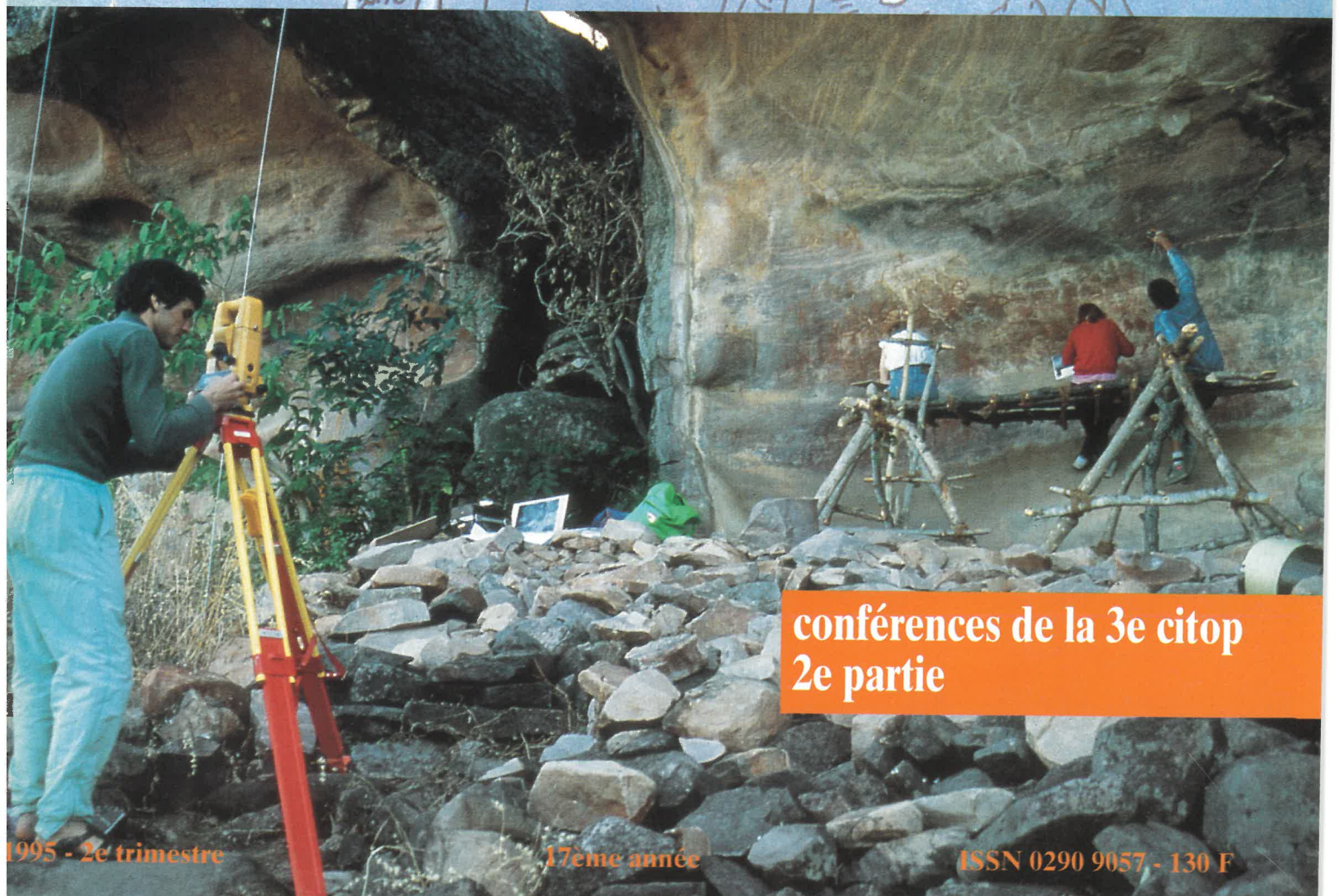




XYZ 63

*Association
Française de
Topographie*



conférences de la 3e citop
2e partie



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
VENDREDI**

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'adap-
tation strictement réservés.*

1995 2° trimestre

N° 63 SOMMAIRE

Photo de Michel Lorblanchet (CNRS).
Mission franco-indienne à Madhya Pra-
desh, près de Bhopal, en décembre
1993. Levé au tachéomètre TOPCON-
SLOM pour établir la cartographie parié-
tale (voir notre article page 46)

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
AC² Communication
15, rue Berthelot
ISSY-LES-MOULINEAUX 92130

IMPRIMERIE MODERNE
USHA
AURILLAC 15001
Tél. 71.63.44.60 - Fax 71.64.09.09

- EDITORIAL	5
- INFO-TOPO	
• L'actualité topographique du trimestre, informations, annonces, bloc-notes, etc.	7
- 3 ^e CITOP (2 ^e partie)	
• Eurotunnel : topographie après la jonction du tunnel de service. par J.-M. JOSEPH	15
• Câbles sous-marins de télécommunication et topographie par R. SALVADOR	21
• Contribution de l'imagerie satellitaire aux études d'avant-projet par P. MAUREL	25
• DVG : un système aéroporté de saisies de données géographiques tridimensionnelles pour un projet d'ingénierie linéaire par M. TAYLOR	30
• Résumés des interventions en langue anglaise et des conférences de Londres par L. GRUNDIG, S. LUNDEN, M.-L. LUNDGREN, J. BAHNDORF, K. LINKWIST, H.-J. MÖNICKE, M. HOFMAN, R. MOLENDIJK, J.P. FARROW, D.E.B. JONES, M. MAYOUD, J. HUMPHREY, G.T. JOHNSTON, R. EVANS, O. KATOWSKI, M. MAY, C. CALVERT, V. ASHKENAZI, M.A.R. COOPER, K. EGGER	34
- GPS	
• L'avenir du GPS dans la localisation et le guidage d'engins de chantier par Valérie PIQUE et Yves RONGY	37
- SIG	
• Le point sur la norme EDIGÉO et son utilisation par Brigitte CHOLVY et Henri PORNON	41
- SCIENCES ET TECHNIQUES DANS LA PROFESSION	
• IGN : la BD Topo était au MICAD par J.P. DUCUING	45
• Applications topométriques industrielles du système de nivellement hydrostatique (HLS) d'après les expériences de Daniel ROUX	47
• Le rôle du géomètre et les instruments de mesure et de contrôle sur les chantiers EOLE, METEOR et ligne D du RER par Michel CADET et Jacques REYMOND	52
• SOISIC 3 DIPSOS, un ensemble capteur-logiciel par Michel Paramythioti	55
• Concepts Nippons d'aménagement (1 ^{re} partie) par Pierre BIJOU	60
- L'HISTOIRE	
• Sciences géographiques, connaissance du monde et conception de l'univers dans l'antiquité (encarté) par Raymond d'HOLLANDER	65
• Matérialisation dans Paris du tracé du Méridien de l'Observatoire en hommage à François Arago par Bernard TAILLEZ et Robert VINCENT	65
- LA PAGE DE GEOMETRES SANS FRONTIERES	
• L'année humanitaire	74
- L'ART - LES LIVRES	76
- REPERTOIRE DES ANNONCEURS	80
- LEXIQUE TOPOGRAPHIQUE	
Chapitre 12 : photogrammétrie (encarté) voir page 14	

