent, à partir du réseau Haute Tension, les distributions moyenne et basse tension.
- tous les 750 m environ, les salles d'équipement électrique (ER) qui assurent la distribution des différentes tensions nécessaires à la commande et au contrôle des auxiliaires proprement dits.

- les locaux techniques de signalisation ferroviaire (SR),
- les stations électromécaniques de pompage.

Les locaux sont fermés, drainés et ventilés.

## 2. LES PRINCIPAUX ÉQUIPEMENTS FIXES DU TUNNEL SOUS LA MANCHE ET LEUR MISE EN OEUVRE

### 2.1 La ventilation et l'aérodynamisme

#### 2.1.1 Objectif

La ventilation du Tunnel sous la Manche a pour objectif :

- de permettre le renouvellement de l'air dans les tunnels, pour la sécurité et le confort des usagers. Le taux de renouvellement utilisé comme critère de conception, est fondé sur les prévisions du nombre des passagers en période de saturation (20 000), chaque personne devant disposer de 26 m<sup>3</sup>/h d'air.

- d'assurer l'évacuation rapide des fumées en cas d'incendie dans les tunnels ferroviaires ou dans la galerie de service.

- de procurer dans la galerie de service un refuge sans fumée aux passagers, en cas d'évacuation d'un train ou d'une rame, suite à un incendie.

- d'alimenter en air frais les locaux techniques.

#### 2.1.2 Aérodynamisme

L'effet de pistonnement est un élément à prendre en considération dans le dimensionnement du système de ventilation, de façon à assurer une stabilité dynamique satisfaisante.

Les contraintes dues au régime de pression dans les Tunnels Ferroviaires résultant de l'effet de pistonnement des trains, se traduisent par :

- une résistance à l'avancement des locomotives (besoin de puissance),

- des différences de pressions induites, qui agissent sur le matériel roulant, les équipements fixes des tunnels et sur

les passagers,

- des pertes d'énergie se répercutant sur la température et l'humidité du tunnel,

- des interférences avec le système de ventilation.

La construction des rameaux de pistonnement reliant à intervalles réguliers les tunnels ferroviaires, permet de diminuer l'effet de pistonnement en réduisant le circuit de l'air en tête de queue du train.

L'espacement et le diamètre des rameaux sont conçus pour minimiser les pressions et les vitesses de l'air induites, de façon à réduire à des niveaux satisfaisants les contraintes énumérées ci-dessus.

## 2.1.2.1 Installations mises en oeuvre

Il est prévu deux systèmes séparés de ventilation.

- le système de ventilation normale,

- le système de ventilation supplémentaire, utilisé pour contrôler les fumées dans les tunnels ferroviaires.

### (i) Ventilation normale

L'air est fourni par deux usines de ventilation situées, l'une au puits de Shakespeare Cliff, l'autre au puits de Sangatte.

L'air est acheminé, via les puits, dans la galerie de service qui joue le rôle de gaine de ventilation et distribué par l'intermédiaire des rameaux de communication à travers des grilles dans les tunnels ferroviaires, où le brassage de l'air est assuré par l'effet de pistonnement des trains. L'air vicié ressort par les portails des tunnels.

Les grilles sont munies d'obturateurs qui seront fermés en cas d'incendie dans un des tunnels.

Des sas sont prévus au niveau des portails de la galerie de service, pour empêcher la sortie de l'air soufflé et assurer la suppression du tunnel de service, par rapport aux tunnels ferroviaires.

Chaque usine de ventilation comportera deux ventilateurs axiaux, dont un en réserve, réversibles pour permettre de diriger l'évacuation des fumées. Ils comporteront des aubes à pas variables pour maîtriser les différences de pression entre tunnel de service et tunnel ferroviaire, à un niveau acceptable dans le cas d'évacuation des passagers.

### (ii) Ventilation supplémentaire

Chaque tunnel possède deux usines de ventilation situées, l'une au puits de Shakespeare Cliff, l'autre au puits de Sangatte. L'air circulant dans les tunnels peut être soufflé ou aspiré d'un côté ou de l'autre, en fonction des besoins.

L'usine de ventilation de chaque puits et de chaque Tunnel, comprend deux ventilateurs réversibles dont un de réserve.

Lors du fonctionnement de la ventilation supplémentaire, la fermeture des obturateurs des rameaux de pistonnement et des portes des traversées-jonctions, seront fermées par une commande à distance.

Le débit de la ventilation normale sera ajusté en cas d'évacuation des passagers, pour réduire la vitesse de l'air au niveau des portes des rameaux de communication, tout en gardant une suppression suffisante pour empêcher les fumées de rentrer dans le Tunnel de Service.

## 2.2 Le refroidissement des tunnels

### 2.2.1 Objectifs et principes de l'installation

Il s'agit d'éliminer la chaleur générée dans les tunnels ferroviaires qui est essentiellement produite par l'échauffement de l'air par frottement au passage des trains. Les calculs ont montré que, ni la ventilation, ni les dissipations naturelles (sol, eaux d'infiltration) étaient suffisantes pour maintenir les tunnels à une température acceptable de l'ordre de 25°C.

Pour ce faire, chaque tunnel a été divisé en quatre tronçons (sous terre et sous mer, côté français et côté britannique). Chaque tronçon est refroidi séparément par des circuits d'eau réfrigérée, composés chacun d'une conduite de départ et de retour.

La production et la circulation de l'eau réfrigérée sont assurées par deux usines de réfrigération placées à chaque puits (Sangatte et Shakespeare Cliff), chaque usine prenant en charge la réfrigération de deux tronçons (sous mer et sous terre).

### 2.2.2 Mise en oeuvre des installations

Si la mise en oeuvre des usines de refroidissement situées sur les deux côtés, au droit des puits de ventilation, n'a pas posé de problèmes particuliers, la mise en oeuvre des canalisations en tunnel a nécessité la conception et l'utilisation de matériels très spécifiques.

Nous rappellerons qu'il s'agissait d'installer dans les deux tunnels ferroviaires deux lignes de tuyauteries soudées d'un diamètre de 400 mm en partie sous-marine et d'un diamètre de 300 mm dans les parties sous-terrestres, représentant 200 km de tube, plus de 15 000 supports, 45 vannes principales, plus toute l'instrumentation liée à la régulation et au contrôle.

Le principe retenu pour cette installation fut celui de la mise en oeuvre de tuyauteries en grande longueur.

Des longueurs de tuyauteries, préfabriquées à l'extérieur, de 50 mètres de longueur ont donc été acheminées depuis les portails par des fardiers de transport constitués par des boggies articulés. Les tuyauteries, une fois en poste en tunnel, furent mises en oeuvre sur leurs supports par un train de montage automatisé équipé de bras hydrauliques programmés. Une fois fixées sur les supports, les tuyauteries furent soudées entre elles afin de constituer une ligne continue puis, après réglage par l'intermédiaire d'un rayon laser, définitivement fixées sur les ancrages.

## 2.3 Le drainage et le pompage

### 2.3.1 Objectif et principe de l'installation

Le système est destiné principalement à collecter et pomper vers l'extérieur toutes les eaux d'infiltration des tunnels. Il doit aussi permettre de collecter des débits supplémentaires d'eau ou d'autres fluides provenant :

- d'une rupture de canalisation d'eau,
- de la collecte des eaux de pluie provenant des têtes des tunnels,
- d'opérations de lutte contre l'incendie,
- d'écoulement de liquides provenant de marchandises transportées.

La collecte des eaux s'effectue par gravité le long des

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

caniveaux de drainage situés sous les deux voies ferrées et dans la dalle du tunnel de service. Les eaux sont dirigées vers des réservoirs (albraques) situés aux points bas du tracé des tunnels, puis refoulées, à travers trois conduites, vers l'extérieur des tunnels à l'aide de stations de pompage situées au droit des albraques.

Il y a en tunnel trois stations de pompage situées en niveau des points bas de l'ouvrage, une côté français et deux côté britannique. Ces trois stations sont sous mer.

Pour des raisons de sécurité de fonctionnement, chaque station est divisée en deux moitiés situées de part et d'autre du tunnel de service. Chaque moitié est alimentée électriquement de façon indépendante et est équipée de deux pompes. Le principe de fonctionnement de la station complète est le suivant : sur quatre pompes, deux sont en service, une en réserve et une hors de service ou en entretien.

Des albraques, dites de sécurité, permettent de stocker un volume d'eau supplémentaire en cas de perturbation affectant la station de pompage, de façon à disposer du temps nécessaire pour remédier au problème.

En cas d'épandage de liquides dangereux, par suite d'une fuite sur un véhicule ou un wagon de transport, les liquides sont automatiquement détectés avant leur arrivée dans les réservoirs et dirigés vers des réservoirs spéciaux.

## 2.3.2 Mise en œuvre des installations

Pour des raisons de sécurité et de maintenance, les canalisations de refoulement des stations de pompage ont été mises en œuvre dans le tunnel de service, en partie haute de celui-ci.

L'importance des réseaux d'exhaure en terme de sécurité étant primordiale, ceux-ci ont été conçus pour assurer une continuité d'exploitation (3 réseaux dont 1 en service, 1 en attente, le troisième en maintenance), mais également pour permettre un remplacement des tuyauteries dans le minimum de temps. Les réseaux sont donc constitués de longueurs de tuyauteries de 12 mètres assemblées par des raccords mécaniques rapides type Vicking Johnson.

Ce principe a nécessité, compte tenu de l'emplacement des tuyauteries et le besoin de maintenir, sous celles-ci, en galerie de service, un gabarit suffisant pour le passage des véhicules de maintenance et de secours, la conception d'un train de pose automatisé, équipé de bras de manutention hydrauliques. Avant pose des tuyauteries, les supports ont été réglés en position par rayon laser, le type de joint prévu imposant un abattage des tuyauteries avec une précision inférieure à 1 mm. Après pose et avant serrage définitif, une vérification précise de l'alignement au moyen d'un rayon laser a été effectué. Ce train automatisé de montage fut également utilisé pour la mise en œuvre de la conduite de lutte contre l'incendie.

## 2.4 Détection et moyen de lutte contre l'incendie

La prévention contre l'incendie est, en plus des règles d'exploitation, assurée par l'utilisation :

- de matériaux autant que possible résistants au feu et évitant sa propagation,
- des barrières ou portes coupe-feu, pour assurer la séparation entre : les tunnels ferroviaires ; les tunnels ferroviaires et la galerie de service ; les locaux techniques et la galerie de service ; la galerie de service et les sas.

Des détecteurs de fumée sont prévus dans tous les

locaux techniques avec extinction automatique en cas d'incendie, par du halon et action à distance sur les éléments permettant de couper la ventilation, fermer les obturateurs des grilles de ventilation et avertir le personnel d'intervention.

En tunnel, une canalisation d'eau incendie unique, divisée en 4 tronçons, permet d'alimenter des bouches d'incendie situées dans chaque rameau de communication et dans les tunnels ferroviaires ;

Chaque tronçon sera alimenté par un réservoir de 750 m<sup>3</sup> et une station de pompage, situés aux deux portails et à chaque puits.

Des dispositions sont prises pour permettre l'alimentation de n'importe quel tronçon en cas de défaillance du système d'alimentation de l'un d'eux.

## 2.5 La distribution d'énergie électrique

La puissance nécessaire au fonctionnement des auxiliaires et de la traction, est fournie par deux stations principales implantées sur chaque terminal et raccordées aux réseaux nationaux 400 000 volts (Seeboard et EDF). Chaque réseau fournit la moitié de la puissance. En cas de défaillance de l'un des réseaux, l'autre est capable d'assurer l'alimentation de tout le système moyennant le délestage des charges non prioritaires et une circulation réduite des trains et navettes.

Chaque station principale assure par l'intermédiaire de transformateurs, la distribution nécessaire pour :

- la traction (25 000 volts),
- les équipements auxiliaires des terminaux et des tunnels (20 000 volts).

Sur les terminaux, une boucle ouverte 20 000 volts alimente diverses sous-stations électriques qui assurent principalement, à l'aide de transformateurs, l'alimentation :

- des stations de pompage (3 300 volts),
- de l'éclairage extérieur en boucle ouverte 3 300 volts et tension 400 volts pour les luminaires,
- des ateliers et des bâtiments.

Dans les tunnels, la distribution est assurée par quatre lignes 20 000 volts. Deux sont réservées à l'alimentation des stations de pompage, deux à celle des sous-stations électriques réparties le long du tunnel de service. Les quatre lignes empruntent pour cheminer des tunnels différents (2 en galerie de service : pompe + auxiliaire) et un dans chaque tunnel ferroviaire.

Pour des raisons de sécurité et de redondance, les sous-stations électriques sont divisées en deux parties situées de part et d'autre du tunnel de service. Chaque partie est alimentée par une ligne différente et conçue de façon à secourir immédiatement l'autre partie en cas de défaillance de la première.

Les sous-stations électriques (ES) assurent tous les 3 ou 5 km environ, la transformation de la tension 20 000 volts en 3 300 volts et en 400 volts. La tension 3 300 volts sert à alimenter les salles d'équipement électrique (ER) qui assurent la distribution 400 volts.

La tension 400 volts est nécessaire pour alimenter par l'intermédiaire de tableaux :

- les appareillages électromécaniques, vannes, électrovannes, systèmes d'obturation des grilles, manœuvre des



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

portes etc..

- l'éclairage des tunnels : éclairage permanent, éclairage de haut niveau et éclairage d'urgence.

- les équipements électriques et électroniques (chargeurs-batteries, automates programmables, signalisation ferroviaire, etc...).

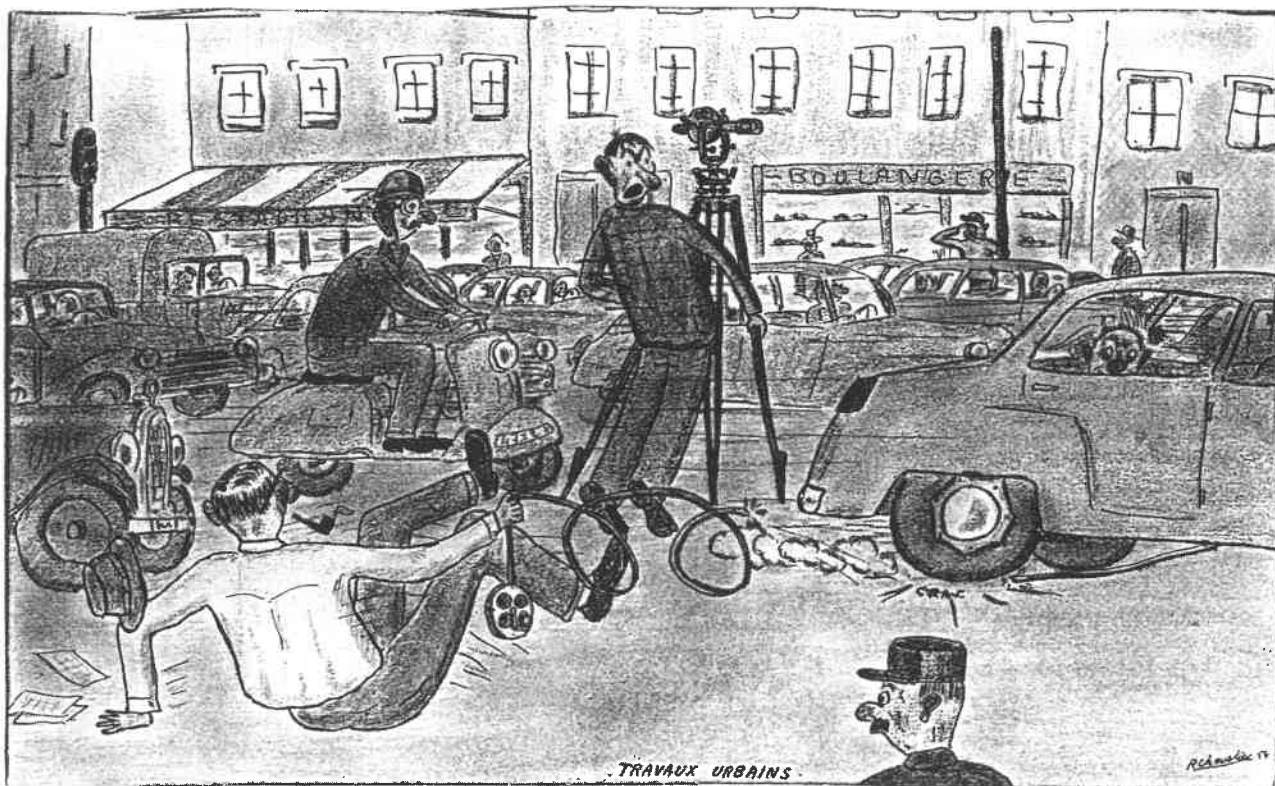
## 2.6 L'éclairage en tunnel

L'éclairage dans les trois tunnels est assuré par des luminaires placés sur les piédroits des tunnels côté galerie de service pour les tunnels principaux et en partie centrale pour le tunnel de service.

La pose des appareils a été déterminée pour assurer un éclairement minimal de 20 lux sur les trottoirs d'évacuation des tunnels ferroviaires.

En mode d'exploitation normale de l'ouvrage l'éclairage est en mode éteint. Son allumage n'est commandé, localement ou à distance, qu'en cas de nécessité (évacuation, maintenance).

L'éclairage revêtant une importance primordiale en terme de sécurité, chaque zone située entre les locaux techniques est alimentée par trois circuits séparés alimentant les appareils d'éclairage depuis deux locaux techniques, un des circuits étant résistant au feu.



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

C. Eymard



### DESCRIPTION DU CHANTIER

Trois tunnels de 50 kilomètres chacun

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

Tolérances contractuelles :

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

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

### Solutions envisagées

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

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

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

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

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

### Solution retenue

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

### Méthodologie adoptée

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

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

### DESCRIPTION DU SYSTEME T D S

#### Principe de la mesure d'un point

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

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

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

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

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

## Caractéristiques de la mesure d'un point

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

## Principe du guidage automatique

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

## Séquence de réglage automatique

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

## Avantages de ce système TD S

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

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

## L'IMPLANTATION DE LA VOIE AVEC $\pm 1$ MM DE PRÉCISION DANS LE TUNNEL CFF DU GRAUHOLZ. UN RECORD ?

H.-R. Riesen, H.-R Herren, CFF

### RÉSUMÉ

Le tunnel du Grauholz servira, dès 1995, à décharger le trafic ferroviaire de l'est de la gare de Berne, un nœud important dans le réseau des Chemins de Fer Fédéraux Suisses (CFF).

La pose de la voie avec une précision au millimètre visait plusieurs buts techniques, notamment celui d'acquérir de l'expérience dans la perspective de la réalisation des grands projets de traversées alpines. Tous les objectifs fixés ont été atteints.

### ZUSAMMENFASSUNG

Der Grauholztunnel wird ab 1995 der Entlastung des Bahnverkehrs im Osten der Stadt Bern, ein wichtiger Knoten im Netz der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB), dienen.

Mit dem Ziel einer Gleisverlegung mit mm-Präzision verfolgten die SBB verschiedene technische Ziele, unter anderem die Erfahrungssammlung in Hinsicht auf die Realisierung der grossen Bahn-Alpentransversalen. Die gesetzten Ziele wurden alle erreicht.

### SUMMARY

The Grauholztunnel, operational in 1995, will contribute to absorb the rail traffic in the eastern part of Bern, an important node of the Swiss Rail Network (SBB).

With a  $\pm 1$  mm track set out, SBB had different technical aims, in particular, to gather experience for the on-coming big Alp-Crossing Rail projects. All the aim were reached.



### 1. INTRODUCTION

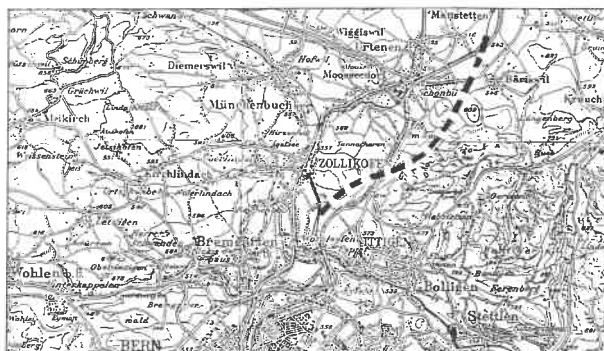
Le tunnel du Grauholz, actuellement en voie d'achèvement, est un tronçon de nouvelle ligne du réseau des Chemins de Fer Suisses (CFF). Dès 1995 il permettra d'augmenter la capacité ferroviaire à l'entrée Est de Berne, un important nœud ferroviaire des CFF.

Ce nouveau tronçon en tunnel, dont la superstructure des voies n'est pas ballastée, mais bétonnée est réalisé en préalable aux grands projets de nouvelles transversales alpines. Il revêt plusieurs intérêts techniques :

- Servir à gagner de l'expérience en prévision de la réalisation des futurs projets de traversées ferroviaires alpines.
- Permettre de mieux connaître le comportement dynamique des véhicules circulant sur une superstructure non ballastée.
- Minimiser les travaux d'entretien par une pose de voie géométriquement parfaite.

La précision imposée pour la pose des voies était extrême. Positionner les rails à  $\pm 1$  mm signifie travailler à la limite de la précision exigée pour certaines composantes de la voie comme par exemple l'espacement des attaches de rail sur les traverses en béton.

Le but de cette contribution est de décrire comment un travail géométrique très précis et fiable, associé à l'utilisation de CORAIL (pour "CONtrôle RAIL"), un nouveau logiciel performant pour le contrôle de l'implantation de précision des voies, a permis d'atteindre l'objectif fixé.



Extrait de la carte 1:100.000 du projet Grauholz. Reproduit avec l'autorisation de l'office fédéral de topographie du 07.10.1994.

### 2. LE MANDAT DE MESURE ; TRAVAUX EFFECTUÉS

Le tunnel du Grauholz est conçu pour une vitesse de 200 km/h. Les écarts entre la position définitive de la voie bétonnée et le tracé théorique doivent être inférieurs à :

- $\pm 3$  mm pour le tracé en plan et le profil en long;
- $\pm 2$  mm pour le dévers;
- $0.5 \text{ ‰}$  pour le gauche.

Pour garantir ces exigences, les géomètres CFF ont imposé au mandataire de travailler avec une précision de  $\pm 1$  mm. Les travaux de mesure suivants ont été effectués :

- Levé de la voie et montage de précision à son emplacement théorique (travail de jour).
- Contrôle du positionnement et éventuel ajustage, en respectant rigoureusement la tolérance exigée (durant la nuit).
- Réception de la voie bétonnée comme justificatif de la précision exigée (la nuit).

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

Ces travaux s'appuient sur les coordonnées des repères de voie, calculées préalablement dans un réseau de points fixes.

Tous les calculs d'implantation et de contrôle ont été effectués directement sur le terrain à l'aide du programme CORAIL développé par les Chemins de Fer Fédéraux.

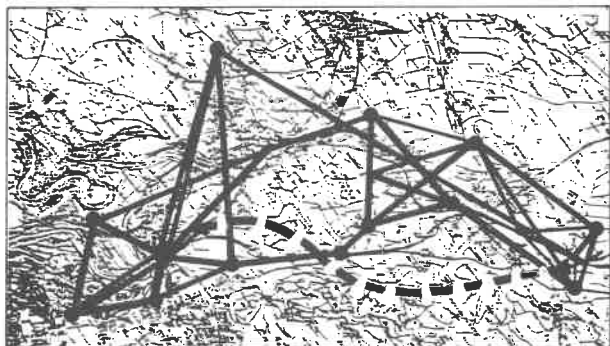
## 3. LES BASES DE LA MESURE TOPOMÉTRIQUE

### Généralités

Pour réaliser le tracé projeté du nouveau tunnel, il a d'abord fallu déterminer un réseau de base en surface qui a servi d'appui au réseau d'avancement souterrain.