Objectif : performances & simplicité



**Stations totales Nikon :
une mesure d'avance**



NIKON FRANCE S.A.
191, rue du Marché Rollay
94504 Champigny-sur-Marne Cedex
Tél. : (1) 45 16 45 16
Fax : (1) 45 16 00 33

Le juste équilibre : performances et confort d'utilisation

Conçue pour répondre à un très large champ d'applications, la station totale DTM 300 vous propose l'équilibre parfait performances, confort et budget.

Elle offre en série :

- La précision de mesure, la qualité optique et le confort visuel spécifiques à la gamme NIKON.
- Des programmes intégrés puissants et intelligents permettant de réaliser toutes les applications courantes :
 - fonction de mesure d'angle et de distance,
 - lever et enregistrement intégrés en coordonnées polaires ou XYZ,
 - implantation assistée,
 - télémesure de distance et de hauteur...
- Une facilité et un confort d'utilisation sans précédents, pour que performance soit synonyme de plaisir :
 - double écran 4 lignes, clair et convivial,
 - clavier numérique complet permettant un accès direct aux fonctions principales.

EDITORIAL

S'il fallait encore des preuves pour démontrer que notre métier aborde tous les aspects des activités humaines, le contenu de ce numéro les donnerait. Et d'abord notre couverture d'XYZ qui fouille dans un passé pouvant atteindre 10 000 ans. Une mission franco-indienne dirigée par un directeur de recherche au CNRS, Michel LORBLANCHET, est chargée du relevé de la paroi rocheuse ornée de peintures rupestres à BHOPAL en Inde et c'est un théodolite au laser (Topcon GTS-6) qui enregistre les mesures et permet la fabrication d'une carte en courbes de niveaux qui peut permettre, éventuellement, une reproduction en 3 D pour une utilisation muséographique.

Dans le même ordre d'idée, un article issu des expériences du chef du groupe Alignement et Géodésie de l'ESRF, Daniel ROUX, décrit les applications topométriques industrielles du système de nivellement hydrostatique HLS (Hydrostatic Levelling System), ce niveau hydrostatique HLS ne cesse d'étendre son utilisation dans l'environnement topométrique industriel. L'article en présente quelques applications.

Il est vrai que le monde industriel éprouve le besoin de plus en plus général d'une information géométrique 3D complète et précise. Les systèmes de métrologie par contact (palpeurs) se sont beaucoup améliorés pour aboutir aux machines à mesurer tridimensionnelles. Depuis 1970 se développent des procédés de photogrammétrie industrielle complétés par des logiciels 3 D performants, aujourd'hui relayés par la vidéo photogrammétrie qui permet une numérisation plus facile.

Le système SOISIC 3 DIPSOS est un ensemble-capteur-logiciel de vision tridimensionnelle métrologique qui permet la saisie sans contact et la modélisation tridimensionnelle précise d'objets ou d'installation. C'est le sujet d'un article de Michel PARAMYTHIOTI.

C'est aussi à la topographie et à son instrumentation qu'on fait appel sur les chantiers modernes de creusement des prestigieux tunnels pour EOLE, METEOR et la ligne D du RER. Un article décrit la mission des géomètres du "sous-sol", aussi bien pour l'implantation que pour le contrôle, il s'agit d'assurer le bon suivi du tracé par rapport au projet. La responsabilité n'est pas sans conséquence.

Toujours dans les travaux publics, des élèves-ingénieurs géomètres de l'ESTP ont mené une réflexion sur la conduite automatique d'engins de travaux publics à l'aide du GPS. Ils nous en parlent dans ces pages.

Mais une bonne partie de ce numéro est consacré aux interventions à la 3e CITOP, publication commencée dans notre numéro précédent (62). Jean-Michel JOSEPH, maître d'œuvre, responsable de la topographie auprès d'Eurotunnel, nous parle de la topographie après la jonction du Tunnel de service sous la Manche. René SALVADOR, ingénieur général à FRANCE TELECOM, après un rapide historique des câbles sous-marins, nous relate les moyens topographiques mis en œuvre, du plomb de sonde aux systèmes de repérage par satellite. SPOT-IMAGE, par la plume de Pierre MAUREL, décrit l'aide unique que peuvent apporter les données des satellites SPOT pour tout projet sur la surface de la planète, rapidité, fiabilité et répétitivité. M. TAYLOR, de IMA/GEO, décrit un système de cartographie intégré, conçu avec les développements technologiques nouveaux, le Digital Video Géographic System (DVG). Enfin un résumé est donné des interventions en langue anglaise et des conférences de Londres de la 3e CITOP.

Ce numéro commence également une enquête de Pierre BIJOU, sur les concepts nippons d'aménagement, toute une culture différente de notre monde occidental. Et qui pourrait mieux que J.J. Levallois nous parler d'un livre de Mme Anny Cazenave et M. Kurt Feigl sur "les formes de la Terre, les satellites et la géodésie"? A lire à la chronique "L'art - les livres". Et l'histoire, comme à notre habitude pour ce métier vieux comme le monde, n'est pas oubliée, d'abord par l'édition hors texte, en encarté, de la suite de l'ouvrage de Raymond d'Hollander "Sciences Géographiques, connaissance du monde et conception de l'univers dans l'antiquité"; nous en sommes au chapitre 11, ensuite la matérialisation dans Paris du Méridien de l'Observatoire en hommage à François ARAGO fait l'objet d'un article de Bernard TAILL EZ et Robert VINCENT.

Mais ce numéro voit l'aboutissement d'une tâche importante commencée en 1985 par la commission d'enseignement de l'AFT, le lexique topographique, dont le chapitre 12 et dernier, la photogrammétrie, est encarté en tiré à part dans nos pages.

XYZ

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.

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

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



Carl Zeiss S.A.
60, Route de Sartrouville
78230 Le Pecq
Tel.: 1 3480 2000
Fax: 1 3480 2001

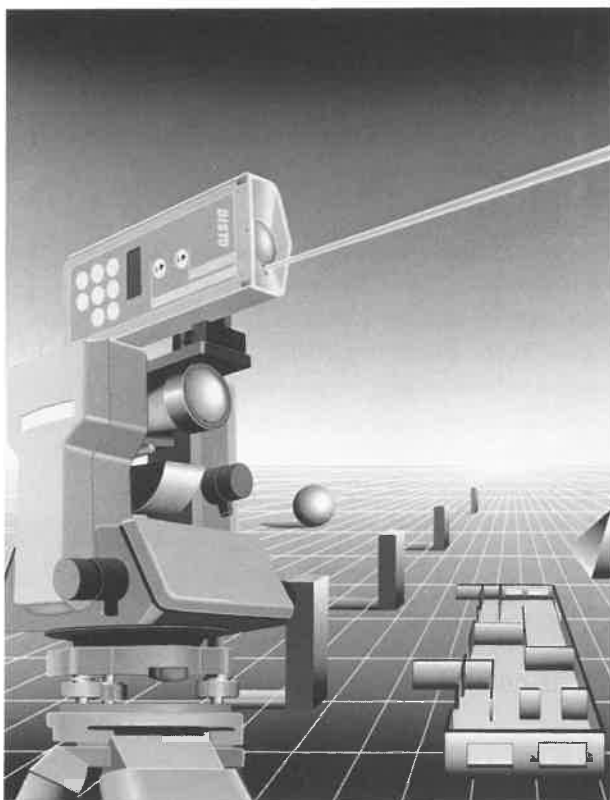
INFO

TOPO

*actualités
bloc-notes
flashes*

Leica : nouveaux modèles de Lasermètre DISTO™ avec interface

Il y a un an, dans le n° 58 d'XYZ, nous présentions la nouveauté mondiale qu'était le "Lasermètre DISTO", appareil de mesure de distance, employant la technologie laser, précis et sans contact de 0,2 à 30 mètres, pouvant même atteindre 100 m avec un réflecteur.



Data Disto™ GSI - Photo Leica

Deux nouveaux modèles : Data Disto™ RS232 et Data Disto™ GSI en sont des évolutions disposant

d'une interface de donnée destinée à établir la communication avec les ordinateurs et les autres systèmes de mesure.

Une telle liaison permet l'enregistrement de grandes quantités de mesures sans erreur de transfert.

Data Disto GSI assure la communication avec les théodolites Leica grâce à son interface. La combinaison Disto-théodolite, avec le point laser visible représente le système de mesure idéal à courte portée. Dans ce système s'appuyant sur le principe de mesure polaire, les données peuvent être traitées automatiquement à l'aide d'un logiciel d'analyse tel que CASOB.

Quant au Data Disto RS232, équipé d'une interface RS232, il permet non seulement le transfert de mesures entre le lasermètre et l'ordinateur mais aussi la commande du lasermètre par le biais de l'ordinateur. Cela rationalise les mesures et ouvre la porte à de nouveaux domaines d'application pour Disto, tels que les levés stationnaires et les travaux de contrôle.

Notons que le Disto ancien modèle peut être muni d'une interface et ainsi posséder les mêmes possibilités.

(Leica - Division LSG - 86 av. du 18 juin 1940 - F 92563 Rueil Malmaison Cedex - Tél. : (1) 47 32 85 85)

Carl ZEISS : Les instruments topo 1995

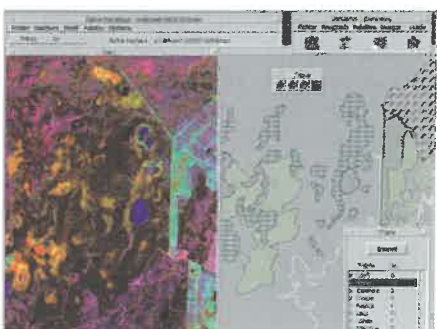
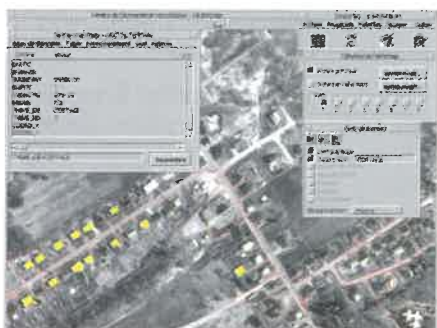
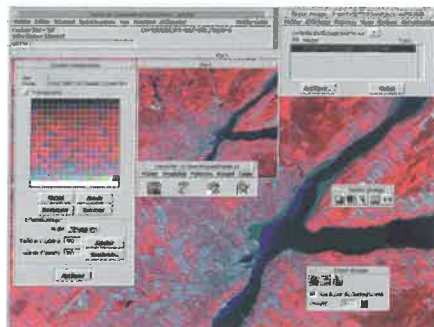
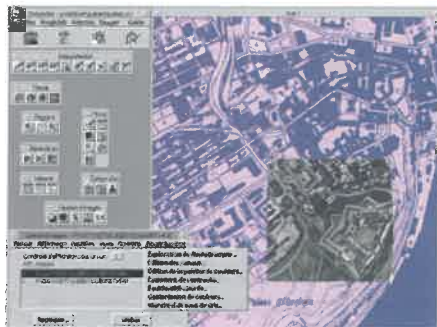
Carl ZEISS est l'un des plus grands groupes d'optique internationaux avec 15 000 employés et un chiffre d'affaires mondial de près de 8 milliards de francs.

Dans la conférence de presse qu'elle organisait le 21 février dernier, la société rappela que la division avait régné pendant 45 ans entre les entreprises ZEISS d'Oberkochen et de Jéna, et que c'est le 7 novembre 1991 que, pour cause de réunification, les dirigeants des deux sociétés ont signé l'acte constitutif de la société Carl ZEISS Jena GmbH.

Bspline UNIQUE En France

La Force de la CAO !

La Cartographie par l'Image !



Réalisez enfin de la Cartographie sur Images !
Un Logiciel Haut de Gamme, Haute Performance sur PC !