### Réseau de base

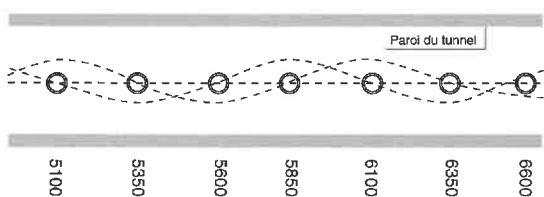
Le réseau de surface du tunnel CFF du Grauholz a été déterminé en 1986 sans utiliser alors les nouvelles techniques de positionnement par GPS. Pour des raisons de topographie et de couverture du sol, ce réseau revêtait un caractère mixte sous forme de réseau et de cheminement polygonal.



### Réseau d'avancement

Par une conception de visées chevauchantes, le réseau souterrain d'avancement a été conçu selon des critères d'optimisation économique tout en garantissant une excellente fiabilité sur le plan des mesures.

Schéma du réseau d'avancement avec des mesures chevauchantes



Exemple : Mesures de la station km 5600 : Visées vers  
5100  
5350  
5850  
6100

Après le percement, les mesures du réseau d'avancement ont été compensées rigoureusement. Les coordonnées des points fixes ont ainsi pu être déterminées avec une précision relative très élevée de :

$$\begin{aligned} m_x &\leq 1 \text{ mm} \\ m_y &\leq 1 \text{ mm} \\ m_h &\leq 1 \text{ mm} \end{aligned}$$

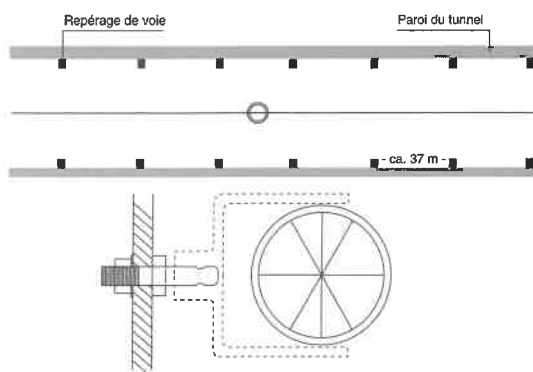
### Repérage de la voie

Les points du repérage de voie déterminés par rapport aux points fixes du réseau d'avancement servent de réfé-

rences fixes pour piqueter les tracés ferroviaires ou déterminer en tout temps et à chaque endroit la position de la voie.

Les goudons bétonnés tous les 37m. de part et d'autre dans les pieds-droits du tunnel, permettaient de poser directement le prisme réflecteur.

Schéma du repérage de voie par stationnement libre :



## 4. EXIGENCES DE PRÉCISION

La précision imposée pour la pose de la voie est spécifiée par l'erreur moyenne a priori, admise comme tolérance pour le réglage de la voie. Nous différencions ci-dessous deux notions de précision :

### a) La précision absolue

Elle est définie par rapport aux points fixes (l'erreur moyenne des coordonnées). La tolérance imposée est de  $\pm 1,5$  mm en situation et en altimétrie.

### b) La précision de pose relative

Cette valeur quantifie la précision de la voie par rapport aux points de contrôles avoisinants.

La voie a été réglée à l'aide de barres de montage disposées tous les 1.8 mètres le long de la voie. Il a ainsi été possible d'assurer une précision de pose inférieure à  $\pm 1$  mm en plan et en altimétrie et de garantir le dévers et le gauche dans le même ordre de précision.

Les outils de mesure utilisés permettent de contrôler directement la précision absolue. La précision relative ne peut que partiellement être contrôlée directement.

|  |   |
|--|---|
| Contrôle planimétrique et altimétrique de l'axe de la voie | -> Valeurs correctives fournies par CORAIL              |
| Dévers -   | -> Lecture sur le dispositif de mesure de la règle SOLA |
| Gauche   | -> Contrôle numérique indirect                          |

## 5. MODELE STOCHASTIQUE

La précision de positionnement dépend de plusieurs facteurs. Ceux mentionnés ci-après ont un caractère prépondérant :

### a) La précision des repères de voie

L'erreur moyenne sur les coordonnées compensées, issue du calcul de réseau est de  $\pm 1,0$  millimètre pour les coordonnées en plan ( $\sigma_L$ ) et en altimétrie ( $\sigma_H$ ).



## b) La qualité des mesures

Des mesures de contrôles préalables faites dans le tunnel (p. ex. lors de la vérification des gabarits de support de la voie) ont fourni les valeurs empiriques suivantes :

|                   |   |
|-------------------|---|
| Directions        | $\sigma_r = 6\text{cc}$                 |
| Angles de hauteur | $\sigma_H = 6\text{cc}$                 |
| Distances         | $\sigma_D = 1\text{ mm} + 1\text{ ppm}$ |
| Centrage          | $\sigma_Z = 0,3\text{ mm}$              |

## c) La portée des visées (le périmètre de mesure)

La distance max. des points visés est estimée à partir de la précision d'orientation de la station libre. Dans notre cas, elle était de l'ordre de 40-45m.

## d) L'influence des erreurs systématiques

Celles-ci doivent être soigneusement éliminées par des méthodes d'observation adéquates en prenant les précautions suivantes :

- contrôle du distance-mètre avant la campagne (constante d'addition)
- détermination journalière des erreurs d'instruments
- contrôle de l'excentricité des réflecteurs
- ajustage du système d'horizontalisation du dispositif de mesure de dévers de la règle SOLA

## 6. LE RÉSULTAT DU CALCUL À PRIORI

L'analyse à priori confirme les faits suivants :

### a) La précision de la station libre

Comme prévu, le calcul à priori confirme que la surdétermination élevée de la station libre permet d'obtenir la géométrie donnée du réseau avec l'excellente précision du positionnement que voici :

|                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|
| $m_x = 0,9\text{ mm}$ | $m_h = 0,5\text{ mm}$ |
| $m_y = 0,8\text{ mm}$ | $m_o = 15\text{ cc}$  |

### b) La précision des points de contrôle sur la voie

La détermination par des vecteurs des points de contrôle s'est toujours faite par détermination simple. Les points implantés à la limite du domaine de mesure (situés à environ 40 m de la station) sont contrôlés à partir des stations avoisinantes. Ceci a permis d'exclure toutes les fautes d'orientation planimétriques et altimétriques. En règle générale, les écarts  $m_q$  entre les deux déterminations étaient inférieurs au 1 mm.

|  |
|--|
| $m_d \leq 2\text{ mm}$ (erreur sur la distance)              |
| $m_R \leq 1\text{ mm}$ (erreur transversale)                 |
| $m_h \leq 1\text{ mm}$ (mesure altimétrique trigonométrique) |

### c) La précision relative

La précision relative imposée ( $m_q \leq 1\text{ mm}$ ) entre points de contrôles voisins (espacés de ~1.8m) a pu être garantie.

## 7. DISPOSITIF DE MESURE

Sur la base des résultats du calcul à priori, le dispositif de mesure suivant a été adopté :

### a) Instrumentation

- Théodolite d'ingénieur avec  $\sigma_R \leq 3\text{cc}$  et éventuellement un compensateur d'axe des tourillons
- Appareil de mesure électronique des distances avec  $\sigma_D \leq 1\text{ mm}$
- Lecture du dévers avec une précision  $\leq 1\text{ mm}$ .

### b) Dispositif de mesure/contrôles préalables

- Rattachement à au moins 6-8 repères de voie
- Calage précis
- Contrôles journaliers des erreurs instrumentales
- Distance maximale des visées de 40-45m
- Mesure en position I (contrôle en position II)

### c) Volume des mesures

- Par station, environ 45 points de contrôles
- Longueur du tronçon couvert par une station 80-90 m
- Temps de mesure requis par station: env. 1-1.5h
- Avance journalière avec deux équipes 600-800 m

## 8. LES RÉSULTATS DES CONTRÔLES (RÉCEPTION DU TRAVAIL)

Les écarts de la position de la voie sont déterminés **directement sur le terrain**. CORAIL fournit à l'opérateur les correctifs de la position de la voie en plan et en altimétrie.

Après les opérations préparatoires

- du chargement de la géométrie dans l'ordinateur de terrain et
- de la mesure de la voie enregistrée sur l'ordinateur de terrain,

le programme CORAIL calcule et affiche les écarts latéraux et verticaux de l'axe de la voie.

Puis l'ordinateur de terrain affiche :

- la valeur du dévers
- le kilométrage et le numéro du point

Ces résultats ont été notés manuellement sur le protocole de station.

Lors des deux contrôles finaux (avant/après le bétonnage) un protocole a été établi afin de permettre :

- le suivi permanent des tronçons contrôlés et la mise en évidence d'éventuelles discontinuités planimétriques, altimétriques et de gauche.
- l'appréciation de la qualité des tronçons réceptionnés et l'établissement systématique d'un protocole des problèmes rencontrés.
- une première évaluation immédiate des résultats sur le terrain.
- une comparaison de la position de la voie avant et après le bétonnage.

La seconde évaluation sur la base de mesures enregistrées a été effectuée ultérieurement par les services spécialisés des CFF.

Malheureusement, on n'a pas pu enregistrer automatiquement les résultats de l'évaluation de terrain.

## 9. EXPÉRIENCES DE LA CAMPAGNE DE MESURE

Le choix des dispositions de mesures a permis d'obtenir les résultats recherchés. Au niveau de la précision, aucun écart significatif n'a été constaté sur le terrain entre ce que prévoyait l'analyse à priori et les résultats de l'implantation. Par la suite, nous résumerons quelques détails techniques de la campagne de mesure.

### a) L'utilisation des instruments

Le choix d'un théodolite d'ingénieur avec les caractéristiques de précision évoquées plus haut s'est avéré judicieux. La précision générale de 1 mm exigée pour le piquetage, ne peut être obtenue qu'à condition de soumettre préalablement l'instrument à un contrôle. Des soins tout particuliers doivent être consacrés au distance-mètre et au système d'horizontalisation de la règle SOLA.

Les contrôles journaliers sont obligatoires pour mettre en évidence :

- L'erreur de collimation horizontale
- L'erreur d'index
- L'excentricité des réflecteurs
- La stabilité du trépied
- La nivelle torique de la règle à dévers SOLA.

### b) Règle SOLA (dispositif de mesure du dévers des CFF)

Ce dispositif de centrage spécialement développé pour la mesure directe de la position de l'axe de la voie a également fait ses preuves. Il est utile de contrôler régulièrement (toutes les deuxièmes stations) le dispositif de mesure du dévers. Un contrôle indépendant par nivellement géométrique ou trigonométrique est recommandé.

Si la règle SOLA dispose d'une nivelle ajustée, le dévers peut être mesuré avec une précision de 0,5 mm. Cette règle est nettement supérieure au système "Adapteur" conçu pour les contrôles de files de voie indépendantes.

Il est judicieux en utilisant la règle SOLA, de respecter les points suivants :

- Travailler avec une nivelle torique ajustée (contrôle indépendant)
- Poser soigneusement la règle et contrôler sa position sur les rails
- Veiller au pivotage centrique du réflecteur (même position de l'axe lors du pivotement à 180°)

### c) Les opérations de mise en station

Le calage précis du théodolite s'est effectué avec l'aide des angles de hauteur ce qui a aussi permis de connaître l'erreur résiduelle de l'axe des tourillons.

Les résultats du calcul de la station libre étaient examinés avant de commencer les contrôles. Les exigences étaient les suivantes :

|   |  |
|---|--|
| Précision de positionnement de la station   | ≤ 1 mm (en situation et en altimétrie) |
| Orientation de la station                   | ≤ 20 cc                                |
| Écarts résiduels aux points de rattachement | ≤ 1 mm                                 |

De rares fois, ces écarts ont atteint 2 mm pour des questions d'arrondis.

Les résultats du calcul de station libre ont été relevés sur le protocole de station. Il s'agissait notamment de noter les résultats de contrôles d'instruments de mesure.

### d) Mesures de contrôle

La mesure d'un point de contrôle à l'axe de la voie s'est effectuée par détermination simple. La visée en une seule position de la lunette, corrigée des erreurs instrumentales, est très économique à condition que les exigences suivantes soient respectées :

- visée centrée ≤ 0,4 mm
- position centrée du réflecteur
- règle SOLA ajustée
- pose contrôlée de la règle SOLA

L'utilisation simultanée de deux théodolites a permis de contrôler quelques points en limite de périmètre de mesure et de certifier ainsi la fiabilité du dispositif. Les résultats suivants ont été obtenus :

- Les valeurs correctives d'un point mesuré simultanément peuvent différer jusqu'à 1,5 mm.
- Ces valeurs maximales sont enregistrées dans la zone périphérique des domaines de mesure à 35-40m de chaque station.
- Les différences résultent des incertitudes d'orientation cumulées de chaque station.
- Lors des changements de station, il faut attacher beaucoup d'attention aux points en bordure du périmètre de mesure. Si nécessaire, on compense les écarts, à condition d'éviter les "sauts" supérieurs à 1 mm.

### e) Temps requis

Le contrôle de la voie dans le tunnel de 6.1 km. de long a porté sur les opérations suivantes :

- Le contrôle avant le bétonnage
- Le contrôle après le bétonnage

|                          | Nombre de stations | Nombre de points | Temps requis (total)    |
|--------------------------|--------------------|------------------|-------------------------|
| Côté Jura (Voie gauche)  | 165                | 6800             | 30 jours (deux équipes) |
| Côté Alpes (Voie droite) | 160                | 6800             | 22 jours (deux équipes) |

Le rendement dépend de la précision du pré-positionnement de la voie durant la journée. Une équipe posait environ 320-360m de voie par jour. Elle était composée de : un opérateur, un aide, un protecteur.

## 10. RECOMMANDATIONS POUR LES FUTURS TRAVAUX GÉODÉSIQUES DE VOIES

Des travaux géométriques du tunnel du Grauholz, on peut tirer en résumé les enseignements suivants :

1. Le réseau des points fixes doit être établi avec une précision et une fiabilité élevées et homogènes. Pour assurer des erreurs inférieures au millimètre en situation et en altimétrie une densité de points fixes espacés d'environ

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

37 m s'est avérée optimale.

2. Un contrôle préalable approfondi de tous les appareils de mesure est indispensable. Durant la campagne, des contrôles périodiques sont impératifs. La précision de mesures doit être inférieure à 1 mm.

3. Le stationnement libre est rattaché à au moins 7-9 points fixes pour assurer une précision d'orientation  $\leq 18''$ . La longueur de visée maximale vers les points de contrôle est de 40 à 50m.

4. Il faut éliminer toutes les erreurs systématiques.

5. Le contrôle final s'effectue par de bonnes conditions de visibilité et en dehors des périodes d'activité du chantier.

6. L'implantation des points dans les zones de transition entre deux stations se traite avec un soin tout particulier. Des écarts au-delà de 1 mm ne sont pas tolérés.

7. Garantir la qualité des mesures nécessite de travailler rapidement et avec soin.

## 11. CONCLUSION (PAR T. ERIGE CFF)

Tous les objectifs fixés pour les travaux géométriques dans le tunnel CFF du Grauholz ont été atteints.

Pour ce faire il aura fallu réunir :

- Un TRAVAIL de QUALITE - celui décrit dans ce texte
- Un OUTIL ADEQUAT - le logiciel CORAIL.

L'expérience tirée de ce travail doit maintenant être transposée dans la pratique. A court terme, ce sont les améliorations à apporter dans le secteur de l'instrumentation de contrôle et d'implantation qui seront les plus utiles.

Il est vraisemblable qu'ainsi, de futurs travaux d'implantation de haute précision des voies bénéficieront directement de l'expérience acquise dans le cadre de ce travail unique, réalisé par les CFF dans le tunnel du Grauholz.

## Remerciements à :

• Monsieur *Jean-Jacques Stuby*, géomètre à l'Arrondissement I des CFF à Lausanne.

Ses idées et son travail de développement ont donné naissance au logiciel CORAIL, élément clé à la base de l'implantation de précision de la voie dans le tunnel du Grauholz.

• Monsieur *Andreas Künzle*, responsable CFF de la voie du secteur de Berne.

Sa présentation compétente du système CORAIL est à l'origine de l'abandon des méthodes classiques à la faveur de la nouvelle approche d'implantation de voie, réalisée avec succès dans le tunnel du Grauholz.

• Messieurs *Georg Hejda* et *Heinz Rickli*, responsables CFF des travaux de voie effectués dans le tunnel du Grauholz. C'est à partir de leur accord bienveillant que l'idée de cette publication a pu être développée.

## Bibliographie

*CORAIL*, le contrôle de la voie au théodolite par "station libre". Diaporama CFF, 1994.

*T. Engel, J.-J. Stuby*. CORAIL : Le lien entre le projet géométrique de la voie et sa réalisation sur le terrain. XX. FIG Congress, Melbourne, 03.94. 1s open rail session.

*Adresse de l'auteur principal*, géomètre mandaté par les CFF pour l'implantation de la voie dans le tunnel du Grauholz

Riesen & Stettler AG  
Ingenieur- Und Vermessungsbüro  
Zentrumsplatz 14  
3322 Schönbühl-Urtenen  
Tél. : 0 031/859 67 11



**Que vous soyez  
un professionnel  
de la Topographie**



**Que vous soyez  
un utilisateur  
de la Topographie**

- Bureaux d'Etudes
- Cabinets de Géomètres - Experts
- Services Publics
- Enseignement spécialisé
- Conception et diffusion de produits et matériels topographiques...

- Maître d'œuvre
- Services Techniques des villes
- Entreprises de Travaux Publics
- Architectes
- Urbanistes
- Industriels
- Organismes fonciers et d'aménagement...

## **VOUS TROUVEREZ RÉUNIS AU SEIN DE L'ASSOCIATION FRANÇAISE DE TOPOGRAPHIE (L'A.F.T.)**

*Tous les professionnels et utilisateurs, des techniques de la topographie,  
de la géodésie, de la photogrammétrie, de la topométrie, de l'hydrographie,  
de la cartographie, de la métrologie,  
des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG)...*

### **EN ADHÉRANT**

à cette association, vous serez en contact direct avec tous les intervenants de la topographie.

### **EN PLUS :**

vous participerez à l'action et au soutien de la profession.

### **A TRAVERS :**

ses publications (une revue trimestrielle : XYZ,  
un annuaire professionnel, des brochures...)

### **GRACE À :**

ses manifestations (colloques, rencontres, congrès nationaux  
et internationaux, journées d'études...)

---

**Pour être informé sur la vie de la profession et ses techniques**

**ADHÉREZ :**



**A.F.T. : 136 bis rue de Grenelle - 75700 PARIS 07 SP**

**Tél. : 43 98 84 80 - Fax : 47 53 07 10**





**1 500 M<sup>2</sup> - 73 EXPOSANTS ET 30 PANNEAUX**

## **QUELQUES STANDS**

### **■ GEOTRONICS**

Sur le stand Geotronics, les nouveautés présentées concernaient les toutes récentes possibilités d'évolution du Geodimeter System 600 ainsi que les améliorations du Geotracer System 2000, le système GPS, introduit sur le marché au cours de l'année 1994.

La sortie de l'option AUTOLOCK pour le System 600 constitue pour l'opérateur le progrès ergonomique majeur jamais réalisé dans le domaine de la technique topographique. En effet, après un pointé grossier (à 2,5 m près à 100 m) du réflecteur, le système AUTOLOCK entre en action et le pointé final ainsi que le suivi du réflecteur se font sans intervention manuelle : les opérations de fin pointé et de mise au point optique sont totalement supprimées. Rapidité, sécurité et rentabilité sont le maîtres mots de cette nouvelle option AUTOLOCK.

Cela représente une étape supplémentaire dans la modularité du Geodimeter System 600, le seul équipement topographique entièrement évolutif actuellement disponible sur le marché.

Côté GPS, le Geotracer System 2000 poursuit sa montée en puissance à travers la présentation d'une nouvelle

version du logiciel GEOTRACER de post-traitement avec des fonctionnalités supplémentaires et des capacités étendues (par exemple le traitement en bloc de 5000 lignes de base). De nouveaux accessoires sont également présentés, notamment pour accélérer et améliorer les procédures de terrain en mode cinématique. La facilité d'utilisation du Geotracer System 2000 ainsi que son excellent rapport performance/prix mettent enfin le GPS à la portée de la majorité des Géomètres et topographes.

(Géotronics - 2-4 rue du Suffrage Universel - 77185 Lognes - 30 37 50 60)

### **■ CORALIS**

CORALIS est un bureau d'études spécialisé en gestion quantitative des mouvements de terres pour les mines, carrières et travaux publics. CORALIS commercialise un système informatique comprenant des modèles du sol et du sous-sol, un logiciel de CAO de terrassement, et un SIG relié à un SGBD historique. Ce système est utilisé en calculs de cubatures, conception de projets, conduite d'exploitation et gestion foncière.

(BP 24000 - 13791 Aix en Provence - Cedex 3 - Tél. : 42 24 24 25)





## ■ BORNES FENO

Outre les produits traditionnels et bien connus des géomètres : borne tête Polyroc, amarre Galvochaud avec système d'ancrage à 3 tiges déployables, deux nouveautés sur le stand :

- la rondelle d'identification gravée permettant par sa présence sur la borne l'identification du géomètre, la nature des travaux etc.

- la borne témoin de nivellement garantissant sur plusieurs années les coordonnées XYZ d'un point de nivellement.

(BP 13 - 088000 Thilay - Tél. : 24 32 81 22 - Fax : 24 32 84 93)

## ■ SPECTRA-PHYSICS

La Société Spectra-Physics, reconnue depuis 1961 comme leader des applications laser dans le BTP, est aussi le symbole d'une société innovatrice dont bon nombre de ses inventions ont été reprises par les grands noms de la topographie. Parmi elles, on peut citer : le laser offshore, le laser plan rotatif, le niveau électronique (1978), le PlumbPlane d'équerrage vertical, le système de positionnement XY par code à barres Capsy, ainsi que de nombreux systèmes de réception laser et ultrasons servant à la robotisation progressive des engins de BTP.

(Av de Scandinavie - ZA Courtabœuf - BP28 - 91941 Les Ulis Cedex)

## ■ JS-INFO

Ascodes peut-il enfin être mis entre toutes les mains ? C'est le pari de JSInfo avec JIS-CAD. Ce nouveau produit conserve la puissance d'Ascodes-3 tout en lui apportant la

convivialité et le fonctionnement intuitif d'une interface utilisateur X-Window. Il est destiné à traiter de façon homogène les diverses facettes de l'activité du Topographe et du projeteur, du lever aux profils et cubatures. Le manuel de prise en main rapide et l'aide en ligne à chaque fonction contribuent à rendre le système utilisable par tous.

(8 rue de la Maison Rouge - Lognes - 77323 Marne la vallée Cedex 2 - Tél. : 60 17 34 21)

## ■ FOGALE - NANOTECH

Capteurs sans contact, capacitif pour mesures en continu de nivellement (vases communicants avec de l'eau, et d'alignement (fil tendu) - Etendue de mesure : 2,5 mm, précision  $\mu\text{m}$ .

Posters illustrant quelques-unes de ces mesures : 1- nivellement du synchrotron de Grenoble, 2- basculement du bâtiment du synchrotron selon le niveau de la couche phréatique, 3- contrôle d'élasticité de bétons, 4- déformations d'une dalle dues au passage du pont roulant, 5- marées terrestres, 6- affaissement d'une église médiévale en Belgique, 7- alignement et nivellement de deux tables distantes de plusieurs dizaines de mètres.

(190 rue G. Besse - 30000 Nîmes)

## ■ TECHMATION

TECHMATION présente la toute dernière option UPDGPS que la société ASHTECH vient de lancer sur le marché : cinématique et trajectographie au centimètre sans initialisation statique en TEMPS RÉEL. Cette possibilité peut être installée dans tout récepteur bi-fréquence (code C/A, code P sur L1 et code P sur L2) Z-12 existant, mais peut être également acquise par l'intermédiaire d'un nouveau modè-



le tel que le récepteur Z-12 RT PNAV. L'utilisation logistique en est simple ; deux récepteurs Z-12 sont équipés du programme interne RT PNAV et sont reliés par Radio modem. L'un des deux Z-12 est choisi pour servir de centre de collecte et de calcul afin de délivrer en temps réel les points calculés et corrigés par PNAV. L'acquisition et le traitement sont automatiques et la cadence de sortie est de 1 Hz (une par seconde).