Descartes sur MicroStation. Un ensemble de produits conçus spécialement pour la réalisation de vos applications cartographiques de A à Z.

Déplacer l'image aussi rapidement que vous bougez la souris !

D'un simple mouvement de la souris, faites défiler vos fichiers DGN et une mosaïque d'images couleur ou noir et blanc de plusieurs mega-octets.

Désormais, vous pourrez saisir ou mettre à jour vos éléments DGN avec l'image numérique sous vos yeux.

Tout ce que vous souhaitez, de A à Z !

Production de documents complexes requérant aussi bien de l'information vectorielle que matricielle et création d'un fichier PostScript.

Assemblage de photographies aériennes, d'images satellitaires ou autres documents numériques en une mosaïque virtuelle.

Affichage, accentuation, édition et mise en registre dynamique ...

Création d'une symbologie thématiques variée pour la production de cartes

Saisie d'attributs de mesures et thématiques reliés aux éléments DGN.

Affichage graphique ou en tableau des résultats d'une requête.

COUPON A RETOURER 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 :

- ☐ Une Démonstration Produit ☐ Contact Commercial
☐ Le Catalogue Géomatique ☐ Une Documentation

Disponible sous :

DOS

Windows

Windows NT

InterPro

SUN

HP 700

Depuis, cette fondation, instituée par le physicien Ernst Abbe en 1889 dans l'atelier du mécanicien d'université Carl ZEISS, possède un double siège social à Heidenheim et à Jena.

Son activité est centrée sur les produits de l'optique et de la mécanique de précision. Quelle meilleure garantie pour la gamme d'instruments topographiques et photogrammétriques que la conférence de presse présentait ce jour là.

• Et d'abord la firme élargit sa gamme d'instruments de la série E dans laquelle on trouve les théodolites électroniques ETh3 et ETh2 et les familles des stations totales Elta 2-5, Rec Elta 2-5 et Rec Elta 13-15.



• Les nouveaux venus, le théodolite ETh 50 et la station totale Elta 50 se démarquent par une forme sobre aux lignes nouvelles. Compacts et légers, ils ont été étudiés pour faciliter les tâches du géomètre, en particulier sur les chantiers. Des programmes en langage clair simplifient leur utilisation et garantissent la rapidité et la fiabilité des mesures.

• Des programmes spéciaux sont parfois nécessaires pour certains travaux (vérification d'orthogonalité de droites ou leur parallélisme, mesure d'erreurs d'alignements, etc...).

Avec une précision angulaire de 6" (2 mgr), le théodolite ETh 50 et la station totale Elta 50 sont parfaitement appropriés pour résoudre ces tâches. L'Elta 50 avec son compensateur uniaxe existe également avec une précision améliorée de 5" (1.5 mgr). Les distances sont mesurées avec une précision de 5 mm + 3 mm. La portée peut aller jusqu'à 800 m avec un prisme.

• Les neuf instruments de la gamme Rec Elta, station totale à enregistrement interne, ont l'ambition de couvrir l'ensemble des besoins.

La station totale universelle REC ELTA RL intègre un module de mesure impulsométrique extrêmement rapide qui permet de relever des points avec ou sans réflecteur et qui garantit la précision des mesures même dans des conditions de visibilité médiocre.

Son grand avantage est qu'un seul instrument sert à toutes les opérations, avec rapidité et efficacité. Il est facile à transporter (pas de câble, un seul coffret), sa bonne ergonomie procure un maniement aisé pour l'opérateur, son programme est d'une structure claire en arborescence, et le transfert de données se fait directement de l'instrument au périphérique.

• Les deux modèles digitaux DiNi10 et DiNi20 offrent des précisions de l'ordre de 0,3 mm et 0,7 mm pour un nivellement double de 1 km et interceptent seulement 30 cm de la mire quelle que soit la distance visée. La mire de nivellement classique est remplacée dans l'ère digitale par une mire portant un code barres.



Un détecteur électronique intégré facilite les mesures, les valeurs relevées sur le code barres étant saisies avec une haute précision, analysées par un calculateur intégré, puis stockées dans une mémoire interne amovible.

(Carl Zeiss - Département Instruments Topographiques - 60 route de Sartrouville - BP 66 - 78230 Le Pecq - Tél. : (1) 34 80 20 00 - Fax : (1) 34 80 20 01)

Eurosense à MARI 95

L'exposition MARI 95 a eu lieu du 4 au 6 avril derniers. Elle avait pour thème "L'information géographique numérique".

La société Eurosense (télédétection, photogrammétrie, SIG, cartographie, hydrographie...) présentait une démonstration relative à l'utilisation des orthophotos numériques sur ordinateur et ses réalisations dans le domaine de la thermographie, la pollution atmosphé-

rique, l'hydrographie, l'environnement, la photo aérienne et la télédétection satellitaires.

On y découvrirait surtout un nouveau système qui associe image vidéo aérienne et cartographie numérique : le système NADAR®, qui fera d'ailleurs le sujet d'un article dans notre prochain numéro d'XYZ.

Ce système a pour objectif de produire de l'image vidéo aérienne oblique d'excellente qualité et de la coupler avec de la cartographie numérique via un logiciel comme ArcView®.

Le logiciel permet de créer un lien interactif entre l'image oblique et une carte ou un orthophoto. Ainsi, en indiquant un point sur la carte, ou sur l'ortho, à l'aide de la souris, l'image vidéo oblique de la zone correspondante s'affiche automatiquement à l'écran en une demi-seconde. Cette image, par son aspect oblique, apporte des informations supplémentaires pour l'analyse du terrain.

NADAR® s'adresse aux concepteurs et aux exploitants de lignes à haute tension, de pipe-lines, de voies fluviales, de routes et de voies ferrées.

NADAR® est basé sur ce qui se fait de mieux aujourd'hui dans le domaine de l'imagerie vidéo aérienne et sur le système GPS. La caméra pilotée par ordinateur est installée sur un plateau gyroscopique qui garantit une parfaite stabilité de l'image oblique (système WES-CAM). Le système GPS, qui permet de définir précisément la position de l'image vidéo, assure le lien avec la cartographie numérique.

Vu au MICAD : COGISTEM

Cette société, distributrice pour la France des digitaliseurs GTCO du Maryland aux USA, présentait au MICAD de mars dernier :

1) **QUIKRULER**, module de calcul de surfaces et longueurs. Il est composé d'un boîtier qui s'intercale entre le digitalisateur GTCO et le port série de l'ordinateur et est muni d'une fenêtre d'affichage à cristaux liquides. Il est fourni avec un menu de commande à positionner sur le digitaliseur et s'utilise avec un stylet ou les curseurs 4 ou 16 touches.

QUIKRULER permet de calculer des surfaces, longueurs de lignes et de courbes, de dénombrer et d'incrémenter. Sa calculette permet d'intégrer ces calculs dans des expressions arithmétiques. Son menu de commande, muni d'un pavé numérique et des flèches de direction, permettent de piloter l'application à partir d'un digitalisateur. Les valeurs calculées peuvent être récupérées dans tout logiciel Windows ou MS-DOS. Quickruler s'utilise aussi seul avec le digitaliseur sans être connecté à un ordinateur grâce à son écran d'affichage à cristaux liquides et à son unité de calculs propres.

QUICKRULER s'adapte sur la gamme des digitaliseurs de grands formats GTCO : digitaliseurs flexibles Roll-Up, digitaliseurs rigides SL II et digitaliseurs haute résolution ACCUTAB.

2) **SURFACE-LIT ACCUTAB** digitaliseur rétro-éclairé de haute résolution pour les professionnels des SIG et

de la cartographie.

La technologie d'éclairage surfacique GTCO apporte de nombreux avantages par rapport aux systèmes rétro-éclairés traditionnels. Une épaisseur réduite au tiers (56 mm) et un poids réduit à la moitié (46 kg) offrent de meilleures ergonomie et intégration dans l'espace de bureau. L'éclairage surfacique ne chauffe pas la surface de travail évitant ainsi les erreurs causées par la déformation des cartes ou des dessins et consomme deux fois moins d'énergie.

3) **FREEPOINT 3D**. Basés sur la technologie sonique développée et utilisée par la société SAC depuis plus de 10 ans sur sa gamme de digitaliseurs plans. Ils permettent de digitaliser des objets sans contrainte de matière ni d'environnement avec une précision de 0,5 mm dans des volumes cubiques de 1,00 m à 2,80 m de coté.

Les digitaliseurs FREEPOINT 3D sont composés d'un triangle de détection, de 45 à 90 cm de coté selon le modèle, muni de capteurs soniques et d'un curseur muni d'émetteurs soniques. Lors de la digitalisation les sons émis par le curseur sont détectés par le triangle qui détermine instantanément la position du curseur dans l'espace. Les mesures sont corrigées en permanence, par un système de calibration, en fonction de la nature de l'environnement.

Le logiciel de configuration fourni permet d'adapter instantanément FREEPOINT 3D aux logiciels compatibles PC qui acceptent la saisie de coordonnées x, y, z.

(COGISTEM - 102 rue La Fontaine - 75016 Paris - Tél. : 45 20 27 91 - Fax : 45 20 65 39)

FAYNOT : une nouvelle borne

Les établissements FAYNOT, inventeur de la borne FENO à ancrage déployable, rencontrent actuellement un vif succès avec leur nouvelle borne témoin de nivellement (système BERNTSEN).

Ce système très ingénieux garantit une précision du point de nivellement Z, malgré les épreuves climatiques, les mouvements de sol et le nombre des années. La pose de cette borne reste néanmoins rapide et ne nécessite pas l'intervention de moyens techniques lourds.

(Ets FAYNOT - BP13 - 08800 THILAY - Tél. : 24 33 70 70 - Fax : 24 32 84 93)

Carte Michelin : la "930 USA"

Cette "930 USA" ouvre la porte du Nouveau Monde dans une lecture particulièrement aisée et une information soigneusement sélectionnée à l'échelle 1/3.450.000 :

- c'est la première carte Michelin des Etats-Unis... depuis les années 1920 (plusieurs feuilles détaillées couvraient alors la Côte Est),

- c'est la première carte conçue, dessinée et fabriquée en Amérique du Nord par une équipe de cartographes de ce pays, installés à Greenville (Caroline du Sud), au siège de la Michelin Tire Corp,

• c'est la première carte Michelin où ait été fait un aussi large usage du dessin assisté par ordinateur (DAO). Elle offre donc de nouvelles potentialités de traitement et de mise à jour.

Enfin son prix : 29 F.

Démarche commune IBM-DYNALOG

Dans le cadre de sa politique de partenariat, IBM et la société Dynalog (logiciels destinés aux PME/PMI et artisans BTP) ont mis en place une démarche marketing commune. IBM avait d'ailleurs invité la société au salon "Constructique 95", et elles avaient déjà participé ensemble au Congrès de la Fédération Nationale du Bâtiment en septembre 94 à Montpellier.

(Dynalog - Didier Pinçonnet - Tél. : 16 61 39 07 53)

ORTEA à la Citop et au salon MARI 95

Après la Citop, la société ORTEA était présente au salon Mari 95 Europe, du 4 au 6 avril dernier. Elle présentait ses derniers développements en matière d'orthophotoplans numériques et d'exploitation de fichiers raster sur PC : le logiciel MAPSERVER assortis d'un SIG MAPBASE (sous environnement Windows).

Suivant un concept novateur, ORTEA fournit un logiciel de consultation, d'édition et d'exploitation des fichiers numériques qu'elle produit (orthophotoplans, cartes scannées, mosaïques numériques...). Le logiciel MAPSERVER® offre une consultation rapide en continuité géographique des images numériques dont la taille peut atteindre plusieurs Giga Octets. L'image numérique s'enrichit de la superposition des banques de données vecteurs.

Les domaines d'application de produits distribués par ORTEA, notamment Mapserver® et Mapbase® sont très vastes :

- consultation et gestion d'Atlas communal et régional,
- consultation et gestion de Plan d'Occupation des Sols sur fond d'image,
- présentations, suivis et simulations de projets d'aménagement,
- gestion de réseaux, de mobilier urbain, d'espaces verts,
- gestion de la maintenance d'équipements industriels,
- support d'études d'environnement et d'études hydrauliques.

Ces outils sont à la disposition des collectivités locales, des aménageurs et de tous ceux pour qui les données cartographiques sont un élément de décision.

ORTEA SA est une jeune société à dimension nationale, présentant un potentiel humain de 95 personnes, équipée des dernières technologies de pointe en matière d'informatique, de photogrammétrie et de métrologie, dont les sites de production sont répartis dans huit départements de l'hexagone.