TECHMATION introduit également le dernier logiciel ASHTECH d'ajustement de réseau "SNAP" qui permet d'ajuster automatiquement des mesures GPS géodésiques avec des mesures optomécaniques de distances, d'angles et de nivellement afin d'avoir un réseau homogène"

(20 quai de la Marne - BP28 - 75297 Paris Cedex 19 - Tél. : 42 00 11 06 - Fax : 42 00 17 87)

## ■ TOPCON - SLOM

"TOPCON-SLOM" exposait sur son stand ses deux dernières nouveautés : la Station Motorisée AP-L1 et le Niveau à Lecture Digitale DL-102. Ces deux appareils avaient déjà été présentés en avant-première lors d'un précédent congrès.

La Station motorisée AP-L1 allie vitesse et précision. Tous les mouvements de l'instrument sont assistés par des servos-moteurs permettant des déplacements rapides. La plage de recherche est paramétrable en balayage angulaire ; toutes les fonctions de l'AP-L1 peuvent être commandées, contrôlées et paramétrées à distance à partir du carnet.

Le Niveau à Lecture Digitale se décline en deux versions : le DL-101 (précision de 0,4 mm pour 1 km de cheminement) et le DL-102 (précision 1 mm). Environ 2 400 points peuvent être stockés en mémoire."

(104-106 rue Rivay - 92300 Levallois Perret - Tél. : 41 06 94 90 - Fax : 47 39 02 51)

## ■ G5Technologie - GEO - SQL - FRANCE

Géo/SQL, est un SIG doté d'une base de données topologiques en relation avec des bases de données relationnelles (Oracle...).

La simplicité de sa mise en œuvre le rend très fonctionnel : recours aux vrais standards (Oracle, SGBDR, SQL autoCAD, Windows, MS/DOS, UNIX...), plates-formes multiples (monopostes, réseau, PC...), fonctionnalités topologiques, cartographiques ou encore d'analyse de réseau.

Du Géo-marketing à l'analyse technique la plus sophistiquée, Géo/SQL apporte une solution efficace, économique et productive à tous les intervenants dans le domaine de l'information localisée.

(3 bis rue du Petit Robinson - 78353 Jouy en Josas Cedex - Tél. : 34 63 02 82 - Fax : 34 63 02 86)

## ■ CADASTRE DGI

Le service de documentation National du Cadastre a présenté diverses brochures exposant ses différentes productions traditionnelles démontrant son savoir faire, mais aussi les techniques de pointe telles que la micromation, le microfilmage cinétique, la photogrammétrie et l'informatique appliquée au plan cadastral.

## ■ ANGALIS

ANGALIS présentait son service ANGALISCAN : voir la vectorisation de plans conformément au cahier des charges de la D.G.I. (calage LAMBERT, transformées HELMERT).

- le devis gratuit sous 48 h
- la vectorisation partielle (test) gratuite

Angalis est aussi fournisseur d'équipements périphériques d'ordinateurs : traceurs toutes technologies, scanners A0, digitaliseurs tous formats.

(Tél. : 69 18 45 00 ou 69 18 45 07)

## ■ TRIMBLE

Trimble-France présentait sa gamme de récepteurs GPS dont la distribution s'appuie sur la compétence et le dynamisme de 3 distributeurs : Le Pont Equipement, D3E Electronique et ACTHYD.

Trimble présentait en particulier le système RTK développé sur la base des récepteurs 4000 TRIMBLE permet en temps réel (quelques secondes) d'obtenir une position en coordonnées locales avec une précision de 2 cm + 2 ppm. Cette option RTK est disponible aussi bien sur les récepteurs monofréquence 4000SE que bifréquence 4000SSE.

Le RTK monofréquence nécessite une liaison radio à 1200 bauds et un carnet de terrain afin de visualiser la position ou les indications pour aller implanter un point, l'initialisation se faisant entre deux points connus. La souplesse accrue du système RTK en bifréquence provient de la possibilité de lui ajouter le firmware OTF, initialisation automatique ne nécessitant qu'un point connu, une liaison radio 4800 bauds et un carnet de terrain. Le récepteur "raccroche" automatiquement lorsqu'il a perdu le signal et l'opérateur visualise sur le carnet de terrain la récupération des 2 cm de précision.

(ZAC du Moulin - 9 rue de l'Arpajonnais - 91160 Saulx les Chartreux - Tél. : 64 54 83 90 - Fax : 69 34 49 73)



## ■ PENTAX

Présentait sa nouvelle gamme de stations totales : la série PTS-V offre, outre une précision allant de 2 cc à 10 cc selon le modèle, un large choix de fonctions grâce à ses 18 programmes de calculs qui viennent compléter les modes de réduction standards.

(12 rue A. Croizat - BP204 - 95106 Argenteuil Cedex - Tél. : 39 82 50 24)

## ■ 3IG - Ingénierie et Informatique Interactive Graphique

Présentait la nouvelle version d'URIAH et son architecture Acteur / Interacteur distribuée sur plates-formes UNIX hétérogènes, opérationnelle sur des systèmes d'information temps critique. URIAH est une solution très adaptée à la prise de décision de groupe.

(20 rue Schnapper - 78100 St Germain en Laye - Tél. : 39 73 69 97 - Fax : 39 73 33 56)

## ■ SPOT-IMAGE

Partageait son stand avec l'IGN. La société possède, en stock, 4 millions de vues satellites, 3 filiales à l'étranger, 20 stations mondiales de réception directe, 80 points de vente dans le monde. Plus de 200 millions de CA en 1994 et il est prévu un doublement à l'horizon 2000. L'information géographique et la cartographie sont les grands clients (35 %), mais aussi l'agriculture, forêts et végétation (25 %), la géologie (18 %) et les travaux publics (8 %), le reste est le grand public.

(SPOT-Image - 5 rue des satellites - BP 4359 F 31030 Toulouse Cedex - Tél. : 62 19 40 40 - Fax : 62 19 40 11)

## ■ IMA/GEO - GEO/IMAGE - GEOMEDITERRANEE

Présentait :

- Atelier cartographique GEOimage : Ce logiciel de traitement d'images très convivial est orienté vers la production cartographique et permet de créer des présentations

finales avec une grande facilité. Il a déjà été installé sur bon nombre de site en France et à l'étranger.

- Les services de production d'orthoimages numériques, modèles numériques de terrain, spatio-cartes, cartes thématiques utilisant le logiciel GEOimage.

- Le système DVG (Digital Video Geographic System) de NORTECH SURVEYS qui permet la saisie aéroportée d'images numériques et de données altimétriques par profilateur laser. Conçu comme un moyen plus flexible de réaliser des relevés linéaires pour grands projets DVG a déjà des références sérieuses et le nouveau système, DVG ATLAS est prévu en France en février 1995.

M. Taylor d'IMA/GEO a fait une présentation sur le DVG dont des copies peuvent être obtenues en contactant IMA/GEO au (1) 46 72 33 69.

## ■ SINTEGRA

En plus des services connus de la société, étaient présentés deux aspects récents de son activité :

Le premier concerne la détermination des coordonnées de points de vues, par méthode GPS, lors d'une prise de vues aériennes.

L'avion de prise de vues est équipé d'une antenne, dont la position est connue par rapport au centre optique de la caméra (en fonction de la route suivie).

La détermination des points de vues est rendue possible grâce à la saisie simultanée des informations reçues par deux récepteurs bi-fréquences ASHTECH, l'un au sol, l'autre dans l'avion. Cette technique doit permettre de réduire sensiblement l'appui au sol.

Le second se rapporte au traitement d'images numériques. Ont été présentés des résultats de calcul de MNT par corrélation automatique, des logiciels d'animation et de mosaïquage d'images et différents produits dérivés de MNT (orthophotos, cartes de pentes etc...).

(Paris - La Défense - 4 rue de l'Abreuvoir - 92400 Courbevoie - Tél. : 76 90 43 54 - Fax : 76 90 19 87)



#### ■ SOFT CONSTRUCT

Présentait la version 8 du logiciel topographique et routier STRADA, qu'utilisent déjà de nombreux utilisateurs nationaux et internationaux.

Les évolutions STRADA POLARIS sous Windows 95 et STRADA ATLAS dans l'environnement MicroStation. STRADA POLARIS gère ses données au travers d'une base de données standard accessible via ODBC (dBase, Access, Paradox, Oracle...).

(Tél. : 32 41 44 20 27)

#### ■ CARL ZEISS

*Instruments Topographiques (norme ISO 9001/EN 29001) :*

Présentation des niveaux digitaux DiNi: le géomètre trouvera la meilleure précision avec le DiNi 10 (0.3 mm) et le DiNi 20 (0.7 mm) qui font le traitement numérique d'images sur la mire code-barre en utilisant seulement 30 cm quelle que soit la distance.

Présentation de la nouvelle Série R avec le théodolite ETh 50 et la station ELTA 50 pour les travaux de routine, des nouveaux REC ELTA 13 et 14 et du nouveau REC ELTA RL-S complémentaire au REC ELTA RL, mesure sans réflecteur : 400 m.

Avec 5 stations totales et 9 stations totales informatiques, Carl Zeiss répond à tous les besoins et tous les budgets.

(Carl ZEISS Div. GEO - J-F Cabanel - Tél. : 34 80 20 00 - Fax : 34 80 20 01)

*Photogrammétrie :*

Présentation de PHODIS ST, système de traitement d'images numériques qui vient enrichir l'environnement Phodis, destiné à la création et à la visualisation de stéréomodèles numériques et leur exploitation avec le soutien d'un logiciel photogrammétrique et cartographique. Automatisation de la procédure d'orientation interne et relative, système d'observation stéréoscopique performant et souris P comme élément de commande ergonomique central ; stéréosuperpositions en couleur et réintégration des données dans le système photogrammétrique Phodis. Avec l'environnement PHODIS, Carl Zeiss couvre les applications majeures de la photogrammétrie numérique.

Présentation du restituteur analytique VISIOPRET I0 DIG pour la stéréo-interprétation fine : il répond aux problèmes d'interprétation, de mesure et de restitution photogrammétriques d'une précision moyenne. Interface pour AutoCad, MicroStation,...

(Carl ZEISS Photogrammétrie - Didier KOPF Tél. / Fax : 88 68 82 07)



#### ■ SNCF

La direction de l'Équipement de la SNCF a montré aux visiteurs du CITOP, à l'aide d'un film vidéo, les activités de son département des lignes nouvelles dans le domaine de la conception des lignes TGV. Ce département qui bénéficie de 25 années d'expérience est composé de topographes, de géologues, d'hydrologues et d'agents d'études. Il réalise les études préalables (recherche des différents fuseaux possibles), les études d'avant projet au 1:5000 et de projet au 1:1000, compte tenu des différentes contraintes rencontrées : topographie, géologie, hydrologie, urbanisme, environnement naturel, sites remarquables, contraintes économiques...

Le respect des différentes phases administratives, notamment la mise au point du dossier d'enquête préalable à la Déclaration d'Utilité Publique et des dossiers d'enquêtes parcellaires, fait également partie des attributions de ce département.

Six panneaux illustraient et complétaient ces informations.

#### ■ BAYOT - PARIS SUD - MOTOROLA

Cette société agréée MOTOROLA se fixe pour mission de résoudre les problèmes de communication par la mise à disposition, en vente ou location, de terminaux radios portatifs, de mobiles embarqués, de station de base ou de toute autre système plus complexe de radiocommunications.

(2 rue Louyot - BP25 - ZI d'Outreville - 60540 Bornel - Tél. : 44 08 54 64 - Fax : 44 08 42 79)

#### ■ INSTITUT GEOGRAPHIQUE NATIONAL - IGN

L'IGN ne se présente pas, ou alors plusieurs numéros de XYZ n'y suffiraient pas (il occupe d'ailleurs souvent nos colonnes !). Il faut quand même dire que cet organisme national est l'héritier de l'ambitieuse entreprise amorcée sous Louis XIV, avec vocation de représenter le territoire national.

La géodésie de la France, en trois dimensions, la carte de base, tous les repères nécessaires aux produits cartographiques, le tout malaxé par une alchimie de hautes technologies et de savoir-faire d'artisans au long passé, le tout également enrichi par l'échange et le dialogue international : c'est l'IGN.

Alors, au milieu des produits présentés, que dire de mieux que : Allez-y voir, à Saint Mandé ou rue de la Boétie, aux Champs Élysées.

(IGN - 136bis rue de Grenelle - 75007 Paris SP)

## ■ Ecole Nationale des Sciences Géographiques (ENSG)

Fondée en 1941 pour assurer la formation du personnel technique de l'IGN, les attributions de cette école se sont étendues à la recherche, à la formation continue, puis à la formation d'élèves et stagiaires avec vocation internationale. Des cadres supérieurs, ingénieurs et techniciens originaires de plus de 80 pays ont été formés dans cette école.

Sont enseignées les disciplines qui interviennent dans l'équipement géographique et cartographique de base d'un pays. Compte tenu du développement de la saisie et du traitement automatisé des SIG, l'enseignement de l'informatique occupe une place importante dans les programmes.

Dans quelques mois, l'ENSG, actuellement à Saint Mandé, déménagera à la Cité Descartes à Marne-la-Vallée. Elle y investira un splendide bâtiment qu'elle partagera, quelle chose est plus naturelle, avec l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, l'ENPC.

(2 avenue pasteur - 94160 St Mandé - BP68 - Tél. : 43 98 84 63 - Fax : 43 98 84 65)

## ■ LEICA



La société Leica a entièrement consacré son stand au nouveau cadre de tous ses développements en cours et à venir : le concept OSW (Open Survey World).

OSW n'est pas une nouvelle gamme d'instruments mais un nouveau concept, un nouvel environnement permettant de produire des données de la façon la plus



rationnelle, la plus simple et la plus économique.

Avec OSW, instruments (stations totales et GPS) et logiciels communiqueront librement grâce à l'utilisation commune d'un nouveau format de données, d'une nouvelle interface et d'un nouveau support d'enregistrement : la carte PCMCIA.

Au sein de ce concept, une nouvelle génération d'instruments a été développée : le TPS-System 1000 (Theodolite Positioning System) qui comprend 9 stations totales, coaxiales ou modulaires, manuelles ou motorisées.

Sur le stand Leica, on a pu voir :

- Deux membres de la famille TPS-System 1000 : le TC 1700, station totale manuelle de précision 0,5 mgon (1,5") / 2 mm + 2 ppm et le TCM1800, station totale motorisée de précision 0,3 mgon (1") / 2 mm + 2 ppm.

- La nouvelle méthode de levé sur le terrain avec le logiciel Fieldlink (fonctionnant sur un portable type Penpad), véritable outil de contrôle-qualité d'acquisition et de traitement des données sur le terrain.

- La nouvelle station totale TC 600, spécialement développée pour les géomètres d'entreprise, avec sa bibliothèque de programmes intégrant, entre autres, les applicatifs «orientation», «implantation» et «distances entre 2 points» et sa mémoire interne pouvant stocker plus de 2000 points !

- AutoSql, le module SIG du logiciel de cartographie AutoMap (développé par PcVision et distribué par Topo Center). Notons que le logiciel de cartographie AutoMap sera prochainement intégré au concept OSW.

- Le logiciel Arcview 2 d'ESRI, précurseur d'une nouvelle génération de SIG personnel. Grâce à une interface intégrée à AutoSql, il devient possible de visualiser sur Arcview 2 des données graphiques et alphanumériques sous Windows de façon performante et conviviale.

(86 av. du 18 juin 1940 - 92563 Rueil Malmaison Cedex - Tél. : 47 32 85 42 - Fax : 47 32 85 95)

## ■ SOROSPACE

SOROSPACE, société en participation, regroupe 3 partenaires pour offrir une suite de produits et de services parfaitement cohérents et performants en matière de modélisation et de visualisation, depuis la saisie des fonds de plans jusqu'à l'image de synthèse et l'animation :

Soft'X (28 avenue du 19 mars 1962, 78370 Plaisir - France) éditeur de logiciels avec en particulier le modèleur 3D Turbo et le SIG MacMap. Créations Conseils Services (Blars 46330 - France), pour la topographie et la cartographie 3D ainsi que la modélisation d'ensembles urbains.

MacEspace SA (Avenue Haldimand 21, 1401 Yverdon-les-Bains - Suisse), spécialiste en modélisation d'ouvrages d'art et contrôles d'impacts visuels.

(Blars - 46330 - Cabrerets)

## ■ TOPO CENTER

Le réseau de distribution Topo Center (12 magasins en France), spécialiste de la vente, location et réparation d'instruments de topographie et de lasers, a exposé cette année une gamme complète de lasers répondant à l'ensemble des besoins du marché des Travaux Publics, de la Construction et du second Œuvre, dont notamment :

En laser d'intérieur, la nouvelle gamme de lasers à rayon visible Quadriga, simple d'emploi et bon marché, idéale pour les artisans mais aussi le laser WILD IBA 70 de Leica qui, à la fois robuste et précis, se révèle indispensable à tous les professionnels du second œuvre.

Plus adapté aux travaux de construction était présenté le dernier laser monopente automatique du marché : le Pro-Shot L1-AS.

Enfin, on a pu voir le laser d'assainissement WILD PLA10/20 de Leica, considéré aujourd'hui comme l'instrument incontournable pour la pose de canalisations.

Côté Topographie, Topo Center a présenté le théodolite de chantier T100 de Leica avec son dispositif unique de centrage et le tachéomètre électronique TC400, spécialement conçu pour les mesures et levés topographiques simples



effectués dans le secteur de la construction, de l'exploitation forestière...

(86 av. du 18 juin 1940 - 92563 Rueil Malmaison Cedex - Tél. : 47 32 85 42 - Fax : 47 32 85 95)

#### ■ MESURES ET SYSTEMES

Sur ce stand se remarquaient trois types de matériels innovants :

- En photogrammétrie de pointe, le stéréorestituteur analytique PROMAP de la société ADAM Technology, de haute précision et très convivial. Evolutif, le PROMAP va recevoir prochainement des équipements de photogrammétrie numérique, injection d'images, etc.

- Pour le terrain : les stations totales servomotorisées GEODIMETER 600, gain de temps appréciable pour les opérations de levés et d'implantations.

- Pour le bureau : le planimètre électronique SUPER PLANIX, qui est en même temps un digitalisateur autonome, à la fois mobile et très précis.

(6 rue des Jardins - 60500 Chantilly - Tél. : 44 57 27 97 - Fax : 44 57 46 58)

#### ■ SOKKIA

A l'occasion de ces 75 ans la société développe une nouvelle gamme de Stations Totales incorporant les dernières découvertes technologiques. En résulte : la simplicité par une mise en œuvre de la Station Totale avec seulement 5 touches et une sécurité accrue grâce au compensateur BL-AXIAL. En outre l'utilisateur peut programmer les menus en fonction de ses utilisations. Cette année verra également la sortie de Stations d'une nouvelle conception et d'une gamme complète de GPS allant du système pour les bases de données au système géodésique.

(SOKKIA Ile-de-France - 12 av. Gabriel Péri - 78360 Montesson - Tél. : 30 53 09 73)

#### ■ LE PONT EQUIPEMENTS

LE PONT Equipements partenaire privilégié des géomètres, topographes depuis plus de 40 ans et TRIMBLE ont décidé d'unir leurs compétence pour apporter aux utilisateurs les meilleures conditions, GPS et Informatique, adaptées à leur besoins. 2 nouvelles agences "LE PONT" viennent d'être créées portant ainsi le nombre de points d'accueil à 5 (Fontenay/Bois, 2 av. de la République - Tél. : (1) 48 77 33 66 et Avignon, 8 route de Lyon - Tél. : 90 85 86 85). Cette année devrait voir le nombre des agences augmenter très sensiblement.

(Rue Copernic - 38670 Chasse sur Rhône - Tél. : 78 07 90 40 - Fax : 72 24 03 65)

#### ■ NIKON

NIKON présentait la version 1,2 du logiciel AP700 pour station KHEOPS et une nouvelle station à mémoire interne.

La version 1,2 du logiciel AP700 enrichit la bibliothèque de programmes de la station compatible PC : cette nouvelle version intègre des fonctions évoluées telles que compensation de polygonale, relèvement multiple, géocodification thématique, transfert direct sous AUTOCAD et diverses fonctions COGO.

La DTM300 est un tachéomètre électronique à mémoire interne qui, outre la mémorisation de plusieurs centaines de points, offre de nombreuses fonctions : citons la station libre, l'implantation..., le tout au moindre coût.

(Division Instrument - 191 rue du Marché Rollay - 94504 Champigny sur Marne Cedex - Tél. : 45 16 45 16 - Fax : 45 16 00 33)





## ■ INBC Systèmes

INBC Systèmes a présenté ses dernières applications avec la diffusion des systèmes :

- Photogrammétrie ROLLEI :

- dont le redressement d'images MSR par scannérisation de photos et traitements sur images.

- les différents travaux réalisés par ses clients à partir du procédé photogrammétrique MR2 permettant le traitement tridimensionnel de la mesure par plusieurs photos dans les environnements les plus divers et complexes.

- S.I.G. ASCODES 3 : avec les développements spécifiques adaptés aux besoins particuliers des clients (cartographie, gestion de bases de données,...)

- TOPOJIS et des développements appropriés, notamment avec les stations totales ZEISS, dont elle assure la commercialisation ainsi que son intégration (formation, études de cas...) auprès de l'utilisateur final.

(36 rue Cheveul - 69007 Lyon - Tél. : 72 73 14 28 - Fax : 72 73 22 08)

## ■ EMDsat

EMDsat, division du Groupe EMD<sup>2</sup> était présente au 3ème CITOP. EMDsat est spécialisée dans l'élaboration et la mise en œuvre de solutions clés en main autour de récepteurs GPS. Elle a fondé sa relation clientèle sur le conseil et la recherche des solutions GPS les mieux adaptées, notamment en Topographie.

EMDsat, distributeur exclusif en France de Allen Osborne Associates (A.O.A.) a présenté le nouveau logiciel TURBOSURVEY pour PC et compatibles, sous Windows, ainsi que le plus récent récepteur de la gamme des Turborogue, le SNR.12RM, récepteur de référence captant 12 satellites, disponible en versions civile et militaire à partir de février 1995.

De plus EMDsat a annoncé son accord avec la société MAGELLAN pour la distribution exclusive en France des cartes OEM AIV10C et AIV-10V, (récepteurs 10 satellites capables de fournir des positions mises à jour en continu dans de très mauvaises conditions de réception), qui ont

été développées en collaboration avec un consortium de fabricants japonais de systèmes de navigation automobile (Nippondenso, un des principaux fournisseurs de Toyota ; Toshiba et Xanavi Informatics, filiale de Hitachi et de Nissan Motor). Les premières cartes ont été livrées au 4ème trimestre 1994 et sont maintenant disponibles aux intégrateurs européens, accompagnées d'un kit de développement et d'essai.

(14 rue de Marcoussis - 91470 Limours - Tél. : 60 19 16 06 - Fax : 60 19 15 39)

## ■ EUROBORNES

EUROBORNES proposait une gamme de bornes plastique, métallique, béton et résine ... autant de matériaux autant de produits spécifiques mis au point par EUROBORNES. De la borne de 6 cm à celle de 60 kg le sur-mesure est aujourd'hui à la portée de tous.

EUROBORNES fait du service une priorité. Les livraisons sont effectuées par ses soins à domicile ou sur chantier dans de nombreux départements (se renseigner).

EUROBORNES..... l'IMAGINATION-SERVICE.

(BP 122 - 74804 La Roche/Foron Cedex - Tél. : 50 25 81 32 - Fax : 50 03 33 71)

## ■ COLLINET

Dès l'entrée du stand, une nacelle de montgolfière sert d'introduction au futur challenge Collinet du géomètre topographe. Cette seconde édition du challenge sera basée sur la photographie avec pour thème le géomètre topographe au travail.

La nacelle fait également penser à Jules Verne -chez Collinet on affirme qu'il fait partie de l'équipe- ainsi qu'à l'un des amis de l'illustre écrivain, Nadar, le père de la photographie aérienne.

Dans une biographie de ce dernier, deux phrases nous interpellent :

"Que deviendront les géomètres ? Ils se feront photographes"

Nous n'en sommes pas encore là. Toutefois, les

démonstrations faites sur le stand au titre de l'animation, avec un appareil photo permettent des prises de vues numériques directes avec affichage immédiat sur un téléviseur ou un moniteur couleur et la sortie rapide d'un document couleur, ouvrent bien des pistes à la réflexion.

Le 3ème CITOP a servi de base de lancement aux nouvelles versions des logiciels de la gamme TOPO C. Développés par la société Collinet, ces logiciels ont été présentés dans notre dernier numéro d'XYZ (61).

|          |                                  |
|----------|----------------------------------|
| VOYAGEUR | Module de calculs topographiques |
| GEOLIN   | Module de géodification          |
| TOPOGRAF | Module de dessin                 |
| UDINI    | Module de digitalisation         |

Un lancement pleinement réussi si l'on en juge par l'affluence sur le stand.

Les personnes qui ont participé à nos démonstrations, assure t'on chez Collinet, n'étaient pas de simples visiteurs mais de très bons professionnels dont nombre d'étrangers à la recherche de solutions. Ils sont restés longtemps sur notre stand, beaucoup sont revenus, des rendez-vous ont été pris.

La puissance, la performance, les automatismes qui caractérisent les logiciels de la gamme TOPO C et ce associé à la simplicité et à la convivialité pour l'utilisateur ont surpris et séduits.

"Nous n'avons pratiquement pas eu d'interruptions entre nos démonstrations. Il nous aurait été difficile de satisfaire un plus grand nombre de personnes. Notre seul regret est de n'avoir pas pu présenter les autres logiciels de la gamme TOPO C. Nous avions à cœur de faire une large place aux matériels OCE : traceurs, digitalisateurs, copieurs." nous ont dit les démonstrateurs sur le stand.

"Ce n'est que partie remise, nous inviterons les professionnels à d'autres voyages extraordinaires" ont-ils ajoutés.

(244 av. du Saint Laurent - Zone Atlantis - 44811 St Herblain Cedex - Tél. : 40 92 04 51 - Fax : 40 92 05 38)

## ■ BAECHLER - Géodésie Industrielle

Au terme de la 3ème CITOP cette société a souhaité apporter ses remerciements aux organisateurs de cette importante manifestation qui a mobilisé un nombre impressionnant de personnes et d'entreprises.

"Pour notre part nous tenons à souligner la qualité excellente du public qui a fréquenté l'exposition technique qui était liée aux conférences" nous ont-ils dit.

Les congressistes ont eu la possibilité de découvrir, en visitant le stand, les instruments de mesure de haute précision destinés aux auscultations météorologiques et à la mesure d'origine, qui sont exigées actuellement dans l'industrie et le génie civil, conformément aux prescriptions ISO 9000.

Un assortiment d'accessoires techniques était également présenté au public, qui pouvait trouver auprès de la société, un partenaire sérieux pour l'aider dans ses activités auprès de sa clientèle ou pour les services internes de son entreprise.

On remarquait principalement les instruments de mesure linéaire, uniques, qui permettent actuellement la qualification des échelles de référence destinées à la mesure topométrique et photogramétrique.

Un accessoire était également largement apprécié,

l'intégration des prismes rétroreflecteurs dans des sphères, dont la particularité est d'être centré dans l'axe de rotation, avec une précision de  $\pm 0,01$  mm.

Il faut aussi rappeler la présentation des potences supports pour instruments de mesure, qui ont l'avantage de pouvoir être déposées durant les périodes où elles ne sont pas utilisées ; et de les refixer sur la plaque de référence qui est restée sur son support (murs ou autre), avec une tolérance de remise en station, inférieure à 0,05 mm.

Le service technique et commercial de Géodésie Industrielle Baechler est à disposition pour soumettre toute proposition permettant d'être compétitif et performant auprès de la clientèle, actuelle et future.

(1214 Vernier - 15-17 Chemin des Coquelicots - CP419 - Genève - Suisse - Tél. / Fax : (0) 22 34 112 73)

## ■ MAURY INFORMATIQUE

De nombreuses nouveautés sur le stand MAURY INFORMATIQUE.

Rolleimetric MR2, le système bien connu de photogrammétrie par vues multiples, était présenté dans sa version 3 qui se caractérise par une interface graphique totalement repensée, et surtout un nouveau module d'ajustement de faisceau capable de résoudre des systèmes de 700 inconnues.

De Rollei également, le nouveau logiciel de redressement d'images Rolleimetric MSR permet d'assembler jusqu'à 99 clichés pendant le redressement. De puissances fonctions de mesure de coordonnées et de distance directement sur l'image résultante sont intégrées au logiciel pour traiter les mètres de façades.

Utilisant ces deux logiciels, MAURY INFORMATIQUE a développé une application spectaculaire de modélisation de site en 3 dimensions pour effectuer des préétudes d'aménagement.

Mltopo, applicatif de topographie pour Autocad au prix agressif (9 000 F HT), se voit doté d'un nouveau module de lever codé. Totalement paramétrable par l'utilisateur, il permet de traiter les cas les plus complexes, de dessin automatique des bâtiments, murs, escaliers, piliers, l'orientation automatique des textes d'altitudes, le calcul de points masqués, et bien d'autres choses encore.

(Bellevue - 56250 Saint Nolf - Tél. : 97 45 42 65)

## ■ L'Ecole chez Soi

L'enseignement à la demande pourrait être le slogan de l'Ecole chez Soi. Pour ce qui nous intéresse, bien sûr, les préparations au CAP d'opérateur géomètre, au BP de Chef de Brigade, et au BTS de géomètre topographe. Mais l'éventail est bien plus large : BTP, Travaux Publics, Architecture, Comptabilité, Gestion, les concours de la Fonction Publique et même l'enseignement général.

Tout cela modulable à la demande. Aucune obligation de souscrire à l'ensemble d'une formation, mais des plans d'études personnalisés. La majorité des enseignements peut être retenue dans le cadre de la Formation Professionnelle Continue ou celui d'un Contrat de Qualification. L'établissement assure d'autre part des stages intra et inter entreprises modulés en fonction des besoins.

(107 rue du Château - 92100 Boulogne - Tél. : 46 03 66 83 - Fax : 46 03 54 70)



#### ■ NISSAN Patrol GR

Que notre profession peut mettre dans des situations extrêmes. Quatre roues motrices non permanentes avec roues avant débrayables automatiquement ou manuellement. En utilisation intensive tout terrain, l'enclenchement des moyeux peut se doubler d'un verrouillage manuel assurant la motricité permanente sur les 4 roues. Boîte à deux gammes de rapport. Adaptée aux difficultés (pentes, dévers, roues dans le vide, etc.), elle est également un plaisir à conduire en ville.

#### ■ ARO Trapeurs

Voir dans ce même numéro l'article qui lui est consacré (Chronique : Dans la profession). Disons que tous les modèles nouveaux se distinguent par leur face avant : bouclier échancré pour recevoir une calandre plus haute pour améliorer le refroidissement, que l'empattement passe de 2,40 à 2,65 m et le porte à faux arrière de 0,82 à 1,25 m pour disposer d'une benne plus grande. Pour les autres caractéristiques, lire notre article.

#### ■ EUROSENSE

La société EUROSENSE S.A. (Lille) spécialisée dans la saisie, le traitement et l'interprétation de l'information géographique présentait l'ensemble de ses activités grâce notamment à une cassette vidéo.

Des panneaux didactiques insistaient quant à eux plus particulièrement sur 2 produits.

1) *Orthophotoplan numérique et études d'impact*. Un premier panneau était consacré au système de production numérique EUDICORT (Eurosense Digital Cartographic ORTophoto system) développé par EUROSENSE qui règle de façon particulièrement efficace le problème des corrections radiométriques. D'autres panneaux illustraient les applications développées à partir des orthophotoplans,

notamment une étude d'implantation de lignes électriques dans laquelle l'ortho est présenté d'une part comme produit technique utilisé pour calculer le projet et d'autre part comme support de communication pour présenter le projet intégré en 3 dimensions dans le paysage aux populations et aux élus.

2) *Etudes d'environnement*. Elles étaient illustrées grâce à une étude micro-climatique réalisée sur la zone interfrontalière franco-allemande dans la région de Forbach et Sarreguemines. Cette étude, visant à cartographier la qualité climatologique, a été menée à partir de l'intégration de données infrarouges thermiques du scanner multispectral aéroporté d'EUROSENSE, d'un modèle numérique de terrain et de données terrain.

EUROSENSE S.A. fait partie du groupe EUROSENSE à dimension internationale. Le groupe dispose de bureaux en France (Lille), Belgique (Wemmel près de Bruxelles), Hollande (Breda), Allemagne (Cologne et Berlin), Hongrie (Budapest), Slovaquie (Bratislava) et en Chine (Beijing).

(EUROSENSE S.A. - 8 rue du MI de Lattre de Tassigny - 59800 Lille - Tél. : 20 57 30 27 - Fax : 20 54 03 24)

#### ■ PARIS : Son plan parcellaire

Le plan parcellaire de Paris voit son informatisation effective dès cette année. Début 92, le service technique de la documentation foncière de la ville s'est équipée de logiciels pour scanner et digérer les 72 000 parcelles des 868 feuilles de l'ancien plan parcellaire. Il est possible maintenant de faire apparaître pratiquement en temps réel l'évolution urbaine et le bâti avec son numérotage et ses dénominations. En plus, l'affranchissement du découpage par feuille est un acquis de taille quand on sait que la partie utile se trouve toujours malheureusement dans un angle ou une pliure (!!)

Le marché d'informatisation de la gestion et de la vente a été attribué au groupement STAR INFORMATIC - S.G.C.,

dont nous avons souvent l'occasion de parler dans nos colonnes d'XYZ.

Dans notre dernier numéro (61 - nov. 94), un article de Jean-Michel Vantet, chef de ce projet, nous présente cette informatisation de façon détaillée et complète.

## ■ De SCHUTTER

CARTOGRAPHY DE SCHUTTER est une unité de production du PRE-PRESS GROUP DE SCHUTTER spécialisé en gestion de données géographiques et en travaux cartographiques.

Pour la saisie des documents graphiques elle dispose de scanners noir-blanc et couleur. En scan noir-blanc elle peut saisir des documents de 1m sur 1m80 et atteindre des résolutions de 10 µ. Les scanners utilisés sont à tambour et d'une haute précision géométrique. Les documents scannés peuvent être livrés comme fichiers matriciels ou peuvent être utilisés comme base pour une vectorisation automatisée ou une saisie interactive.

Un réseau de SUN, PC ou MAC comporte différents logiciels de DAO, SIG, Imagerie et PAO. Le service est équipé de Autocad et ARC/INFO. Une cellule informatique au sein de CARTOGRAPHY DE SCHUTTER est en mesure d'écrire des programmes de conversion.

L'échange de données numériques peut se faire par disquettes, cartouches, DAT, exabyte, bandes magnétiques, CD, disques optico-magnétiques, etc. ainsi que par liaison modem et ISDN. Nous pouvons réaliser l'écriture de vos données sur CD, accompagné de logiciels de lecture et consultation.

Pour des travaux d'impression, la société peut fournir des films grand format (1m sur 1m80) avec des trames adaptées aux normes des clients. Un service d'impression de cartes est proposé sur notre presse quatre-couleurs complètement contrôlée par ordinateur.

Photogravure De Schutter S.A. est certifiée ISO9002.

(Venusstraat 23 - B2000 Anvers - Belgique - Tél. : +32 3 222 38000 - Fax : +32 3 222 38 38)

## ■ SITES

La société SITES, installée à Paris et à Lyon, spécialisée dans les domaines du contrôle et de la mesure sur structures industrielles et de génie civil a présenté au CITOP des exemples d'interventions effectuées par mesures optiques, en particulier :

- Système CNS, Cartographie Numérique des Structures, procédé permettant le relevé, à distance, de l'état de dégradation d'un ouvrage (aéroréfrigérant, barrage, pont), avec une utilisation en complément à des mesures photogrammétriques de déformation.

- Métrologie Tridimensionnelle sans contact, par théodolites, et ses applications en surveillance d'ouvrages d'art, essais et contrôle dans l'industrie.

SITES propose également la réalisation de mesures vibratoires et sismiques sur machines et structures, ainsi que la maintenance complète de chaînes d'acquisition et de traitement de mesure.

(Agence Paris / Siège : 79-83 rue Jean-Jaurès - 92800 Puteaux France - Tél. : (1) 47 76 23 12 - Fax : 47 78 72 59)

## ■ Le Club des explorateurs

Le Club des Explorateurs (Société des Explorateurs et des Voyageurs Français) a pour but de réunir tous ceux qui, dans le domaine de l'exploration et du voyage, ont contribué et contribuent à la présence et au rayonnement de la France dans le monde.

Il naquit un jour de 1937 de la rencontre chez l'éditeur Henri Lauga d'une douzaine de grands voyageurs... De ceux qui étaient fascinés par les dernières taches blanches sur la carte du monde, les sites archéologiques oubliés et des populations que l'on disait alors sauvages ou primitives. Ils venaient du Groenland, des forêts amazoniennes, des grands déserts des confins himalayens... Ils se nomment Paul-Emile Victor, Robert Gessain, Théodore Monod, Henri Lhote, Bertrand Flornoy, Fred Matter, Jean de Guébriant, André Parrot, André Guibaut, Louis Liotard. Pour présider leur "Club" ils choisirent Louis Audoin-Dubreuil, le vétéran de la Croisière jaune et de la Croisière noire.

Présent sur la CITOP. Pour témoigner. On y remarquait en particulier deux jeunes explorateurs, Gérard Mathé et Daniel Schelstraete, deux ingénieurs de l'IGN, membres de croisières découverts en Amérique du Sud (croisière Eldorado) et du Nord (croisière bleue).

## ■ AC<sup>2</sup> Communication

Créée et dirigée par Christine Lebon, ingénieur ESTP, AC<sup>2</sup> Communication a présenté par panneaux interposés quelques unes de ses réalisations en matière d'édition. Cette société est spécialisée dans la création et la réalisation de tout support imprimé de la plaquette publicitaire à la revue (par exemple XYZ...) en passant par les manuels de formation ou les rapports annuels.

(AC<sup>2</sup> Communication - 15 rue Berthelot 92130 Issy-les-Moulineaux - Tél. : 41 46 92 06 - Fax : 41 46 99 36)

## ■ E.D.F.

Un très grand stand de l'EDF honorait la 3ème CITOP-EXPO.

La topographie et la cartographie sont des techniques utilisées et développées par EDF et GDF pour exercer leurs métiers depuis la création des deux établissements. Elles ont fait l'objet d'évolutions technologiques très importantes depuis une dizaine d'années avec notamment le développement de la numérisation, de la télédétection spatiale, des Systèmes d'Information Géographique (SIG).

La maîtrise de ces techniques est essentielle pour exercer, en France et à l'étranger, avec la qualité requise et au moindre coût, le métier de producteur, de transporteur et de distributeur d'électricité ou de gaz.

La 3ème CITOP a permis à Electricité De France de présenter le développement et l'utilisation de ces techniques dans les différents secteurs de son activité.

### Domaine de l'équipement :

Pour le domaine de l'aménagement, la cartographie à l'échelle régionale et nationale et la topographie à l'échelle locale constituent l'une des dimensions majeures de l'approche technico-économique du choix des sites pour l'implantation des centrales de production d'électricité : aménagements hydrauliques (1920-1980), les centrales thermiques classiques (1945-1980) et, à fortiori, les centrales nucléaires (1970-2000).

Les illustrations ont porté sur les prospections et les cartes des sites, l'évolution foncière des aménagements, les références topographiques contractuelles des ouvrages, la gestion des itinéraires de convois exceptionnels.

#### *Domaine de la production et du transport :*

Le parc de centrales hydrauliques et thermiques et le réseau de transport à haute et très haute tension (78 000 km de files de pylônes pour une tension supérieure à 63 kV) imposent l'utilisation de la topographie et de la cartographie.

La production cartographique maintenant informatisée est extrêmement variée et englobe des échelles allant de 1:200 au 1:500 000. Les territoires représentés vont de la cellule d'un poste de transformation à la carte de l'Europe (interconnexions internationales). Les informations reportées sont aussi bien des données topographiques ou géographiques que des données techniques ou statistiques. On y trouve le réseau électrique, les postes de transformation, les routes, les balises de télécommunications, les points de mesures climatiques, les centrales...

Les domaines d'activités illustrés ont été les suivants : planification de réseaux, auscultation périodique des ouvrages, modifications d'études d'impact, environnement communications, documents vers les administrations.

Les saisies et l'exploitation cartographiques sont effectuées le plus souvent en partenariat (IGN, DGI, Agence de Bassin, DIREN...).

#### *Domaine de la distribution :*

Pour concevoir, calculer, implanter et gérer des réseaux d'électricité et de gaz, il est nécessaire de développer une compétence forte en topographie, cartographie et plus généralement aujourd'hui aux systèmes d'information géographique.

Les illustrations présentées au CITOP ont porté sur les gammes cohérentes de SIG développées par EDF-GDF Services pour équiper les agences et les services techniques Electricité et Gaz de France et l'International.

Pour les grands centres à forte densité de réseaux souterrains : projet GEOPOL en solution "mini-informatique", à partir du logiciel VISION (System House Limited), en collaboration au niveau international avec HYDRO-QUEBEC. Le logiciel et ses applicatifs sont en cours de tests dans plusieurs centres.

Pour les autres centres : projet GEOCOMM en solution "micro-informatique", à partir du logiciel MICROSTATION (Intergraph), en collaboration avec une PME française : GEOTECH. La version GEOCOMM HTA équipe de nombreux centres.

#### *Domaine de la recherche :*

En parallèle à une expertise reconnue dans le domaine de la conception assistée par ordinateur puis dans le domaine connexe des SIG, la Direction des Etudes et Recherches a choisi d'exposer au 3ème CITOP un procédé de création de modèles à base 3D au plus près du réel : un capteur de saisie tridimensionnelle et un logiciel d'interprétation de nuages de points sont développés par DEPT-UTO, DER-Robotique, DER-CAO et la société MENSi pour produire des géométries 3D fidèles au réel.

Pour optimiser des opérations au moyen de simulations sur ordinateur, la scène virtuelle doit décrire fidèlement la scène réelle, avec tous ses détails et ses défauts géométriques.

Pour arriver à ce résultat, le capteur laser SOISIC et le logiciel d'interprétation 3DIPSOS sont désormais disponibles.

#### ■ ...Et les autres

Sur les 1500 m<sup>2</sup>, parmi les 73 exposants et les 30 panneaux, notons également les sociétés : AEROTOPO, ALSOFT, ATLOG, BOLIVIA, BSpline, CGP, CONSULT INFRA, DIAPRINT, DOREL, ELEXSYS, GEOID, GEOIDE SYSTEM, GEOCOMEDIA, GEOMETRI-INFORMATIQUE, GEOTECH, MATRA, MGI, NORTECH CANADA, ORTEA, RADIODETECTION, SETAM INFORMATIQUE, SETP, STAR INFORMATIQUE, TELLURA TOPO LASERS, UNISYS.

Sur les panneaux garnissant les murs s'illustraient les sociétés : Dieutegard avec une magnifique vitrine d'instruments anciens brillants de leurs cuivres bourrés de mémoire, les grandes Ecoles ESTP, ENSAIS et DORIAN, nos amis du SHOM, Euro-Vista, Sim Béton (Cossutta), GECALSTHOM SDEM, Gaia-Europe, Géomètres sans Frontières, IAURIF, IDScope, Intersat-mesures, SPDG, Toposat, Eurotunnel, CERCO (Mégrin), CNIG, IETI, DIGT, L'Académie Française définissant le mot "échelle", et nos collègues, confrères et amis de Suisse (SFMAF), d'Allemagne (DVG) et d'Israël (ADM), nous honoraient de leur présence sur l'exposition.



Photo EDF. Pierre et Gilles.

Délégation AFT - RICS ... et Cie



Eurostar - sortie du tunnel à Coquelles - Copyright Eurostar / SNCF - CAV



Photo Sylvain CHAMBON

*"Mesdames et messieurs... Ladies and gentlemen... dans quelques instants le TGV Eurostar va pénétrer sous la Manche par l'Eurotunnel..."*

C'est le soir, noir et pluvieux. Le temps d'apercevoir les centaines de lumières, les vastes espaces illuminés du terminal de Calais, et c'est le silence du tunnel, la douceur suspendue d'un train moderne pourtant lancé à 130 km/h. Une demi-heure nous sépare de Douvres et Folkestone. Dans le wagon-bar on perçoit à peine une baisse de ton dans le brouhaha, même, quelques anglais, joyeux, débouchent des bouteilles du Champagne continental, ou décapsulent le whisky en fioles minuscules. Sans doute faut-il faire taire les mânes d'Henri VIII et des Stuart, avec quelques autres, Europe oblige et puis, voilà bien le symbole d'un monde et d'une société qui changent.

Trente minutes plus tard, mêmes illuminations du terminal de Folkestone, mais nous sommes ailleurs, la couleur des maisons change, leur forme, leur agencement. Il pleut, bien sûr, mais les automobiles aperçues au hasard des ponts, aux croisements des autoroutes, roulent du mauvais côté, enfin d'un autre côté !





Waterloo International - Eurostar / SNCF - CAV



Photo John WATERMAN

C'est l'Angleterre, celle que nous aimons, et le train ralentit, *slow, slow...* quelque part certains trouvent encore que Londres est trop près de Paris, et l'on a pas encore construites ces voies qui permettent au TGV ses performances.

Waterloo International Station au cœur de Londres reçoit l'Eurostar dans l'immense corbeille de verre, où s'inscrivent harmonieusement les voies en courbes dont l'acier, sans interruption, s'étire depuis la gare du Nord parisienne.

Dans quelques minutes nos collègues d'Outre-Manche vont nous accueillir dans la capitale et nous recevoir pour un repas ou les présidents de l'AFT et du RICS feront assaut d'esprit.

Demain se tiendra à l'Institution of Civil Engineers la dernière journée d'une CITOP mémorable, et la délégation française sera chaleureusement accueillie.

## AUSCULTATION DU PONT DE NORMANDIE PAR GPS

Pascal BRION

Géomètre Topographe GPS (TECHMATION)

### INTRODUCTION

Réalisée le 7 janvier 1995 l'auscultation du pont de Normandie par G.P.S. avait pour objet de mesurer les déformations du tablier central de l'ouvrage maintenu par des haubans en faisant intervenir 80 camions maximum d'une masse de 15 tonnes chacun. Le principe étant de charger le pont avec deux types de chargement, charges globales et charges semi locales.



LE PONT

### Caractéristiques

Avec ses 2141 mètres d'une butée à l'autre, ce géant reliera Le Havre à Honfleur, effaçant le record pourtant prestigieux de son ancêtre, le pont de Tancarville, inauguré en 1959 (l' "ancêtre" mesure tout de même 1 410 m...). On traversera l'estuaire de la Seine comme on saute un ruisseau, sans se douter que le pont de Normandie, avec sa portée centrale de 856 m, est le plus grand ouvrage à haubans du monde. Commencée en 1988, la construction du pont de Normandie défie les lois de la physique. Les deux immenses pylônes qui portent le tablier métallique à 52 m au-dessus du niveau de l'eau sont hauts de 214 m.