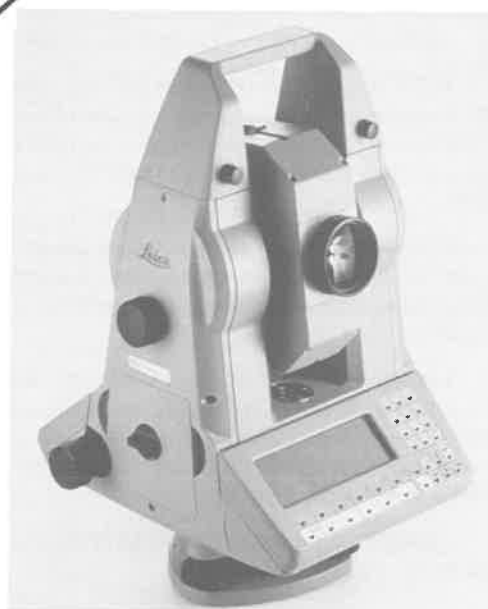
(ORTEA - 2bis avenue du Centre - 92500 Rueil Malmaison - France - Tél. : 16 1 41 39 02 00 - Fax : 16 1 41 39 02 01)

LEICA : Conférence OSW

Quatre demi-journées conférence étaient organisées les 6 et 7 avril derniers au Sofitel-CNIT de Paris - La Défense sur OSW de Leica, nouvelle solution topographique.

Était exposé le concept de "l'Open Survey World", les gammes TPS-System 1000 et GPS-System 200, le logiciel Liscad Plus. Des travaux pratiques en démonstration précédaient discussions et conclusions.

(Leica - Division LSG - 86 avenue du 18 juin 1940 - 92563 Rueil Malmaison Cedex)



La société "Dorel" à la CITOP

A la 3ème Citop, la société Dorel assurait l'espace reproduction des documents sur son stand. A cette occasion un accord de partenariat a été signé avec l'AFT. Une partie de sa gamme de matériel CAO-DAO et copieurs de plans était présentée avec beaucoup de succès.

Dans "Acta Geographica" N° 101

Un article de notre collègue de l'AFT Raymond d'Hollander sur "Christophe Colomb - Cartographie". C'est un condensé de l'article paru dans le supplément XYZ n°54 consacré à l'illustre découvreur de l'Amérique.

Signalons également dans ce même numéro d'Acta Geografica la reproduction de la conférence que madame Saunier-Seit a donné à la société de Géographie le 20 octobre 1994 : "De la géographie grecque à la cartographie occidentale du 17ème siècle".

duits et capables de proposer des services et des développements à haute valeur ajoutée.

Notons que certains de ces développements ont été récompensés en 1994 par le label GEODISC de l'IGN (prix spécial du jury).

(ESRI-France - 21 rue des Capucins - 92190 Meudon - Tél. : 45 07 88 11 - Fax : 45 07 05 60)

Festival International de Géographie de St Dié

Du 6 au 8 octobre 1995 se tiendra à St Dié des Vosges, la 6ème édition du Festival International de Géographie, sur le thème "risques naturels - risques de société". Ce festival, ce sont des tables rondes, des conférences, des expositions, des actions pédagogiques, des projections de films, des réunions thématiques, un espace infogéographie. C'est aussi le prix Vautrin Lud, "Nobel de Géographie", qui couronne le travail d'un chercheur de renommée mondiale. Le "Ptolémée de la géographie" qui récompense un texte de vulgarisation scientifique, un salon du livre dédié à la géographie, à la cartographie, à la jeunesse et à l'aventure, deux prix littéraires décernés chaque année : le prix Amerigo Vespucci pour un livre d'aventure ou de voyage et le prix jeunesse St Dié attribué à un ouvrage destiné aux jeunes lecteurs. Signalons également, pour la bonne bouche et parce que nous sommes en France, un salon de la gastronomie...

Pour les lecteurs intéressés, contacter le service du Festival, Hôtel de Ville - Place Jules Ferry - BP275 - 88107 St Dié des V. Cedex - Tél. : 29 52 66 78 - Fax : 29 56 09 31.

TRIMBLE : GPS4000SSI ...

Les récepteurs bifréquences 4000SSI offrent une meilleure productivité en matière de mesures par l'introduction de la technologie Super Track, le plus récent et le plus perfectionné des moyens de traitement des signaux GPS (propriété de Trimble).

Les récepteurs 4000SSI captent les signaux satellites de faible puissance, maintiennent un contact de meilleure qualité avec les satellites et permettent un suivi exceptionnel dans des conditions de fortes interférences radio.

De ce fait, le gain de productivité des mesures augmente dans les milieux où le GPS n'était pas traditionnellement utilisé.

Ces applications sont en particulier, les levés sous lignes électriques ou aux environs des aéroports, les levés photogrammétriques, ou à proximité des émetteurs radio et de télévision, ainsi que sur les sites d'exploitation minière et les chantiers de construction saturés d'émissions radio.

L'acquisition et le suivi du signal GPS ainsi améliorés augmentent l'efficacité des levés par réduction des temps d'observation sur site, permettent un meilleur suivi près des arbres et réduit le temps perdu.

Comme les autres récepteurs de la série 4000, le 4000SSI consomme peu d'énergie et utilise des batte-

ries de camescope. Son écran de contrôle intégré et sa mémoire interne en font un récepteur très robuste.

Récepteur déclinable en trois configurations modulaires

Les récepteurs géodésiques 4000 SSI sont conçus pour les levés en modes statique, statique rapide et cinématique post traitement. Ceux-ci sont particulièrement utiles pour les levés géodésiques de longue ligne de base et pour les applications de contrôle. Le système géodésique 4000 SSI est upgradable vers le système de levé en temps réel (RTK), il prévoit en outre des options complémentaires pour les applications dans les domaines de l'hydrographie, la marine et l'aviation.

Le système de mesure 4000 SSI pour chantier est conçu dans sa forme standard pour les applications temps réel telles que la surveillance, les mesures de canevas, les levés de parcelles et le bornage.

Ce récepteur peut également recevoir des extensions mémoire pour le post traitement.

Disponibilités

Toutes les configurations des récepteurs 4000SSI sont disponibles immédiatement.

Trimble est le leader mondial sur les marchés émergents dans les domaines de la navigation par satellite, du positionnement et des produits d'échange de données.