### Contraintes

Au XIXe siècle, les premiers ponts suspendus étaient encore fragiles et beaucoup s'effondraient quelques années après leur inauguration. Pour remédier à cette fragilité et réduire la flexion qui s'exerce surtout longitudinalement, les architectes eurent l'idée de tendre des haubans (câbles d'acier) des pylônes au tablier ; ils venaient de réinventer le principe du pont de liane. Le Bay Bridge qui enjambe la baie de San Francisco a été conçu selon ce principe mais certaines de ses piles reposent sur une île, ce qui facilite son ancrage. Dans l'estuaire de la Seine, il n'y a pas le moindre îlot sur lequel s'appuyer : il a donc fallu se contenter de deux appuis.

### Le vent

Des études informatiques ont été nécessaires afin de calculer les effets des forces physiques, des charges et du vent (le vent est l'ennemi des ponts suspendus). L'estuaire de la Seine est régulièrement balayé par des vents à dominantes ouest/sud-ouest, dont les rafales ont déjà atteint 180 km/h.

Le vent «moyen» capable de souffler consécutivement pendant plusieurs minutes génère des balancements sur la structure, auxquels s'ajoutent des turbulences liées à de puissantes rafales de quelques secondes.

Par souci de sécurité, les ingénieurs ont retenu pour leurs calculs, des hypothèses extrêmes égales à plus de 2 fois les effets d'un vent «centenaire» et de ses rafales. Tous les choix structurels du pont de Normandie ont pour objectif de réduire l'emprise du vent, grâce à un meilleur aérodynamisme. Le tablier, très profilé, a subi une longue série de tests en soufflerie ce qui permet au pont de Normandie de supporter des vents de plus de 250 km/heure. A l'inverse d'une aile d'avion qui se sert des masses d'air (portance) pour prendre de l'altitude, le tablier du pont de Normandie profite du passage du vent pour parfaire sa stabilité !

Pour éviter que les haubans ne s'entrechoquent, un système de câbles transversaux appelés «aiguilles» amortit et réduit leurs mouvements. Le dispositif est complété par des amortisseurs situés à la base de chaque hauban. Six ans ont été nécessaires pour construire cet ouvrage d'art dont la silhouette évoque, avec ses gréments d'acier, un gigantesque vaisseau immobile.

## POURQUOI LE G.P.S. ?

### Situation des antennes G.P.S.



Les antennes G.P.S. situées sur le côté Est du tablier sont fixées sur des mâts métalliques à centrage foré dédiés à ce genre de mesures. Les mâts ont une hauteur de 2.30 mètres afin que les camions ne viennent pas masquer la réception des messages des satellites lors des mesures en charge. La présence des haubans n'est pas considérée comme un masque important car ils sont fins et espacés. Les points des piles sont fixés sur la bordure en béton ainsi que le point d'appui de la rive droite, l'autre point d'appui de la rive gauche est sur un plot en béton avec un système de centrage forcé.

### Avantages

L'avantage du G.P.S. pour un tel contrôle s'avère plus facile à mettre en œuvre que des méthodes classiques. Les conditions météo requises pour les essais en charge sont limitées à un vent de 15 m/s, ce qui risque d'amener de la brume. Cette brume locale est un inconvénient majeur pour les mesures par des méthodes classiques type optomécanique, car les visées se réduisent, et la distinction des cibles et des voyants devient difficile. Les mesures classiques permettent d'effectuer des mesures tridimensionnelles en deux temps ; c'est une opération «2 + 1» pour désigner les coordonnées X et Y de la planimétrie puis l'altimétrie Z. Ce qui augmente le nombre d'intervenants par rapport aux mesures G.P.S. qui donnent les coordonnées X, Y et Z avec la même précision +/- 5mm

### Auscultation

Le suivi des déformations est assuré par 9 récepteurs G.P.S. Géodésique ASHTECH type Z-12 et M-12 avec deux points fixes positionnés sur des points extérieurs à l'ouvrage afin de nous assurer un référentiel exact qui ne subisse pas les déformations de l'ouvrage pendant les épreuves. La combinaison de 11 récepteurs permet de donner une surabondance de mesures par point, 55 vecteurs peuvent être calculés à chaque session. Les sessions d'observation sont d'une période de 15 minutes chacune (temps nécessaire pour que tous les intervenants aient la possibilité de faire leurs mesures respectives). A chaque session les récepteurs T1, T2, T3, T4, T5 et T6 sont mis en route au début et éteints à la fin de chaque observation. Les récepteurs placés sur les points P1 et P2 sont en enregistrement continu pendant toute la journée ainsi que les points placés en haut des piles et au centre du tablier (P0, Pile Nord et Pile Sud) afin de pouvoir restituer une dynamique des différentes déformations.

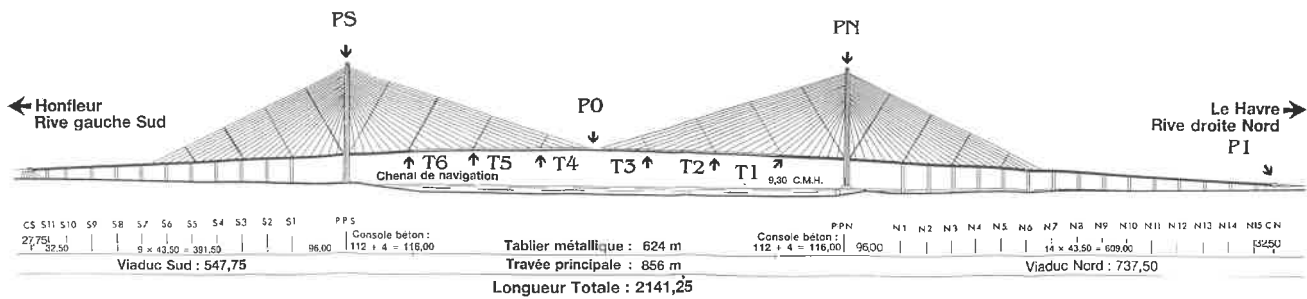
## INNOVATION

### Le centimètre temps réel

Sur les 11 récepteurs installés sur l'ouvrage deux des récepteurs P0 et P1 sont équipés de l'option RT-PNAV qui permet de traiter les suivis de phases et de lever les ambiguïtés en temps réel sur les fréquences L1 et L2 avec le code P(Y). Ces deux récepteurs ont permis de visualiser en temps réel les déformations centimétriques du tablier central au point P0. Pour assurer la liaison entre les deux récepteurs P0 et P1 deux solutions étaient possibles : soit une liaison VHF soit une liaison par fibre optique. La liaison VHF n'a pas été retenue car les maîtres d'œuvre voulaient éviter des interférences avec les divers systèmes de mesures mis en œuvre lors des épreuves. La solution de liaison par fibre optique nous a donné entière satisfaction. Nous avons déroulé une fibre d'une longueur de 2 000 mètres le long du tablier. Les informations véhiculées dans la fibre étaient transmises à une vitesse de 9600 bd cela permettant d'alimenter en données de phase le récepteur P0 afin qu'il puisse calculer les ambiguïtés. Toutes les secondes le récepteur P0 donnait sa position au centimètre en X, Y et Z et il ne lui a fallu que 20 secondes avec 6 satellites pour résoudre les ambiguïtés de phase.

### CALCUL

Le bureau d'études avait fait un calcul de prédiction des déformations du pont tous les 107 mètres, là où nous avons positionné les antennes G.P.S. Les valeurs de déviation en altimétrie fournies par le maître d'œuvre se sont révélées exactes à quelques centimètres près en temps réel grâce au récepteur positionné au point P0. Après calcul les autres points sur le tablier s'avèrent être du même ordre de grandeur que les valeurs des points P0 obtenues lors des différentes épreuves. Des déplacements horizontaux de l'ordre de deux décimètres ont été enregistrés sur la pile Nord dans la direction du Sud mais avec un retour dans la position initiale, ce qui démontre bien la souplesse de l'ouvrage.



## CONCLUSION

La précision des mesures G.P.S. obtenue avec les récepteurs géodésiques ASHTECH s'adapte parfaitement à ce type d'auscultations, ainsi qu'à des mesures de même type. (Mesures tridimensionnelles millimétriques). La mise en œuvre et la méthode utilisée par

TECHMATION se sont révélées particulièrement efficaces dans la mise en œuvre et la souplesse d'exécution quelque soit les conditions météo et l'environnement. L'avenir est désormais ouvert à l'utilisation du G.P.S. comme moyen de mesures et de référence de 1er ordre, en post-traité ou en temps réel UPD GPS (Ultra Précis Différentiel G.P.S.).

RESULTATS  
Données G.P.S. et données du bureau d'études

|    | Charge 71  | Données B.E. | Charge 72                          | Données B.E. | Charge 73                         | Données B.E. | Charge 74                         | Données B.E. | Charge 75                          | Données B.E. | Charge 76                         | Données B.E. |
|----|--|--------------|------------------------------------|--------------|-----------------------------------|--------------|-----------------------------------|--------------|------------------------------------|--------------|-----------------------------------|--------------|
| P0 | D Z 0,667<br>Distance 0,00300167<br>Gisement Gra 195,757439  | 0,6353       | 0,19<br>0,01403567<br>190,920852   | 0,141        | 0,68<br>0,01897367<br>159,033447  | 0,6388       | 1,216<br>0,00360555<br>125,133184 | 1,1482       | 1,267<br>0,00509902<br>25,1331837  | 1,2106       | 0,564<br>0,03140064<br>20,3607712 | 0,603        |
| PN | D Z -0,008<br>Distance 0,11029053<br>Gisement Gra 190,75635  | 0,1053       | -0,007<br>0,09725225<br>190,827574 | 0,1072       | -0,016<br>0,19266551<br>189,41413 | 0,1853       | -0,013<br>0,2143945<br>192,274861 | 0,2097       | -0,013<br>0,17847409<br>190,71754  | 0,1809       | -0,01<br>0,0975141<br>186,920027  |              |
| PS | D Z -0,005<br>Distance 0,00538516<br>Gisement Gra 48,4475762 |              | -0,008<br>0,00824621<br>31,1916518 | 0,0032       | 0,009<br>0,00984886<br>53,2499757 | 0,027        | 0,007<br>0,00921954<br>90,2250998 |              | -0,019<br>0,01992486<br>38,9457075 |              | -0,021<br>0,021<br>0              |              |
| T1 | D Z 0,105<br>Distance 0,01019804<br>Gisement Gra 174,866817  | 0,0788       | 0,186<br>0,00360555<br>125,133184  | 0,13         | 0,224<br>0,02137756<br>176,034894 | 0,1553       | 0,196<br>0,00781025<br>88,4568242 | 0,1325       | 0,072<br>0,01<br>118,066894        | 0,0625       | 0,039<br>0,004<br>100             | 0,031        |

|               | Largeur        | Longueur   | Charge totale | Densité de charge | PS | T6 | T5 | T4 | P0 | T3 | T2 | T1 | PN |
|---------------|----------------|------------|---------------|-------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Chargement 71 | Pleine 4 voies | 856 mètres | 1200 tonnes   | 1,4 T/mètre       | S  |    |    |    |    |    |    |    | N  |
| Chargement 72 | Pleine 4 voies | 428 mètres | 1200 tonnes   | 2,8 T/mètre       | S  |    |    |    |    |    |    |    | N  |
| Chargement 73 | Pleine 4 voies | 428 mètres | 1200 tonnes   | 2,8 T/mètre       | S  |    |    |    |    |    |    |    | N  |
| Chargement 74 | Pleine 4 voies | 428 mètres | 1200 tonnes   | 2,8 T/mètre       | S  |    |    |    |    |    |    |    | N  |
| Chargement 75 | Pleine 4 voies | 428 mètres | 1200 tonnes   | 2,8 T/mètre       | S  |    |    |    |    |    |    |    | N  |
| Chargement 76 | Demie 2 voies  | 428 mètres | 600 tonnes    | 1,4 T/mètre       | S  |    |    |    |    |    |    |    | N  |
| Chargement 77 | Pleine 4 voies | 60 mètres  | 180 tonnes    | 3,0 T/mètre       | S  |    |    |    |    |    |    |    | N  |
| Chargement 78 | Pleine 4 voies | 60 mètres  | 180 tonnes    | 3,0 T/mètre       | S  |    |    |    |    |    |    |    | N  |
| Chargement 79 | Pleine 4 voies | 60 mètres  | 180 tonnes    | 3,0 T/mètre       | S  |    |    |    |    |    |    |    | N  |
| Chargement 80 | Pleine 4 voies | 60 mètres  | 180 tonnes    | 3,0 T/mètre       | S  |    |    |    |    |    |    |    | N  |

## LES MYSTÉRIEUSES LIGNES DE NAZCA

Günter Reppchen

Professeur à l'Université des Sciences Techniques et Economiques de Dresde

### RÉSUMÉ

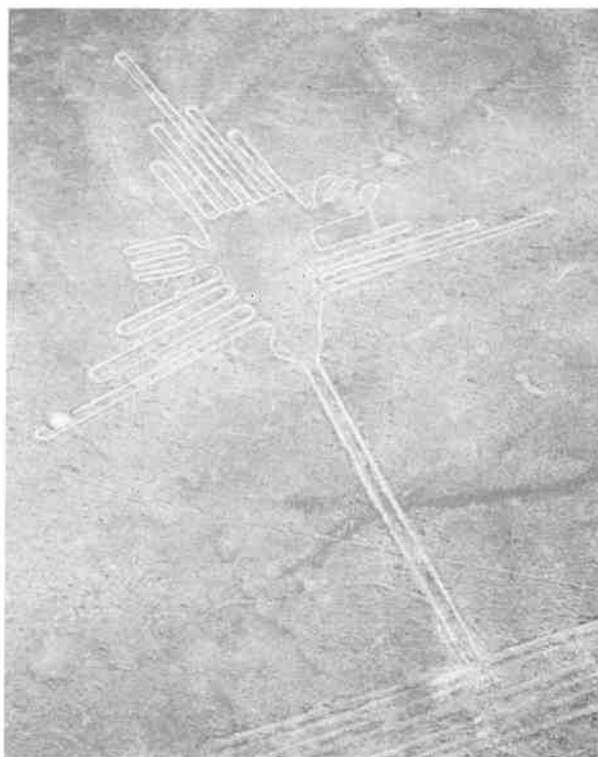
*Sur le littoral Sud-Péruvien le désert de Nazca est tapissé de lignes et de figures pré-colombiennes aux dimensions gigantesques. Longue de 188 mètres, la construction "el Colibri" est certainement la plus connue d'entre elles. L'auteur décrit la mission topographique GPS qu'il a dirigée dans cette zone.*

Sur le littoral Sud-Péruvien, près des villes de Nazca et de Palpa, s'étend une zone désertique d'environ 500 km<sup>2</sup> dans laquelle une civilisation pré-colombienne a laissé les empreintes de sa culture.

Des figures géométriques en forme de triangles et de carrés, complétées par des réseaux de lignes complexes, recouvrent la plaine de Nazca et les chaînes de montagne, entre 500 et 1000 mètres d'altitude. Certaines lignes mesurant plusieurs kilomètres de long ne laissent entrevoir qu'une faible partie de leur structure à l'observateur terrestre. Le réseau total comprend près de 800 lignes, entrecoupées d'impressionnantes figures en forme d'animaux dont les contours restent perceptibles à une altitude de 500 à 600 mètres. Certaines constructions sont attribuées à la civilisation Nazca établie dans cette région au premier siècle après JC. Enregistrant de très faibles précipitations -en moyenne une fois tous les 20 ans- le désert de Nazca conserve parfaitement les lignes gravées dans son sol (surface claire sans végétation). Même les traces de pieds et de véhicules. C'est pourquoi cette région a été déclarée zone de protection archéologique et ne peut être visitée qu'avec l'autorisation spéciale du ministre de la culture péruvien. La mathématicienne et géographe allemande Maria Reiche (Dresde), qui a consacré 40 ans à l'étude exhaustive de ces structures, a réussi à déterminer les méthodes de construction des figures et voit dans l'orientation de nombreuses lignes des repères astronomiques. Il est très tentant d'interpréter ces représentations comme un immense calendrier, un site anciennement voué à la célébration de cultes.

### LE PROJET DE MESURE

A l'ouverture de l'exposition qui s'est tenue à Dresde pour célébrer le 90e anniversaire de cette mathématicienne allemande, l'association péruvienne "Maria Reiche" a formulé le souhait de voir les institutions péruviennes poursuivre l'investigation des lignes de Nazca. Dans cette perspective, une équipe de topographes, constituée du Professeur Günter Reppchen et des ingénieurs Mathias Kaden, Dietrich S. Schulze s'est rendue à Lima, début février, afin de définir les objectifs de ce projet.



**Cette mission s'est articulée autour des travaux suivants :**

- Détermination des azimuts de lignes sélectionnées via GPS.
- Etablissement d'un système d'information géographique pour la saisie quantitative et qualitative des réseaux de lignes sur la base des mesures effectuées par Maria Reiche.
- Classification des lignes de Nazca au moyen de programmes astronomiques.
- Constitution d'une carte thématique.

Au bout de cinq jours de démarches administratives, l'équipe a pu réaliser une première expédition dans la plaine de Nazca. Après l'observation et l'identification des systèmes de lignes, tâches rendues difficiles par les conditions climatiques sévères (sécheresse absolue,

températures de 50°C au sol, forts flamboiements, trombes) qui règnent dans cette zone, un réseau de base GPS a été établi en mode Statique Rapide le long de la Panamericana del Sur. Les points ont été placés à des intervalles de 2-3 km sur une superficie d'environ 20 km<sup>2</sup>. En raison de l'insuffisance de structures topographiques, les points du réseau ont été déterminés à l'intérieur des figures. A ces mesures ont été intégrés deux points fixes du réseau interaméricain : le cerro Fraile et le cerro Chillo à 1000 mètres d'altitude. Les paramètres de transformation de la projection Transverse Mercator péruvienne sont fournis par l'institut géographique national. Les points du réseau de base servent de référence au calcul de l'azimut et aux mesures de détail. D'où la longueur réduite des lignes de base et les courts temps d'observation. Compte tenu de la chaleur, les levés ne pouvaient être assurés qu'entre 6 et 12 heures du matin (temps local).

Certaines sessions ont permis de capter simultanément jusqu'à neuf satellites. 80 % des lignes de base présentaient une longueur de 200 à 2000 mètres. Les temps d'observation se situaient généralement entre 10 et 12 minutes. Pendant cette campagne topographique réalisée entre le 10 et le 26 février, la plupart des satel-

lites ont été captés dans de bonnes conditions AS (accès au code P). La plus longue des lignes de base, 13,5 km, a été déterminée en 13 minutes à l'aide de cinq satellites.

Les travaux géodésiques ont été effectués à l'aide de deux récepteurs satellite du système WILD GPS 200 (capteur bi-fréquence) et d'un portable doté du logiciel SKI, livrés par la société Gebr. Wichmann KG en Allemagne. Malgré la très forte chaleur, l'environnement poussiéreux et les pistes cahoteuses, le système WILD GPS 200 a fourni d'excellents résultats.

L'entreprise Geoimpex Lima, l'institut géographique national (IGN) et le service national de la photographie aérienne (SAN) ont assisté l'expédition par la fourniture d'accessoires géodésiques, de cartes topographiques, coordonnées, paramètres de transformation, l'analyse des clichés aériens, etc. Les lignes mystérieuses de Nazca continueront donc à faire l'objet d'études, probablement sous une forme interdisciplinaire.

*Cet article, paru dans le numéro 33 de "Reporter", revue de topographie et de photogrammétrie de LEICA est reproduit avec l'aimable autorisation de la société LEICA.*





## SIG VECTEUR ET RASTER UNE ÉVOLUTION NATURELLE

*Michel Bernard*

*Consultant en SIG à la société SIAGE*

L'investissement consacré à l'élaboration puis à la mise à jour des bases de données est le poste le plus lourd dans la mise en place d'un Système d'Information Géographique, en particulier dans les grandes échelles. Cette affirmation a peu de chances d'être contredite dans un futur proche, toutefois, l'évolution des technologies basées sur l'image pourrait modifier le pourcentage que l'on consacre actuellement à ce poste (traditionnellement évalué à 70 % du coût d'un projet). Dans un univers où les SIG sont encore majoritairement orientés vecteur, l'utilisation des données raster -intelligentes ou muettes- commence en effet à se répandre.

Plusieurs paramètres restent toutefois à évaluer avant d'opter pour une approche intégrant raster et vecteur car différentes technologies sont actuellement disponibles ou le deviendront dans un futur proche. Par exemple, la technique la plus "élémentaire" consistant à scanner les documents topographiques existants et leur superposer des bases vectorielles peut donner des résultats très efficaces (cf. revue XYZ n°60, la production du plan cadastral de la Ville de Paris...). A court terme (sur l'échelle de l'histoire des SIG), la télédétection spatiale va atteindre des résolutions très élevées (précision métrique annoncée d'ici 2 à 3 ans avec certains capteurs) qui la rendront plus compatible avec les applications à grande échelle. Mais dès aujourd'hui, les technologies orthophotographiques offrent des solutions que nous allons développer ici.

### DE LA PHOTOGRAMMÉTRIE...

Il est d'usage quasi systématique de construire les bases de données SIG en faisant appel à des techniques essentiellement vecteur. Outre la désormais traditionnelle digitalisation du plan cadastral -et ses limites en termes de contenu topographique- pour un organisme souhaitant établir un référentiel numérique à grande échelle (de 1:10000 au 1:1000), la méthode la plus courante est le recours à la restitution photogrammétrique, technologie certes bien maîtrisée mais qui présente deux inconvénients majeurs.

D'abord les coûts de création et de mise à jour : une opération de restitution photogrammétrique est un investissement élevé et un organisme hésitera longtemps avant de programmer une nouvelle couverture de son territoire, laissant souvent l'information se dégrader jusqu'à un point de non retour. Mais également la durée : le temps de fabrication, depuis la prise de vue aérienne jusqu'à la livraison des données au client, en

passant par les étapes de restitution et complètement, le délai se mesure plus en années qu'en mois.

### ... À L'ORTHOGRAPHOTOGAMMÉTRIE NUMÉRIQUE

L'orthophotographie numérique est aujourd'hui une solution qui rencontre un écho de plus en plus favorable, que ce soit pour la mise en place d'un référentiel ou pour faciliter la mise à jour des données topographiques et thématiques gérées par un SIG.

Une orthophotographie est une image dérivée d'une photographie aérienne, qui a été scannée à très haute résolution (voir table). Cette image a été rectifiée analytiquement, afin d'éliminer les distorsions dues au relief ainsi, qu'à la prise de vue elle-même. Le résultat est une image géoréférencée qui peut servir de support à des calculs de distance, azimuth ou surface, ses avantages sont multiples :

#### Accélération du processus d'acquisition de données

La fabrication d'une orthophotographie requiert, tout comme la photogrammétrie, des étapes de lever de terrain et d'aérotriangulation, elle est également soumise aux mêmes contraintes concernant les conditions climatiques (nébulosité, couvert végétal...) mais sa production passe ensuite par des processus entièrement numériques, qui permettent de réduire les délais de réalisation, donc de livraison.

#### Flexibilité

Les techniques basées sur le vecteur supportent mal la variation de précision et l'on imagine difficilement une base photogrammétrique dont l'échelle ne soit pas homogène. Or sur un territoire donné, les besoins en informations sont rarement linéaires. Avec l'orthophotographie, il est parfaitement imaginable de faire varier a priori l'échelle de prise de vue ou a posteriori celle du scannage et ce selon les différentes zones concernées. Ultérieurement, le rééchantillonnage des images permet également de délivrer aux utilisateurs des produits de résolution différentes selon leurs besoins. Cette possibilité n'est pas vraiment imaginable avec les bases de données vecteur : les techniques de généralisation et de filtrage restant très en dessous des besoins applicatifs, les problèmes de mise à jour de bases de données à échelles multiples sont quasiment insolubles.

## Réduction des coûts

Dans un marché où la demande comme l'offre restaient limitées, les coûts de fabrication des orthophotographies numériques ont été longtemps prohibitifs. Cette solution a changé et la concurrence aidant, les prix sont à la baisse et rendent cette technologie très attractive.

## LES CONTRAINTES DE L'ORTHOPHOTOGRAPHIE

La liste des nombreux avantages ne doit pas pour autant masquer les contraintes d'exploitation de cette solution. La première est une évidence qu'il faut toujours rappeler : l'orthophotographie reste muette (par opposition à une image obtenue par un capteur comme SPOT par exemple). Certes l'image offre une expression très réaliste du territoire mais l'économie réalisée sur le travail de restitution doit tôt ou tard être compensée. Toutefois, l'interprétation des images et l'extraction d'entités géographiques peut être réalisée à mesure des besoins, donc de manière plus optimisée.

En fait, les contraintes les plus lourdes restent liées aux lois de la physique et de l'optique : les conditions de la prise de vue (climatiques, techniques), la précision et les méthodes de calcul utilisées pour la rectification sont autant de facteurs influençant la qualité des produits et leur utilité. La programmation d'une opération d'orthophotographie doit prendre en compte à la fois les besoins applicatifs (utilisateurs) et les paramètres technologiques. Parmi ceux-ci doivent notamment être retenus : l'orientation de la photographie et son corollaire, le découpage (mosaïquage) des fichiers, la précision de la prise de vue, la résolution du scannage, la précision du modèle numérique de terrain...

Du point de vue applicatif, les volumes de données importants (voir table) engendrent des contraintes fortes sur la mise en œuvre : dispositifs de stockage, dimensionnement des accès par réseau, optimisation des affichages et traitements graphiques...

Si la plupart des logiciels offrent désormais la possibilité de manipuler conjointement données raster et vecteur, ces manipulations sont encore essentiellement limitées à la superposition et à l'affichage. Or, cette intégration peut révéler des incohérences ou des incompatibilités. Tout projet visant à intégrer données images et données vecteur se trouvera un jour ou l'autre confronté à ces problèmes. Quelques produits incorporent des fonctionnalités d'édition semi-automatique (suivi de linéaments, vectorisation assistée...) mais il faudra encore attendre quelques années avant de disposer d'outils capables d'offrir des fonctions de traitement et d'analyse exploitant simultanément et interactivement les données raster/images et vecteur/trait.

## CONCLUSIONS : VERS DES SIG HYBRIDES

L'évolution des SIG vers des systèmes hybrides, gérant à la fois données vecteur et raster est une orientation très nette, favorisée par la multiplication des technologies d'acquisition d'images. Que ce soit pour la création ou pour la mise à jour de bases de données, l'exploitation de l'image et notamment de l'orthophotographie numérique dans les SIG peut apporter dès aujourd'hui des réponses appropriées. Mais cette information doit être parfaitement définie en amont de sa production et sa fabrication ne relève pas encore du produit "sur étagère", en particulier dans les grandes échelles. Cette maturation est en cours et l'image deviendra de plus en plus le complément naturel de la géométrie (du trait). L'évolution des capteurs et dispositifs d'acquisition numérique va engendrer des développements dans les futurs SIG "hybrides" qui ne se contenteront plus de superposer les données raster et vecteur mais offriront de réelles fonctions interactives pour le traitement et d'analyse des données géographiques.

(NB de la rédaction : signalons que l'auteur de cet article intervient notamment sur des études de faisabilité de SIG en milieu urbain et régional)

Précision d'une orthophoto (en fonction de la prise de vue et de la précision du scanner)

|                       |  |      |       |      |       |      |
|-----------------------|--|------|-------|------|-------|------|
| Résolution du scanner | en micron                              | 37,5 | 31,25 | 25   | 18,75 | 12,5 |
|                       | DPI                                    | 677  | 813   | 1016 | 1355  | 2032 |
| Taille fichier        | MB/Photo                               | 39   | 57    | 89   | 158   | 355  |
|                       | Résolution en mètres (taille du pixel) |      |       |      |       |      |
| Echelle prise de vue  | 4000                                   | 0,15 | 0,13  | 0,1  | 0,08  | 0,05 |
|                       | 6000                                   | 0,23 | 0,19  | 0,15 | 0,11  | 0,08 |
|                       | 8000                                   | 0,3  | 0,25  | 0,2  | 0,15  | 0,1  |
|                       | 10000                                  | 0,38 | 0,31  | 0,25 | 0,19  | 0,13 |
|                       | 15000                                  | 0,56 | 0,47  | 0,38 | 0,28  | 0,19 |

# RGF

**LE RÉSEAU GÉODÉSIQUE FRANÇAIS**  
**SERVICE GÉODÉSIE ET NIVELLEMENT - IGN**



Conformément aux recommandations du CNIG (Conseil National de l'Information Géographique), l'IGN a entrepris de mettre en place un nouveau canevas national pour succéder à l'ancienne NTF (Nouvelle Triangulation de la France). C'est le RGF qui matérialise *un nouveau système de référence tridimensionnel* et géocentrique, et qui est organisé en trois niveaux : le RRF, le RBF et le RDF.

## **LE R.R.F. : RÉSEAU DE RÉFÉRENCE FRANÇAIS**

Le RRF est la *partie française du réseau européen EUREF*, et participe donc des réseaux à vocations *internationale et scientifique*. C'est aussi le premier niveau hiérarchique du RGF, constitué de 23 sites répartis sur l'ensemble du territoire métropolitain.

Il sera à la *disposition des utilisateurs* début 95.

## **LE R.B.F. : RÉSEAU DE BASE FRANÇAIS**

Deuxième niveau hiérarchique du RGF, *il comprendra un millier de sites géodésiques* uniformément répartis tous les 25 kilomètres. Ses principales caractéristiques sont :

- au moins deux repères par site, de définition millimétrique et de pérennité optimisée,
- *accessibilité* à tout véhicule, par tout temps,
- adapté à tout type d'exploitation (traditionnelle, GPS,...)
- coordonnées de *précision centimétrique* dans le nouveau système RGF,
- les coordonnées NTF (Lambert) et les altitudes seront aussi disponibles.

Le calendrier de réalisation est le suivant :

- 1994 : campagne terrain sur la moitié sud de la France,
- 1995 : campagne terrain sur la moitié nord de la France,
- 1996 : campagne en Corse, calculs finaux, *diffusion*.

## **LE R.D.F. : RÉSEAU DE DÉTAIL FRANÇAIS**

C'est par densification du RBF que sera réalisé le canevas de détail. Dans un premier temps le RDF sera constitué des points de la NTF, dont les coordonnées dans le système RGF auront été estimées par des méthodes de transformation établies à partir du RBF. Il sera alors possible d'envisager l'entretien, ou la mise à niveau du canevas national de détail en adéquation avec l'évolution du contexte et des besoins.

Les spécifications du RGF ont été élaborées afin de satisfaire tous les besoins, tant ceux de l'utilisateur de GPS que ceux de l'utilisateur des méthodes classiques.

## **RGF ET RTF (NOUVELLE TRIANGULATION FRANÇAISE) : LA COHABITATION**

La NTF représente le système de coordonnées *légal*, associé à la projection Lambert en quatre zones, à laquelle se réfèrent les textes de lois et la réglementation qui régissent le domaine de la cartographie et de la topographie nationale. Le nouveau système RGF, en vertu de ses qualités, sera amené à supplanter la NTF, et ce passage est à l'étude au sein du CNIG.

Ce n'est qu'après la diffusion du RBF, que *les deux systèmes cohabiteront via l'édition des deux jeux de coordonnées pour tous les points géodésiques de la BDG* : les coordonnées NTF restant indispensables pour leur valeur légale, ainsi que pour les liens avec les travaux anciens, les coordonnées RGF étant destinées, pendant la période de transition, plus spécialement à l'utilisateur de méthodes de positionnement spatial, aux grands travaux linéaires, etc.

### **Le calendrier de la cohabitation**

Début 95: première réalisation publique du RGF : les 23 sites du RRF

Mi 95: début de la diffusion du canevas de détail par Minitel, en coordonnées NTF (Lambert).

Mi 96 : première réalisation utilitaire du RGF: les mille sites du RBF.

Fin 96: début de la diffusion du RDF, le canevas de détail publié dans les deux systèmes de coordonnées : NTF et RGF; définition des méthodes de transformations de coordonnées entre les deux systèmes.

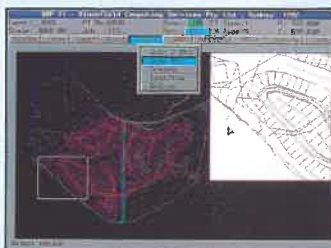
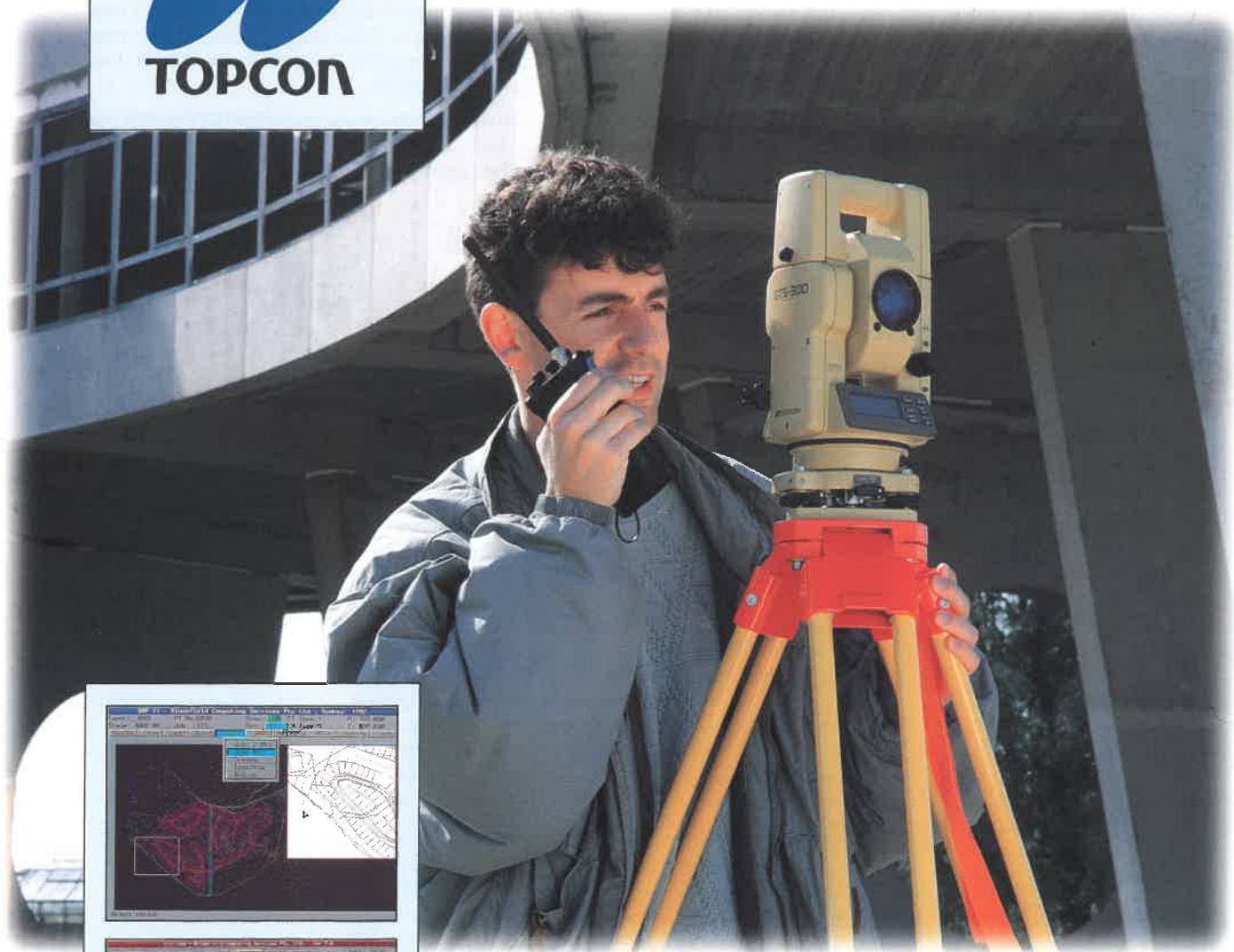
### **La cohabitation des réseaux géodésiques**

La cohabitation est un peu plus complexe, du point de vue formel, quand on se penche sur la notion de réseau ; considérons qu'il y a trois cas-types :

a) site NTF "pur": site de l'ancien canevas dont aucune mesure ne permet l'obtention directe de coordonnées RGF ; les coordonnées NTF de ce site seront inchangées, et ses coordonnées RGF, issues des procédures de transformations de coordonnées, n'auront qu'une précision équivalente au mieux à celle de la NTF.

b) site RGF "Pur" : site géodésique nouveau déterminé par méthode spatiale dans le cadre de campagnes RGF, sans mesure de rattachement permettant l'obtention directe de ses coordonnées NTF ; ce site aura donc des coordonnées RGF exactes, et des coordonnées NTF issues de procédures de transformations de coordonnées.

c) site de colocation RGF-NTF : en général ce sera un site NTF dont les coordonnées RGF auront été déterminées d'après les résultats de campagnes de mesures spécifiques



La solution complète  
système informatique TOPCON



Série GTS-6  
Système unique à carte TOPCON

## TOPCON : La différence

Comprendre que la richesse des hommes naît de leur différence, c'est comprendre que sans le Savoir de l'Homme, le monde ne serait rien.

Cette différence, TOPCON l'a comprise et a développé la gamme la plus complète de stations totales.

Quelle que soit votre activité, TOPCON a l'instrument qui s'y rapporte :

- Série GTS-6... Pour les géomètres et les ingénieurs TP
- Série GTS-300... Pour tous les travaux de topographie
- Série CTS-2... Pour tous les travaux de chantier

Tout ce dont vous avez besoin... c'est une station totale TOPCON.

RGF; ce site gardera ses anciennes coordonnées NTF, et aura des coordonnées RGF exactes.

D'un point de vue formel, seuls les sites a) et c) appartiennent au réseau NTF, alors que les trois catégories de sites appartiendront au RGF, *qui par vocation inclut, et complète l'ensemble des sites de la NTF*. Les sites de la NTF, sauf ceux, de type c), inclus à un niveau hiérarchique

supérieur, constitueront le corps du RDF, au fur et à mesure de leur saisie dans la BDG, dans l'attente de la mise en œuvre de nouvelles procédures de production et d'entretien du canevas de détail.

Les deux systèmes de coordonnées (NTF et RGF) cohabiteront dans la BDG (Base de Données Géodésique) et seront diffusés grâce au service Minitel + télécopie.

## **L'Institut Géographique National organise à Vincennes le 7 mars 1995**

un forum-rencontre sur le thème :

### ***L'ÉVOLUTION DES CANEVAS NATIONAUX FACE AUX LEVÉS PAR GPS***

avec la participation de l'AFT, du CNIG et de l'OGE

Cette journée au cours de laquelle sera fait *le point sur l'état actuel des canevas nationaux* de géodésie et de nivellement et les techniques de *positionnement par GPS*, aura pour objectif principal d'identifier les problèmes rencontrés par les utilisateurs, et d'en proposer des solutions à intégrer dans les nouvelles stratégies de production qui seront mises en œuvre dans le cadre de la réalisation du *nouveau Réseau Géodésique National*.

Après les exposés de l'IGN, participation sous forme de posters et/ou d'exposés, d'utilisateurs qui présenteront des expériences d'utilisation ainsi que les évolutions en cours.

Une table ronde, présidée par le CNIG, élaborera une synthèse des différentes interventions et devrait permettre de dégager des axes de progrès à la fois pour les producteurs et pour les utilisateurs des canevas, du GPS et des services associés.

(Pour tous renseignements : AFT : 136bis rue de Grenelle - 75700 PARIS - Tél. : 43 98 84 80 - Fax : 47 53 07 10 - IGN-DRS : même adresse - Tél. : 43 98 85 65 - Fax : 43 98 84 88)

**En topo, les hommes et le matériel c'est bien, encore faut-il qu'ils soient mobiles.**

## **ARO : LA DOUBLE VIE DES 4 X 4**

Pas vraiment genre 4 x 4 des villes à moquette épaisse et chrome étincelant. On a pu le voir à l'expo CITOP de décembre, doucement éclairé par la lumière grise des verrières du CNIT, au milieu des appareils de topo et des ordinateurs GPS, le ARO 10 "Trapeurs" est un rustique et nous vient des Carpates. Avec d'autres modèles de la gamme il peut être un excellent outil de travail pour géomètres et topographes.



Aro France passe à l'offensive. La structure d'homologation et de distribution des produits de la marque roumaine en France s'est reformatée en début d'année pour donner un coup de fouet à ses activités hexagonales et européennes. Autour de Charles Hoffmann, son fondateur et ancien de chez Alpine notamment, trois partenaires (Michel Tardy, Charles Schein et Aro Roumanie) se sont associés pour mener à bien cette initiative.

Symbole de cette offensive stratégique, la mise en place d'un réseau européen au lendemain du Mondial de l'Automobile. Grâce à lui, et à de nouveaux produits, Aro France Inc compte multiplier ses ventes par cinq dès cette année. Symbole du partenariat -technologique et industriel- accru avec la maison-mère roumaine, les motorisations françaises que l'on retrouve sous le capot des véhicules.

### **UN VRAI TOUT TERRAIN**

Lancée en 1979, la gamme Aro 10 "Trapeurs" se décline en six versions : tolé ou bâché, deux ou cinq places, pick-up simple ou double cabine. Tous sont propulsés par le bloc Renault 1,9 diesel monté sur les Clio et R19, qui développe 65 chevaux à 4.500 tr/mn et possède un couple maxi de 12,3 mkg à 2.250 tr/mn.

Mais le moteur n'est pas le seul élément du Aro estampillé Renault : la boîte mécanique à cinq rapports est celle qui équipe les utilitaires Trafic. Largement dimensionnée, cette boîte est d'ores et déjà prête à supporter les augmentations de puissance à venir. La boîte de transfert, à deux rapports non synchronisés et réalisée par Aro, est accolée à cette boîte de vitesse. La transmission intégrale est débrayable et les moyeux avant sont débrayables manuellement.

Grâce à ses porte-à-faux réduits, sa garde au sol importante, le gros couple à bas régime de son moteur et la grande réduction de sa boîte transfert, cet engin se révèle à l'aise sur terrains difficiles.

À l'avant, la suspension à roues indépendantes est contrôlée par des ressorts hélicoïdaux avec amortisseurs télescopiques, hydrauliques et concentriques. À l'arrière, elle est composée d'un essieu rigide et de ressorts à lames

semi-elliptiques. Cette solution classique aboutit à un compromis confort-tenue de route satisfaisant.

### **UN PICK-UP UTILE**

Sur la nouvelle version pick-up, l'empattement passe de 2.400 à 2.650 mm, et le porte à faux arrière de 825 à 1.250 mm pour disposer d'une benne de 1,10 m de longueur utile sur le double cabine et de 1,80 m sur le simple cabine. Cette plate-forme de chargement peut recevoir une charge utile de 910 kg (double cabine) et de 970 kg (simple cabine).

Véritable outil de travail, le simple cabine peut représenter, dans certaines régions de France, une véritable alternative à un utilitaire classique, pour un prix de 81.250 F TTC.

De son côté, le double cabine capable de transporter cinq personnes, est le véhicule polyvalent par excellence, sorte de Dr Jekyll la semaine et de Mr Hyde le week-end.

Certes, à l'intérieur on est plus proche de l'ambiance rustique d'un Lada Niva, que celle d'un opulent Range Rover. Le prix n'est évidemment pas le même. D'autant que pour 90.900 F, l'équipement de série, s'il est basique, a le mérite d'être suffisant : quatre projecteurs réglables depuis le poste de conduite, feux de brouillard arrière, projecteurs anti-brouillard intégrés dans le bouclier avant, tableau de bord avec compte-tours, totalisateur journalier, témoins de niveau et de pression d'huile, de température d'eau, d'enclenchement de la transmission intégrale, banquette arrière rabattable, cache bagages souple... Aro France Inc propose, de plus, tout un tas d'équipements supplémentaires dont certains n'ont d'autre but que de personnaliser l'engin (Pommeau en cuir noir ou rouge, volant cuir, kit baroudeur, housse de siège), alors que d'autres revêtent un caractère plus "utilitaire". C'est le cas de la bâche et de l'arceau coulissant pour la version simple cabine du pick-up, du kit amortisseur "De Carbon" à gaz, du crochet d'attelage, de la galerie, du sabot inférieur de protection, etc. Montés sur le double cabine, ces équipements pourront aussi servir pour le transport de la famille...

(Aro France - 2 route d'Oigny - BP 97 - 02600 Villers Cotterêts - Tél. : 23 96 29 29 - Fax : 23 96 04 00)

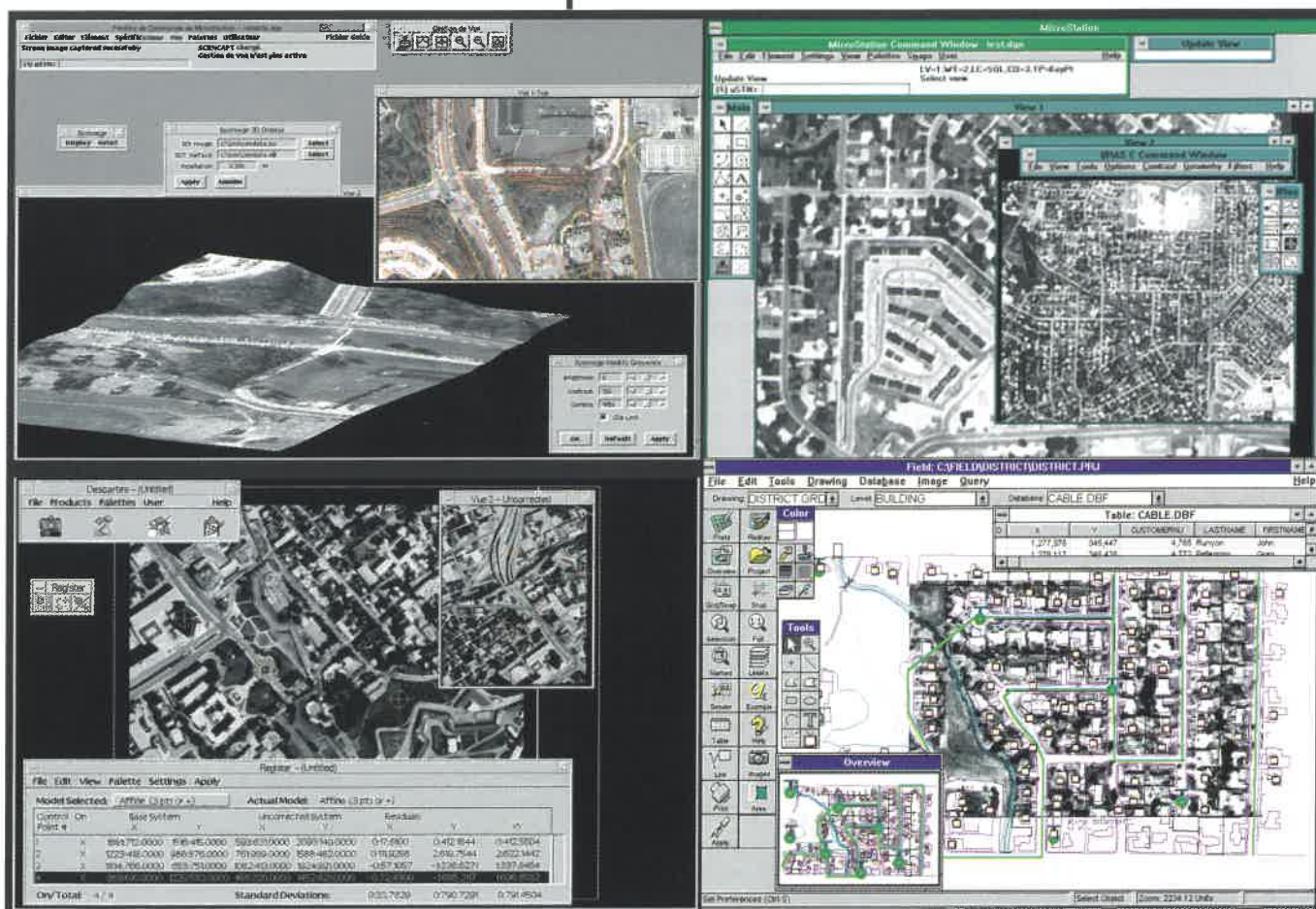


Bspline

# GEOmatique

La Force de la CAO !