Ces récepteurs sont vendus dans divers domaines sur les marchés internationaux verticaux, en particulier topographie, géodésie, levés sismiques et hydrographiques, capture des données de SIG, aviation commerciale et militaire, marine, communications, surveillance et OEM.

Créé en 1978 et situé à Sunnyvale Californie, Trimble est leader depuis 1984 dans la vente des récepteurs GPS.

... et TRIMBLE : GPSurvey 2.0

Trimble annonce une évolution majeure du logiciel de post traitement GPS le plus connu et utilisé par tous les topographes à travers le monde.

27 février 1995 - Trimble a annoncé d'importantes améliorations de GPSurvey, le logiciel de post traitement le plus répandu en topographie. Ces progrès permettent aux topographes d'augmenter leur productivité dans de nombreux domaines. GPSurvey est à présent disponible sous forme d'un nouveau logiciel entièrement intégré dans l'environnement Windows.

Progrès dans les applications GPS en mode cinématique

Bien que les techniques de levés GPS en mode "cinématique" aient depuis longtemps tenu leurs promesses pour les levés topographiques et photogrammétriques, peu d'organisations utilisent réellement ces techniques. Ceci est dû à un certain nombre de contraintes d'exécutions sur le terrain et à des procédures de calcul compliquées au bureau liées au mode cinématique. Par exemple, la perte du signal satellite est

généralement fatale dans une mission photogrammétrique avec GPS, mais GPSurvey a modifié tout cela.

L'initialisation du levé est maintenant améliorée. Elle peut s'effectuer en moins de 3 minutes de saisies de données GPS en mode continu, réduisant ainsi de façon spectaculaire l'impact des obstructions des satellites et le besoin de réoccupation des points.

Avec GPSurvey 2.0, il n'est pas nécessaire sur le terrain de manipuler les fichiers informatiques ni d'organiser la numérotation. Les fichiers en mode cinématique sont traités conjointement avec les autres fichiers en mode statique ou statique rapide par un *traitement complètement automatique*.

Au bureau, les lourdes procédures ont également été maîtrisées. Par exemple, la codification peut être incluse dans les fichiers et directement exportés, sous Windows, avec les informations de coordonnées de station en code ASCII ou DXF.

Les données du mode cinématique apparaissent graphiquement à l'écran, les points se matérialisant par des symboles discrets. Les utilitaires proposent des comptes rendus et des résumés mettant en valeur les informations du mode cinématique (temps, qualité).

Progrès dans les applications de géodésie

En plus des progrès réalisés en cinématique, GPSurvey 2.0 apporte une augmentation de la fiabilité dans les applications de contrôle et de géodésie.

Des tables d'éphémérides précises provenant de sources différentes peuvent être exploitées ensemble, et des séries de mesures statiques de plus de 24 heures peuvent être automatiquement traitées.

Une meilleure modélisation des perturbations troposphériques a également été mise en œuvre.

Ces nouvelles caractéristiques se complètent pour offrir des résultats exceptionnels avec une large gamme de données sur les très longues lignes de base, augmentant ainsi le champ de productivité et réduisant le coût des missions.

Support pour les normes industrielles

Le logiciel de post-traitement Trimble supporte RINEX, standard industriel depuis de nombreuses années. Nous poursuivons cet engagement en dotant le

logiciel GPSurvey 2.0 du format RINEX dans toutes les opérations d'entrée-sorties.

Disponibilités

GPSurvey 2.0 est commercialisé selon différentes options, mono et bifrèquence, licences mono-utilisateur ou licence double.

Cette nouvelle version de GPSurvey sera disponible fin Mai 1995. Pour plus de détails, contacter TRIMBLE France au (1) 64 54 83 90.

Petites annonces

Technicienne Géomètre - Topographe (28 ans) - Diplômée AFPA niveau 3 - Trilingue anglais/espagnol - Libre de suite pour emploi toutes régions - Ecrire à la revue n°631 ou Tél. : (1) 30 98 09 48

Technicien topographe - 25 ans - 4 années d'expérience et connaissance DAO - Cherche emploi Métropole, DOM-TOM ou étranger - Ecrire à la revue n°632 ou Tél. : 54 77 26 35

Homme - 24 ans - Brevet de technicien topographe - BEP opérateur géomètre topographe - Connaissances en informatique - Cherche premier emploi - Ecrire à la revue n°633 ou Tél. : 26 36 48 14

Homme 24 ans - Technicien géomètre topographe niveau III - DUT de génie électrique et informatique industrielle - Langue anglaise parlée et écrite - Notions d'allemand - Cherche emploi, même à l'étranger et notamment en Suisse - Aide à l'entreprise de 1000 F/mois au titre de l'aide au premier emploi des jeunes (pendant 9 mois) - Ecrire à la revue n°634 ou Tél. : 68 54 20 94

Homme - 21 ans - Technicien géomètre niveau 2 - Assistant technicien en CAO-DAO - Chef de brigade (Cabinet Toussaint - Fort de France) - Cherche poste de chef de brigade au sein d'un cabinet de géomètre ou bureau d'études de topographie - Ecrire à la revue n°635 ou Tél. : 55 98 25 77

JH - 28 ans - Technicien Géomètre Topographe, diplômé AFPA, DAO Cherche emploi avec préférence région Centre - Ecrire à la revue n°636 ou Tél. : 37 21 58 84

Ingénieur ENSAIS - 27 ans - Cherche emploi dans le domaine des SIG ou tout autre permettant d'effectuer des développements informatiques - Régions Paris ou Centre - Ecrire à la revue n°637 ou Tél. : 44 40 45 61

Ingénieur topographe ENSAIS - 27 ans - 2 années d'expérience GPS à l'EDF, remembrement, stéréopréparation... recherche stage d'une année en entreprise ou Cabinet - Ecrire à la revue n°638 ou Tél. : 70 05 49 12

LEXIQUE TOPOGRAPHIQUE

Commission d'enseignement de l'AFT - Chapitre 12

Le lexique topographique commencé par la commission d'enseignement de l'AFT en 1985, a vu le début de sa parution, sous forme d'un fascicule détachable de couleur jaune, dans le numéro 47 d'XYZ.

Aujourd'hui, dans le numéro 63, vous trouverez sous la même forme, le chapitre 12, "Photogrammétrie".

C'est donc un ensemble de 116 pages qui forme maintenant ce lexique et il nous semble que l'association doit féliciter la commission.