Carto / Topo / OrthoPhoto  
SIG / Reprise de Plans



**COUPON A RETOURNER A BSPLINE**

**69 Rue Gabriel Péri 93200 St Denis**

**TEL : (1) 48-13-10-20**

**FAX : (1) 48-13-10-29**

**Raison Sociale :**

**Nom :**

**Prénom :**

**Fonction :**

**Service :**

**Adresse :**

**Code Postal :**

**Ville :**

**Tél :**

**Fax :**

**Je Désire Recevoir :**

- ☐ Le Catalogue Bspline ☐ Contact Commercial  
☐ Le Magazine Géomatique ☐ Une Documentation

## Toute la Géomatique

**Cartographie**

**Formations**

**Topographie**

**Développements**

**OrthoPhoto**

**MicroStation**

**Photogrammétrie**

**Scanners**

**StéréoRestitution**

**Mobilier**

**S.I.G.**

**Hardware CAO**

**Reprise de Plans**

**Scanning Center**



## LA PAGE DE GÉOMETRES SANS FRONTIERES

### G.S.F AU CITOP

la participation de Géomètres Sans Frontières au 3ème CITOP, en tant qu'exposant invité, soutenue par une volonté commune des adhérents et des organisateurs que nous remercions ici, avait pour but principal de montrer aux visiteurs l'intégration des missions réalisées et la diversité des actions dans le monde entier par G.S.F.

De plus la présence exceptionnelle de notre missionnaire en Bolivie permettait un contact direct avec les gens de terrain.

A l'issue de la manifestation nous ne pouvions que nous féliciter de notre présence en tirant les conclusions dans 3 perspectives différentes : les jeunes, l'international et le jumelage, l'enseignement.

L'enthousiasme des jeunes et leur intérêt pour des actions humanitaires ne peut pas se démentir et quelque soit le niveau d'étude et d'expérience, on ressentait une réelle disponibilité pour participer.

De très nombreuses interrogations sur les conditions de travail et de séjour, les possibilités de départ. Les rémunérations...très modiques ne déroutaient pas forcément.

L'aspect international de cette conférence s'est traduite parmi les visiteurs du stand par les péruviens de Lima, des boliviens de La Paz. Inutile de dire que la conversation dans leur langue natale fût chaude et animée avec Thierry Michalot expliquant sa présence en Bolivie.

Le soutien moral d'autres nationalités rencontrées nous fût apporté par de nombreux témoignages de sympathie.

Egalement, beaucoup de Belges enthousiasmés par l'idée de pouvoir aider. Ainsi une école belge désireuse de donner plus d'envergure à son voyage de fin d'étude de ses élèves nous amène à réfléchir sur une possibilité de jumelage avec l'université de POTOSI permettant ainsi de mettre en œuvre le projet de triangulation de cette ville en liaison avec ses étudiants.

L'information par le biais de conférences ou discussions est aussi un élément de communication que certains nous ont proposés. Il suffit ... d'organiser.

D'autres enfin, profitent de leur temps libre pour éventuellement répondre à des besoins de formation. Ainsi, nombre de professeurs se proposent de donner des cours pendant leurs vacances scolaires soit à des volontaires d'autres organisations, comme l'AFVP par exemple, en manque de formation, soit dans des conditions réelles pour apprendre à des villageois à se servir d'un niveau qui permettra peut être d'irriguer des terres ou de construire des diguettes dans de bonnes conditions.

Des "retraités" dans le même état d'esprit sont prêts à

donner des coups de main pour entretenir des relations avec les services de l'état. Mais leur vécu à eux est aussi intéressant par leur connaissance des matériels anciens et qui pourraient peut-être être utiles quelque part en Afrique.

Thierry Michalot a profité des grandes surfaces de mur de l'exposition pour montrer par photos et textes l'apport de la géométrie et donc du cœur dans des régions défavorisées en indiquant aussi les besoins financiers. Sur ce plan, il n'est pas sûr qu'il ait bien été entendu.

Depuis il est reparti sur les hauts plateaux avec le souvenir des contacts chaleureux qu'il a pu avoir avec l'ensemble des visiteurs du stand G.S.F. de ce CITOP car il était en présence de professionnels.

Merci encore aux organisateurs de cette manifestation qui ont contribué par l'efficacité de leur concours au renouveau d'une activité profondément humaniste.

O. Aury - Géomètre expert

### LA VIE DE L'ASSOCIATION

• Simultanément à la convocation pour l'assemblée générale qui s'est tenue le 30 novembre 1994 à Paris où furent échangées notamment des idées quant aux actions futures et devenir de l'Association : intégration avec d'autres, partenariat plus étroit, internationalisation avec la participation de nos collègues Européens, l'appel de cotisation fût adressé à tous les adhérents et sympathisants. C'est donc le moment de renvoyer le chèque d'adhésion ou de soutien.

• Thierry Michalot ayant trouvé des sources de financement auprès de services de coopération, G.S.F. sera mis à contribution plus dans un sens de complémentarité pour générer ou supporter directement l'élaboration de projets (heures d'études, matériels, fournitures, etc).

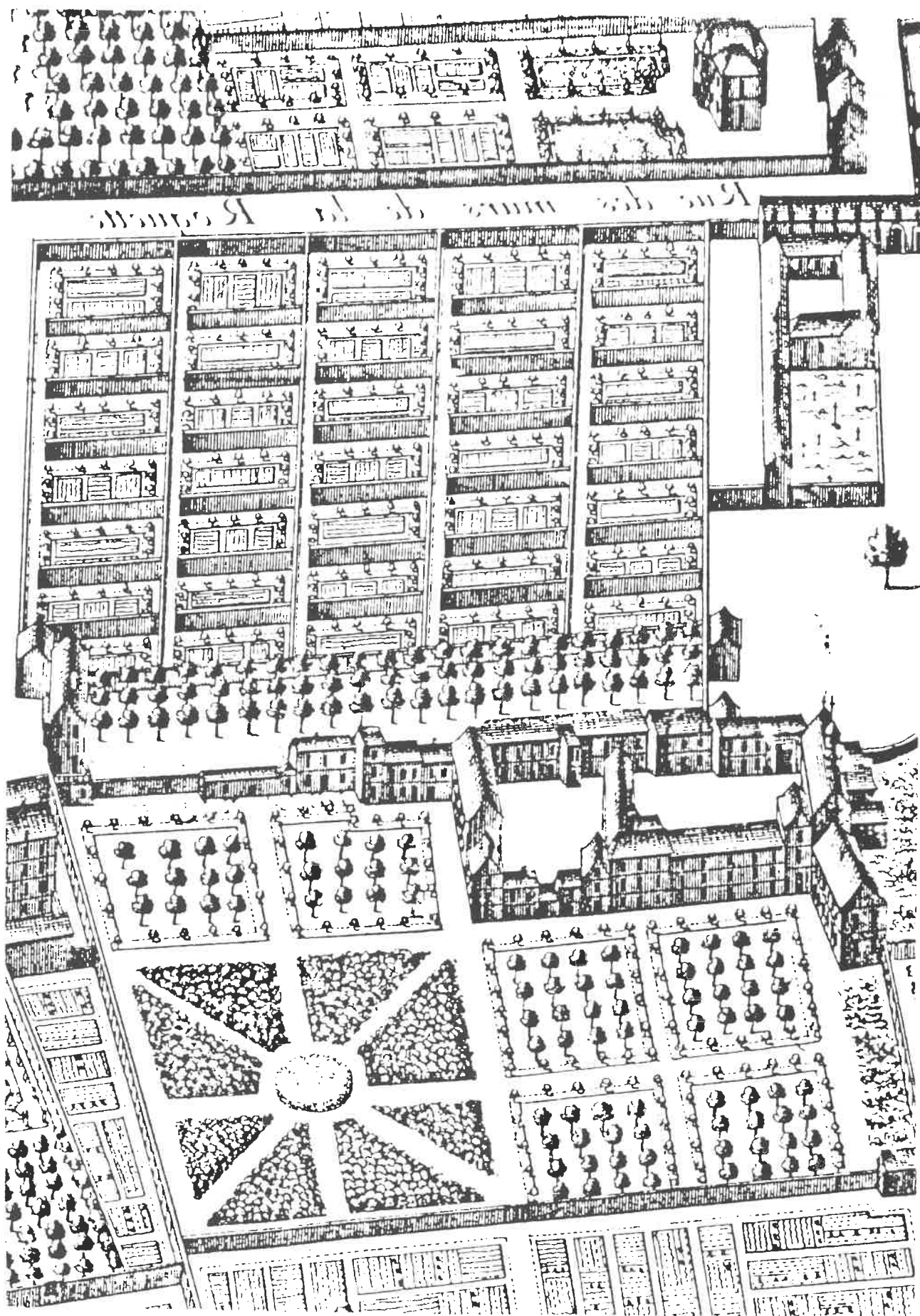
• Du côté de la Roumanie, les nouvelles sont à l'optimisme mesuré

#### G.S.F.

#### Maison des professions libérales

285, rue Alfred Nobel  
34000 Montpellier

- Adhésion : 1 000 F Professionnels  
500 F Salarié
- Soutien : 100 F (minimum)
- Etudiant : 200 F



Plan de Turgot - dressé par Bretez - 1739.



# HISTOIRE

## UN ARPENTAGE DE LA ROQUETTE EN 1582 SUR LE TERRITOIRE DE PARIS, LA COURTILLE ET CHARONNE

*par Serge Crégut*

*Géomètre-projeteur - Société TRANSEL*

Lorsque l'on examine attentivement les plans de Paris du XVI<sup>e</sup> siècle (plan de Bale d'Olivier Truschet et Germain Hoyan, plan dit de St Victor copie de Dheuland) l'on constate dans cette partie de l'Est parisien de "l'abbaye de St Anthoine" au faubourg du Temple, que l'on appelait "terroir de la Courtille" que les artistes ont figuré près de la croix Faubin (intersection de la rue de Charonne et de la rue des Boulets actuelle), un groupe de bâtiments agrémenté de quelques arbres, c'est "la Roquette", résidence de hauts bourgeois, demeure du grand chambrier de France, puis demeure seigneuriale.

Les propriétaires de la Roquette furent successivement :

En 1541 Germain Teste, ancien receveur et voyer de la ville, prévôté et banlieue de Paris. Nicolas Segulier, receveur ordinaire de la ville, maître des comptes et contrôleur général de l'artillerie. François de Raconis, sieur de Neufville, secrétaire des finances. Florimond Robertet, secrétaire d'état sous François II. En 1575, Philippe Hurault comte de Cheverny, chancelier de France, commanditaire de cet arpentage. En 1599, la duchesse de Mercoeur, belle-soeur du roi Henri III. En 1611, Jacques d'Aumont, prévôt de Paris, gentilhomme de la chambre. Thomas Morand, Baron du Mesnil-Garnier.

En 1636, les Hospitalières de la Charité Notre Dame.

Après la révolution de 1789, le domaine fut démantelé et au second empire on fit construire les prisons de la Roquette.

Rappelons tout d'abord qu'au XVI<sup>e</sup> siècle, le sol de Paris appartenait comme toute la France au système des tenures féodales. Des seigneurs fonciers se partageaient donc le territoire urbain et y maintenaient leurs droits féodaux. On y trouve le Roi lui-même et le chapitre cathédral, puis les grands établissements anciens Ste Geneviève, St Germain des Prés, le Temple ... s'y

ajoute les fiefs des seigneurs et les petits fiefs de faible étendue qui s'intercalent dans la carte des censives ecclésiastiques ou seigneuriales et restent pour une part aux mains ou seigneries de familles parisiennes : fief Popin, fief de Théroutenne ... Certains de ces fiefs ou seigneries sont assorties de justices hautes, moyennes ou basses, avec tribunaux, prisons, droits perçus.

Toute acquisition de terre fait donc du nouvel acquéreur le censitaire d'un seigneur foncier : il paye le droit de mutation, les lods et vente et s'oblige à verser annuellement un droit reconnaissant la subordination de sa terre : le cens.

"Seigneurs qui ont droit de justice, fiefs et censives, en la ville et faubourgs de Paris, les noms de leurs fiefs, limites et situations d'iceux : premièrement, Monsieur l'Archevêque de Paris, à cause de son Archevesché en 50 rues, et comme prieur de St Eloy, en 59 rues... L'abbaye de St Anthoine des Champs en 50 rues....Le grand Chambrier de France en 8 rues.<sup>(1)</sup>"

Coutumes de la prévôté et vicomte de Paris 1580 (collect part.Crégut)

Il faut se rappeler également qu'au XVI<sup>e</sup> siècle, Paris était une ville close de murailles, de fossés défensifs, de portes fortifiées (bastions construits sous Charles IX et François II). Cette enceinte fortifiée répondait à une nécessité pour se défendre des pillards, écorcheurs, ligueurs, armagnacs, bourguignons, fronde et armées à la solde de l'étranger...

Dans cette enceinte sans égout, sans eaux, aux rares rues pavées, la vie quotidienne était éprouvante.

"Il s'élève le soir des vapeurs fétides et nauséabondes, cadavéreuses qui oblige de fermer les fenêtres" Fernel Arch. Seine 6 AZ 564 <sup>(2)</sup>.

Il n'est pas étonnant que ceux qui en avaient la possibilité aspiraient à quitter cette ville (bourgeois et nobles).

1 ) La Roquette faisait partie d'une censive de l'office du grand Chambrier de France jusqu'en 1545, un terrier confirme cette affirmation Arch. Nat. Q 10 99 62 b.

2) Rapport sur la nécessité d'enterrer les morts en dehors de l'enceinte de Paris.



**Photogrammétrie**

**Méetrologie industrielle**

**Surveillance géodésique  
de mouvements de terrain**

---

30, ans d'expérience et de progrès continu

Ecart-type des mesures  
contractuellement garanti

---

**PARIS La Défense,  
4, rue de l'abreuvoir, 92400 COURBEVOIE  
(FRANCE)**

Tél. (33) 76.90.43.54

Fax (33) 76.90.19.87

Au milieu des cultures maraîchères, dans l'air pur des champs et des vignes, en dehors des remparts, s'érigèrent, clairsemées quelques demeures confortables, parfois somptueuses. Si l'on ajoute à ces raisons primordiales les difficultés inhérentes aux longs déplacements : états rudimentaires des routes, fatigue du voyage, les défectueux moyens de transport, on s'explique aisément le goût d'autrefois pour les villégiatures aux portes même de la cité. Hurault de Cheverny fut l'un de ces nobles qui s'installa dans les faubourgs de Paris et transforma une maison d'agrément en une fastueuse demeure, "la Roquette".

Philippe Hurault comte de Cheverny, chancelier de France, descendait d'une vieille famille du pays blaisois anoblie par Philippe de Valois, famille française qui tire son nom de la terre et seigneurie de Cheverny. La terre appartenait, au XVI<sup>e</sup> siècle, à la famille Hurault, qui y fit ériger un manoir (son fils Henri fit bâtir le château actuel).

Né le 25 mars 1528, il fut reçu conseiller clerc du parlement de Paris le 9 mars 1554, maître des requêtes le 1<sup>er</sup> août 1562, se démit de cette charge en 1570 et fut chancelier d'Henri III, garde des sceaux le 26 septembre 1578, officier et chancelier de l'ordre du St Esprit dès sa création par Henri III en 1578.

Les sceaux lui furent otés pendant les troubles de la ligue en 1588. A son avènement Henri IV lui rendit les sceaux qu'il garda jusqu'à sa mort, le 30 juillet 1599. Il fut enterré à l'église de Cheverny auprès de son père.

Hurault de Cheverny avait acheté à la veuve Florimond (1) le 10 avril 1575 une maison de plaisance, cours, fermes, appartenances et dépendances.

Il ne négligea rien pour rendre agréable la Roquette à ceux qui vinrent y séjourner.

En 1582, Philippe Hurault de Cheverny, avait fait arpenter son domaine de la Roquette et ses dépendances par les soins de Nicolas Girard, arpenteur commis au grand arpentage du Roi. Ce document (Arch. Nat. Q1 1238) revêt une grande importance pour l'histoire de ce quartier du XI<sup>e</sup> arrondissement de Paris car il nous fait découvrir les lieux-dits au XVI<sup>e</sup> siècle, ceux que nous avons conservés dans l'appellation des rues et ceux que nous avons oubliés. Dans la désignation des différentes parcelles de terres, vignes et bois, sur la notion de "terroir", Gabriel Henriot nous éclaire à ce sujet. Cette expression "terroir" était surtout à l'usage des notaires et elle servait à désigner cette zone de terrain, voisin des remparts de la ville dont le sol éminemment propre à la culture maraîchère, formait effectivement le "terroir" par excellence de Paris. Cet arpentage nous permet également d'en imaginer les limites entre le terroir de la Courtille, celui de Belleville et celui de Charonne. Pour une meilleure compréhension nous avons appliqué lieux-dits et terroirs sur un plan de l'arrondissement actuel.

Sur le plan de Paris dressé par Bretez et appelé plan de Turgot 1739, nous pouvons imaginer ce que pouvait être cette villégiature seigneuriale "corps d'hostel, cour

et basse-cour et estables, le jardin où sont les compartiments à dédales, viviers, le bois, clos de vignes, le jeu de paillemaile....l'enclos de la ferme, l'enclos de bois ou sont biches et cerfs, les terres (l'ensemble d'une contenance de 42 hectares).

Imaginez aussi, dans cette propriété seigneuriale, la cour du Roi Henri III toujours en fête, ces mignons, ces courtisans, autour du grave Mr. de Cheverny. Le chancelier avait fait de la Roquette, en humaniste, une villa à l'italienne. Le luxe de sa propriété résidait en effet dans le jeu de la distribution des eaux. La Roquette était largement pourvue d'eau, une concession sur les eaux de Belleville (Arch. Nat. S6150) l'apportait en effet par une conduite d'un diamètre de 10 lignes.

Les arcs portaient des inscriptions latines, c'était joindre l'utile à l'agréable suivant le précepte antique. La demeure était à l'image de l'esprit orné et prudent de Mr. de Cheverny. Dans le petit parc, on montrait la "cerisay" aux dames et l'allée d'ormes (Pierre Campion Paris au temps de Henri III). Le nom de "la Roquette" à une origine très controversée : pour Mr de Vibray, descendant des Cheverny, ce nom provient de rochette petite roche car les jardins étaient parsemés de grottes et de rochers artificiels qui l'ornaient.

Pour Charles Sellier c'est le nom d'un propriétaire, Rocquet, (commission du vieux Paris BM0 7 fév. 1908), Henri Vial qui cite le terrier de 1545 s'élève contre cette interprétation de Sellier en effet sur le dit document (Arch. Nat. Q 1099 62 b) il porte déjà le nom de Rochette et se sont les italiens, nombreux à la cour, qui auraient prononcés Roquette. Gabriel Henriot lui donne raison et souligne que dans les archives des Blancs Manteaux figurent deux actes, de 1470 et 1471, qui concernent une pièce de vigne, contenant 5 quartiers, sise au terroir de Paris, du côté de la porte saint Anthoine, au lieu-dit La Rochette, entre le pressoir l'Evêque et le pressoir Jehan Alavoine, ... (Arch. Nat. S 3684-85).

Pour Pierre Campion, l'origine serait arabe, de raquette, jeu de paume. Pour d'autres, plus poétiques et nous les suivront, l'origine viendrait de "roquette", plante crucifère, aux fleurs jaunes, qui pousse sur les terres rapportées.

Un certain nombre de lieux-dits se rapporte au sous-sol : "les sablons", en effet à cet emplacement est la deuxième masse de gypse dit "pied d'alouette" roche cristalline de couleur jaune. Sur un acte de 1478, concernant une rente que possédait sur une vigne la Fabrique Saint Paul (Arch. Nat. S.3474) les actes latins nomment ce lieu dit "IN SABULIS".

"Les plâtrières", sur l'emplacement de la première masse de gypse saccharoïde masse supérieure de pierre à plâtre.

"les graviers", alluvions anciens, "les carrières" (carrières de gypse entre Mesnilmontant et Charonne), "le trou", effondrement de carrières souterraines (fontis).

Lieux-dits se rapportant au relief du terrain : "la butte",

1) Florimond Robertet, secrétaire des finances en 1558 puis secrétaire d'état en 1559 était allié à la famille Hurault par l'épouse de Philippe Hurault : Anne de Thou.



Lieux-dits se rapportant à la nature des cultures : "les vignes", Cheverny avait 3 Ha de vigne, "les vignobles, vinnoble, les barilletz, pasnoyau, pasnoys, la serisaye, le bois, les ormeaux, les mûriers".

Lieux-dits se rapportant aux bâtiments et dépendances : "Popincourt", Jean de Popincourt, premier président du parlement sous Charles VI, mort en 1403, avait un manoir à l'emplacement de l'intersection de la rue du Chemin Vert et de la rue de Popincourt actuelle. "Folie Regnault", Regnault de Wandonne "espicier" avait une folie au XV<sup>e</sup> siècle à l'emplacement de la rue du Repos actuelle. "Bel Esbat" autre résidence d'agrément, "les boulets", maison des boulets rappel des guerres civiles du XVI<sup>e</sup> siècle. "le moulin de St Anthoine, l'abreuvoir, le pressoir d'or".

Lieux-dits se rapportant à la chasse : "la muette", petite meute, le chantier de la muette était autrefois le chef lieu de la seigneurie du grand chambrier de France supprimé en 1545 et séjour de ses équipages de chasse, enfin des calvaires, limite de paroisses : "croix faulbin", "croix brisée". Certains lieux-dits ne sont pas déchiffrés comme "bassaict" ou baffer (baffer roi sur le terrier de la grande chambrière) son souvenir nous est resté par la rue Basfroï.

Ainsi grâce à cet arpentage de "la Roquette" l'histoire de ce quartier de l'Est parisien, un peu délaissée, sort de l'ombre et nous aide à imaginer ce que fut ce site champêtre et ces demeures seigneuriales. Cet arpentage nous renseigne également sur l'existence et l'appellation des chemins : les chemins partant de Paris :

"Chemin de Paris au Mesnil Montant", chemin conduisant à un petit hameau formé autour d'un mesnil ou villa dit dans la charte de 1224 Mesnoliun mali temporis (mesnil du mauvais temps et dans une autre de 1231 Mesnilium Mautenz (Jacques Hillairet). C'est l'actuelle rue Oberkampf et rue de Ménilmontant.

"Chemin de Paris à Popincourt et de Popincourt aux carrières", actuelle rue du Chemin Vert.

"Chemin de Paris à la Folie Regnault ou chemin de Paris à la Roquette", actuelle rue de la Roquette.

"Chemin de Paris à Charonne", par une charte de

997, Robert le Pieux renonçait à ses droits sur la seigneurie de Charonne en faveur de l'abbaye de St Magloire et l'abbé demeura seigneur du village jusqu'au milieu du XVI<sup>e</sup> siècle, c'est l'actuelle rue de Charonne.

"Chemin de la Courtille à St Anthoine", il s'agit des rues de la Folie Méricourt, rue Popincourt, rue Basfroï, et rue St Bernard actuelles.

"Chemin de St Denys-en-France à St Maur-des-Fossés", ces deux abbayes étaient en relation étroite, il s'agit des rues St Maur, Léon Frot, des Boulets. Notons que moines et voyageurs étaient obligés de faire le tour de la propriété de la Roquette. Malgré les plaintes, le duc de Mercoeur obtint du Roi de conserver cet état de fait (1599) (La Poix de Frémonville traité de police).

"Chemin des carrières à Belleville", rue des Amandiers et rue des cascades actuelles. C'est par ce chemin que descendaient les eaux des sources alimentant la Roquette et l'abbaye de St Anthoine. Les regards sont encore visibles rue des cascades, l'écusson de Cheverny a été déposé et est visible au château de Cheverny.

"Chemin de Charonne à la Folie", rue du Repos actuelle.

L'immeuble où j'habite est situé à l'intersection de la rue du Chemin Vert et de la rue de la Folie Regnault, au pied de mon immeuble commençait le domaine de Cheverny "La Roquette" et fermant les yeux je m'imagine accompagnant Nicolas Girard et arpentant terres et vignes, bois et prez, allées et jardins, contournant le vivier et le jeu de pallemaille puis l'enclos de bois où sont biches et cerfs...

## SOURCES

- le Chancelier de Cheverny par le comte Henri de Vibraye
- la Roquette, Henri Vial, bulletin de la société de l'histoire de Paris au temps de Henri III par Pierre Champion
- Coutumes de la prévôté et vicomté de Paris 1636 collect. part.
- Le terroir de Paris par Gabriel Henriot, bulletin de la société histoire de Paris 1911
- Atlas des carrières souterraines de Paris

### INTRODUCTION ET CONCLUSION DU RAPPORT DE NICOLAS GIRARD, ARPENTEUR DU ROY, SUR L'ARPENTAGE DE LA ROQUETTE EN 1582

L'an mil cinq cens quatre-vingt-deux, le vingt-septième jour d'aoust, je, Nicolas Girard, arpenteur, commis du grand arpentage du Roy nostre sire, demeurant à Paris, au cloistre Saint-Jacques-de-l'Hospital, certifie à tous ceux qu'il appartiendra que, à la requeste de hault et puissant seigneur messire Philippe Hurault, chevalier, chancelier des deux ordres du Roy, vicomte de Cheverny, sieur de la Roquette, garde des sceaux de France, et en la présence de Christophe de Baignaudz, sieur de Beaufort, huissier et secrétaire ordinaire de la Chambre de Sa Majesté, maistre d'hostel du dit sieur de Cheverny, me suis transporté hors de la porte Saint-Anthoine et au dedans de la maison de la Roquette, jardin, enclos et terres, vignes et prez dépendans de ladite maison et iceux arpenteur a vacqué par les jours et par la forme et manière qui s'ensuyt :

1. Et premièrement, j'ay mesuré et arpenté la maison et corps d'hostel de ladite Roquette, cour et basse-cour et estable,

laquelle j'ay trouvé contenir demy-arpent une perche.

.....etc suivent 85 paragraphes concluant ainsi :

Et le tout ce que dessus certifié estre vray, et par moy avoir esté ainsy fait, suivant les veües et monstres et ostensions qui m'ont été faites par Nicolas Morard, marchand plastrier et laboureur de terre, et Jacques Guignard, lesquels tiennent pour le présent lesdictes terres et vignes cy-dessus déclarées dudict sieur de Cheverny et de Charles..., laboureur des vignes, dudict sieur de Cheverny, lequel a porté la perche devant moy pour faire ledict arpentage et mesurage fait en l'an et jour que dessus en la présence des dessus nommés, lesdictes terres, prez et vignes cy-dessus mentionnés ont été mesurés et arpentés à la mesure de vingt pieds pour perches, douze pouces pour pied et cent perches pour arpent, réservés cinq articles de terres assis sur les terroirs de Bercy, Saint-Mandé et Chalenton, lesquels ont été mesurés à la mesure de dix-huit pieds pour perche, douze pouces pour pied et cent perches pour arpent.

Signé : Girard, avec paraphe



## RÉCRÉATIONS MATHÉMATIQUES

Michel Sautreau

### Solution du problème n°3/94

Nous utiliserons la propriété classique suivante, d'ailleurs très facile à démontrer : si G est le centre de gravité d'un triangle ABC, les triangles GAB, GBC et GCA ont même superficie, celle-ci étant égale au tiers de celle de ABC.

Cela étant, appelons P le centre du puits et G le centre de gravité du triangle ABC à partager. Traçons par G trois demi-droites parallèles respectivement à PA, PB et PC.

Nous définissons ainsi, sur les côtés du triangle, les points A', B', C' (cf. figure) et les segments PA', PB', PC' réalisent le partage demandé.

Pour le prouver, il suffit de démontrer, par exemple, que la superficie du polygone PB'BCC' est égale à celle du triangle GBC, c'est à dire au tiers de la superficie du triangle ABC d'après la propriété rappelée au début.

Nous avons les relations suivantes entre les superficies :

$$(1) \begin{cases} S(PB'BCC') = S(PBC) + S(B'BP) + S(C'CP) \\ S(GBC) = S(PBC) + S(GBP) + S(GCP) \end{cases}$$

Mais, dans le trapèze GB'BP, les triangles B'BP et GBP ont même superficie car ils ont BP comme base commune et des hauteurs égales à la hauteur du trapèze ; d'où :

$$S(B'BP) = S(GBP).$$

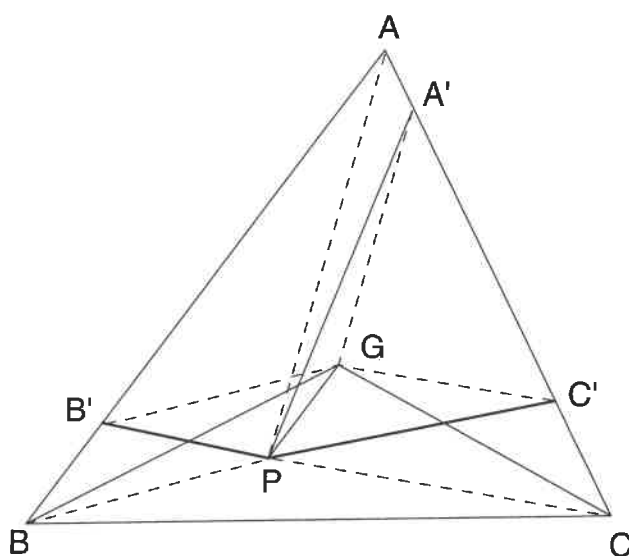
De même, dans le trapèze GC'CP, les superficies des triangles C'CP et GCP sont égales (côté commun CP, hauteurs relatives à ce côté égales à celle du trapèze) :

$$S(C'CP) = S(GCP).$$

Par suite, les seconds membres des relations (1) sont égaux, ce qui donne :

$$S(PB'BCC') = S(GBC) = 1/3 S(ABC).$$

On démontrerait de la même manière que les autres polygones résultant du partage -PA'AB' et PA'C'- ont des superficies égales au tiers de celle du triangle ABC.



# L'ART-LES LIVRES

## ■ BRETAGNE. LE SOLEIL SE LEVE À L'OUEST (YANN QUEFFÉLEC, PHOTOS DE JEAN-MARC DUROU)



Depuis "les noces barbares", prix Goncourt 85, Yann Queffélec nous a écrit plusieurs romans<sup>(1)</sup>. Aujourd'hui il nous livre des bribes de son enfance bretonne dans un ouvrage prestigieux illustré par des photos de Jean-Marc Durou.

Bretagne d'eaux vives et de granit, théâtre d'exploits planétaires pour le petit garçon qui court

dans le vent d'ouest de l'Aber Ildut. Il boit sa Bretagne à longues goulées et fugue même pour voir "la lutte à mort entre l'Atlantique et la Manche" où les vagues tentent de tailler le mer en pièces. Au-delà des dunes, jusqu'au large, les soleils liquides fusionnent avec les flots qui ourlent les marées.

Quelle aventure de corsaire à l'extrême pointe de ce continent ! Après il y a l'inconnu, au-delà des rochers striés et sculptés, salés et casseurs de bateaux. Il en a cassé le petit Queffélec, et des plus beaux, comme le "Ninioblo" de l'oncle Jo, véritable pur sang qu'il "emprunte" pour une virée, à quatorze ans, et qu'il jette sur les rochers des Sept Îles, via Batz, Bréhat, Ploumanach où, nous dit-il en passant, Sienkiewicz écrivit Quo Vadis.

Les bateaux se couchent pour mourir, sur les grèves, au fond des ports, dans les coins cimetière, ou bien acquièrent au fond des mers une noblesse de temple noyé. Et le poète se teinte de philosophe : "le temps ne laisse pas d'épave". Et ce retour au père, toujours, ce père mythique qui passe avec son parfum exotique et ses semelles de vent, Henri, le seigneur de l'Ouest.

Queffélec poète nous fait rêver de cet Ouest, le plus mystérieux des points cardinaux, le couchant, là où le soleil se lève. Pas n'importe lequel, d'Ouest, celui du Nord, qui n'a pas de ces complaisances qu'on rencontre passé Brest.

Le point d'orgue de ce livre sur la Breiz, ce temps qui suspend le texte et prolonge le poète qui parle, ce sont les photos.

Pour moi Jean-Marc Durou est un homme du désert,

l'homme de l'immobilité des pierres, photographe de la magie du rien. Il n'a pas regardé le désert, il l'a vu ! C'est autre chose !<sup>(2)</sup> Qu'allait-il faire dans cette galère du mouvement des eaux, du chatolement des gris de ciels d'aquarelle ou de bateaux balancés ? Qu'allait-il chercher dans ces affirmations péremptoires de lignes et de couleurs, de maisons et de navires ?

Miracle. La même poésie, la même réflexion, à l'évidence. L'homme des sables et celui de la mer, les frères d'une planète qu'on n'en finit pas de trouver belle.

(Robert Laffont. 156 pages. 385F.)

(1) Le charme noir (Gallimard). Le maître des chimères (Julliard). Prends garde au loup (Julliard). Disparue dans la nuit (Grasset).

(2) Sahara, désert magique, 1er prix Hippolyte Bayard décerné par le musée français de la photographie en 1993, (AGEP). Déserts, avec Théodore Monod (AGEP) et l'Égypte, vallée du fleuve dieu, également chez AGEP.

## ■ L'ESPRIT DE COMPAGNONNAGE (JEAN-PIERRE BAYARD)

Jean-Pierre Bayard est un spécialiste des livres sur le symbolisme traditionnel. Mais il connaît particulièrement le compagnonnage parce qu'il connaît les compagnons, qu'il les fréquente toujours, et qu'il a soutenu avec succès en 1977 une thèse de doctorat en lettres sur le "Compagnonnage en France" à l'Université de Rennes.

Cela nous vaut un ouvrage de conviction en plus de l'histoire, de la part de cet Ingénieur des Travaux Publics. L'histoire, les rites, la formation ouvrière et l'enseignement, l'éthique et les valeurs morales sont contés par un auteur particulièrement qualifié pour ce passé.

Le terme de "compagnonnage" date de 1719, il est donc relativement récent compte-tenu de l'existence fort ancienne des communautés corporatives, puisque l'antiquité montre déjà des traces d'organisation ouvrière. Les pouvoirs ne s'y sont d'ailleurs jamais trompés puisque la première interdiction de s'assembler date de Charlemagne en 779, mais de nombreuses autres jalonnent l'histoire des compagnons.

Le compagnonnage a toujours exalté le geste manuel, mais le geste issu du meilleur de l'esprit, en le plaçant dans un contexte sacré. C'est l'école des ouvriers d'élite qui, non seulement sont d'extraordinaires créateurs d'objets, mais y apporte les valeurs morales et humaines sans lesquelles l'œuvre est inache-

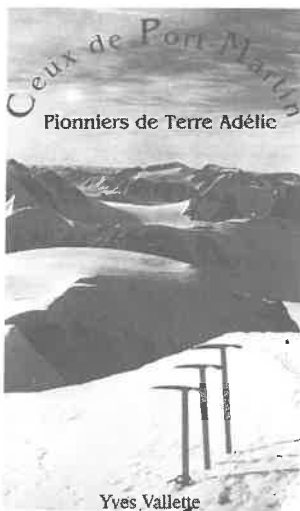
vée. Le compagnon est le meilleur ouvrier grâce à l'initiation qui rejoint, bien entendu, les rites maçonniques.

Le compagnonnage existe toujours et son existence se situe bien avant la grande époque des constructions médiévales. Jusqu'à nos jours il a marqué bien des groupes, de près ou de loin. On peut en rapprocher des expériences telles que l'ordre des compagnons du Minorange de l'entreprise Bouygues, ou l'esprit qui présida à la fondation de l'ESTP par Léon Eyrolles.

Ce livre, bourré de références et de renseignements, se lit comme une histoire passionnante.

(Éditions Dangles - 260p - 105 F)

## ■ CEUX DE PORT-MARTIN



"... les onze sont pénétrés du sentiment d'être devenus les habitants d'un territoire grand comme la France dont ils s'estiment les propriétaires. Pour eux une nouvelle destinée commence... regardant au nord, ils voient la mer jusqu'à l'horizon, dont la ligne courbe est coupée de la silhouette de quelques îlots rocheux et d'icebergs. Vers le sud, le plateau... Celui-ci forme une vaste calotte de glace brillante, qui monte jusqu'au ciel, en s'incurvant à droite et à gauche... Ils éprouvent confusément l'impression que là haut se trouve le pôle... Le but extrême de cette expédition est d'explorer cette calotte... il est impossible qu'elle ne recèle pas quelque secret fondamental."

C'est ainsi qu'Yves Valette décrit la situation le jour où le navire qui a amené les "onze" reprend sa route en les laissant pour une année avec leurs 28 chiens, dans ce Port-Martin où flottent les couleurs françaises.

C'était l'époque héroïque des séjours polaires et antarctiques, l'époque de Paul-Emile Victor. Yves Valette nous conte ce séjour qui marque la reprise en mains par la France de cette Terre Adélie en 1950. A partir de là allait suivre l'aventure bien connue, aventure scientifique et aussi humaine comme l'atteste la dernière en date de Jean-Louis Etienne qui, avec 6 traîneaux renouant avec la tradition, et 6 nationalités différentes devait affirmer le caractère international de l'Antarctique.

Un ouvrage passionnant parce que nous nous apercevons qu'à l'orée immédiate de la découverte de l'espace, la terre recelait encore d'immenses régions inconnues, aussi difficiles à découvrir, presque, que notre sœur la Lune.

(Autoédité par l'auteur. 255 pages. 80 F - à la société ARIAT - 17-19 rue des Grandes Terres - 92500 Rueil Malmaison - Tél. : 47 32 03 04 - Fax : 47 14 97 87)

## ■ AVIONS DE CHEZ NOUS



Cet ouvrage présente l'histoire, l'évolution et les caractéristiques de tous les appareils de combat mis en service dans l'Armée de l'Air. Le tout illustré et présenté avec des légendes détaillées, et divisé en 5 parties thématiques. Un double index avec classement par constructeur et par nom d'appareil complète le livre. Toutes les photos d'époque sont présentées et commentées par l'auteur.

(Collection "...de chez nous" - Édité par E.T.A.I./M.D.M. - 144 pages - 170 illustrations N et B - 180 F - 96 rue de Paris - 92100 Boulogne)

## ■ DEUX LIVRES A SIGNALER

- "Forme et mouvements de la Terre, satellites et géodésie" de Anny Cazenave et Kurt Feigl, chez Belin-Éditeur - En vente au CNRS et dans les librairies.

Sur ce livre, un article plus développé dans notre prochain numéro.

- "Histoire des Sociétés rurales", qui comporte un chapitre sur le bornage chez les Romains.

(Gérard Beaulieu, 51 rue Guy Moquet - 94700 Maisons Alfort)

Aux Presses de l'ENPC : 5 livres

## ■ UN DEMI SIECLE DE SIGNALISATION ROUTIERE (MARINA DUHAMEL)

Plus d'un siècle avant JC existaient les bornes "milliaires" ancêtres de nos bornes kilométriques et qui bornaient chaque 1480 mètres. Mais, déjà, les romains connaissaient le sens unique, le parking et les passages piétons ! En France, les bornes royales constituent la première signalisation se substituant aux milliaires romains. A noter aussi les coquilles qui jalonnaient, au Moyen Age, les chemins de Saint Jacques de Compostelle.

La signalisation routière n'apparaît vraiment, bien entendu, qu'avec le développement de la circulation des personnes. Des appareils de signalisation se rencontrent depuis Henri IV, mais les premiers panneaux, indicateurs de lieux essentiellement, se développent surtout à partir de 1836 alors que le panneau de police apparaîtra avec l'automobile vers 1883.

Le bétotien qui flâne sur nos routes actuelles pense sans nul doute que les signaux qui jalonnent abondamment son parcours, le préviennent d'un danger, d'un virage, qu'une vache peut traverser son chemin ou un train se permettre d'avoir priorité sur lui, sont placés là par quelque personnage qui n'aurait pas de plan d'ensemble ni besoin d'idées générales.

Ce livre nous fait découvrir la véritable technologie, à la limite d'une science, qu'est la signalisation routière.

Des ingénieurs, techniciens, spécialistes de nombreuses disciplines non seulement se penchent sur ces problèmes mais, et l'auteur nous l'apprend, en font une vraie passion.

C'est à l'initiative de sociétés vélocipédiques, puis d'associations automobiles et de marques de voitures ou de pneus (Citroën, Michelin...) que l'on doit les premiers panneaux indicateurs. Cet ouvrage retrace les conditions de l'apparition des signalisations routières, les différents essais en matière de forme auxquels il a donné lieu jusqu'en 1946.

Une circulaire de réglementation, a achevé, à cette date, ces 50 années de recherches et de tâtonnements. On y apprend les polémiques et les initiatives, qui ont accompagné les balbutiements de la signalisation naissante dans ces temps héroïques.

A partir de 1946 se fait sentir le besoin de cohérence et d'homogénéité, et c'est déjà l'esprit de l'an 2000 qui perce, mais l'aventure signalétique ne faisait que commencer.

Un tome 2, en préparation par l'auteur, traitera de la partie contemporaine, avec ses textes et ses décisions mais aussi ses polémiques et ses créations.

(presses de l'ENPC - 150 pages)

## ■ DÉMARCHES URBAINES (AFTRP)

L'AFTRP, Agence Foncière et Technique de la Région Parisienne a été créée en 1962 avec pour mission première de contribuer à la réalisation des villes nouvelles et des grands équipements régionaux.

Cet ouvrage présente la démarche et les méthodes de conception de ce grand aménageur public qui cherche à reconsidérer, aujourd'hui, son approche professionnelle et à développer des pratiques d'élaboration de projets d'urbanisme adaptées à un environnement en mutation, et cela par le biais de huit consultations urbaines de 1988 à 1993.

Euro Val d'Oise (l'aménagement d'un grand territoire), Tremblay en France (un projet de pôle international), Grigny (la restructuration d'un grand ensemble), Brétigny sur Orge (le développement d'une ville moyenne), Chilly Mazarin (la transformation d'un quartier de banlieue), Versailles (l'aménagement d'un grand îlot urbain), Draveil (un équipement de loisirs dans une base de plein air), Carrières sur Seine (un équipement scolaire de second degré).

C'est en tenant compte d'un bilan de 30 ans d'aménagement planifié, ou certaines réalités de l'habitat et de l'activité ont été négligées, que l'AFTRP a voulu développer une réflexion sur "l'urbanisation de demain" et imaginé ces différentes consultations sur la ville.

Bien illustré, d'une consultation facile, agréable et bien présentée, ce livre est d'une grande clarté, pose bien les problèmes. Il est une aide technique au montage d'autres initiatives qu'on aimerait voir se généraliser.

## ■ CONCEPTION DES PONTS

(ANNE BERNARD-GÉLY - JEAN-ARMAND CALGARO)

Ce livre est le support écrit du cours dispensé à l'ENPC sur le sujet. La pédagogie y domine donc et l'ingénieur y trouvera une revue des principales questions qui se posent dans la conception d'un pont. Mais au delà de sa volonté d'enseignement, ce livre permet, avec clarté, de s'informer de l'évolution de ce domaine spectaculaire du génie civil, les développements mathématiques se limitant au strict nécessaire.

Une brève histoire des ponts débute l'ouvrage et nous suivons avec intérêt ce que deviennent les premiers ponts en bois, déjà ingénieux, construits 20 siècles avant JC et dont nous parle Hérodote, auxquels devaient succéder les ponts en maçonnerie, puis métalliques, en béton, en acier, jusqu'aux ponts suspendus et à haubans.

Cette constante évolution continue de nos jours grâce aux performances croissantes des matériaux et des méthodes. La création de formes originales pour le franchissement d'obstacles les plus divers accompagne la technique avec bonheur. Cet ouvrage en offre un panorama synthétique mais assez complet. Les élèves des grandes écoles et les ingénieurs débutants y trouveront l'ensemble des connaissances de base pour la conception des ponts à poutres, des ponts poussés et des ponts en encorbellement. Un chapitre spécial est consacré aux actions dynamiques appliquées aux ouvrages d'art, et un autre à l'esthétique. Les auteurs y insistent sur l'importance de l'aspect "ouvrage d'art" qui doit être une préoccupation essentielle de l'ingénieur et que ni l'exploit technique, ni l'économie ne justifie qu'on enlaidisse villes et paysages.

Qu'un ouvrage d'enseignement mette ce problème au même plan que l'ingénierie ne saurait qu'être de bonne augure pour l'œil et l'art de vivre sur la planète.

## ■ LA GESTION DE PROJET DANS LA CONSTRUCTION

(DIRECTION : JACOTTE BOBROFF)

Cet ouvrage reprend et prolonge les interventions et échanges qui se sont déroulés pendant deux journées d'étude organisées par la Formation continue de l'ENPC.

La capacité de conduire et de faire aboutir un projet devient maintenant une compétence-clé et une dimension stratégique pour les entreprises de construction. Des experts et des professionnels présentent ici des expériences majeures dans des configurations diverses et s'efforcent de répondre à quelques questions : quels sont les enjeux du développement de la gestion de projet et quels acteurs en sont les supports ? Le secteur de la construction peut-il permettre de telles formes d'organisations ? Une gestion pour projet aura-t-elle des effets sur la structuration des métiers et sur les qualifications ?

Il semble que le secteur de la construction possède de nombreux atouts pour aborder ces mutations.



## ■ GRANDS APPAREILLAGES HYDRAULIQUES ET SOCIÉTÉS LOCALES EN MÉDITERRANÉE

Le succès ou l'échec des grands appareillages hydrauliques et de tout ce qui touche aux questions hydrauliques et aux technologies modernes y afférant, ne dépendent pas seulement des savoirs scientifiques et de l'art de l'ingénieur, mais il se joue aussi dans les interactions avec les sociétés locales, les politiques des États, les groupes professionnels et les structures économiques.

Les interventions rassemblées dans ce volume sont le fruit d'un séminaire tenu à Marrakech en octobre 1993 où se sont rencontrés techniciens et spécialistes des sciences humaines.

Parce qu'il traite de l'eau comme élément vital, omniprésent dans les mentalités, dans la nomination des lieux et dans l'organisation politique, ce livre est une contribution importante à ce qu'on pouvait appeler une "anthologie de la modernité".

### REPERTOIRE DES ANNONCEURS N° 62

GEOTRONICS ..... 1<sup>re</sup> et 2<sup>e</sup> couv.

SETAM INFORMATIQUE .. 3<sup>e</sup> couv.

TOPO-CENTER ..... 4<sup>e</sup> couv.

AERIAL ..... 32

BSPLINE ..... 76

BURNAT ..... 36

CARL ZEISS ..... 16

ENSG ..... 2

LEICA ..... 9

SINTEGRA ..... 80

TECHMATION ..... 12

TOPCON ..... 73