Le nombre total de termes recensés de l'ouvrage est

de 1 200. Dans cette quantité, certains lecteurs trouveront sans doute des imperfections. Qu'ils sachent que leurs observations seront toujours accueillies avec attention par la commission. Cela lui permettra de mettre à jour le lexique en vue d'une autre publication. Merci. Nous tenons à votre disposition, sur simple demande, l'index général des noms de l'ouvrage, ainsi que tous les fascicules.

D'autre part, pour ceux que gênerait l'impression sur papier bleu paru avec le numéro 51 (chapitre 4, pages 41 à 48), nous tenons à votre disposition une nouvelle impression sur papier jaune ne dépareillant pas l'ensemble de l'ouvrage. En faire la demande à l'AFT.

EUROTUNNEL - TOPOGRAPHIE APRES JONCTION DU TUNNEL DE SERVICE

Jean-Michel JOSEPH

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

ABSTRACT

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

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

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



1. INTRODUCTION

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

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

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

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

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

2. COMPENSATION DES CHEMINEMENTS

2.1 Compensation des écarts pour le tunnel de service

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

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

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

2.2 Compensation des écarts pour les tunnels ferroviaires

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

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

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

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

2.3. Première utilisation des cheminements compensés

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

3. ETABLISSEMENT DU TRACÉ DÉFINITIF

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

5. POSE DES ÉQUIPEMENTS FIXES

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

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

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

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

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

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

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

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

6. INNOVATION DANS LES MÉTHODES ET LE MATÉRIEL

6.1 Innovation dans les méthodes

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

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

Quelques exemples de son utilisation sont énumérés ci-après.

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

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

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

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

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

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

el (3ème CITOP) - Implantations en tunnel (3ème CITOP) -

- en altimétrie : ± 7 mm ;
- en relatif : ± 2 mm.

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

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

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

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

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

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

6.2 Innovation dans le matériel

6.2.1 L'éclairage d'un prisme

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

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

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

6.2.2 La règle pour le contrôle des voies

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

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

Grâce à cette règle il y avait redondance des observations :

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

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

7. CONCLUSION

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

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

En résumé : voie qualifiée d'exceptionnelle.

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



Figure 1

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

ANNEXE 1

Figure 2

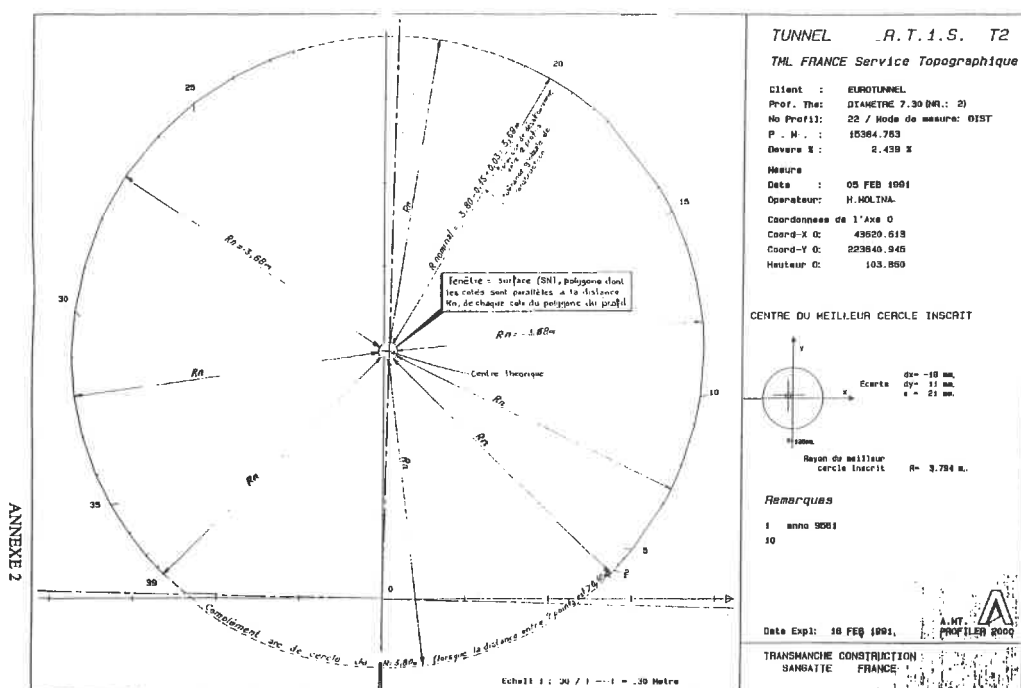


Figure 3

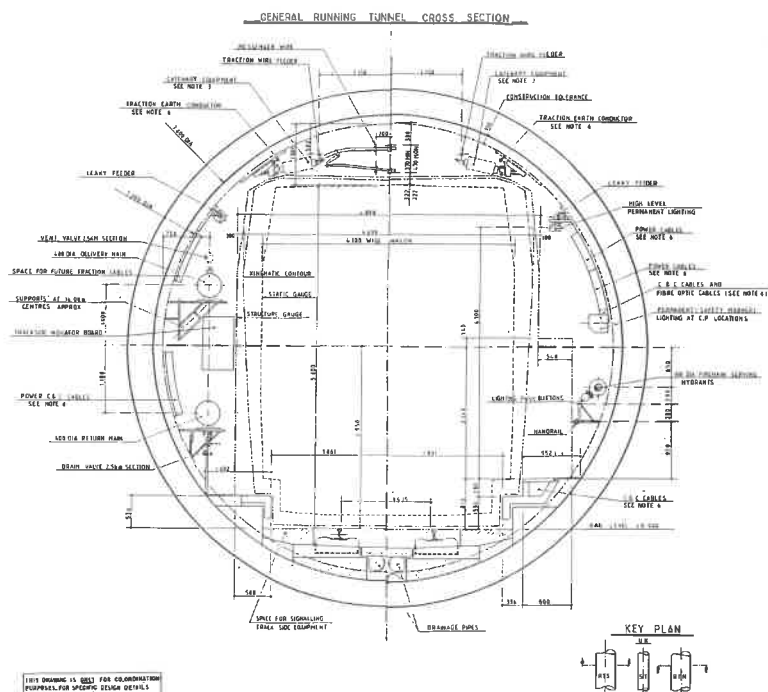


Figure 4

TRANSMANCHE LINK						
NUMERO: F15 141 TOO 210 1361						
						PAGE 5 11
TUNNEL E / T6 / RT1L						
POINTS DE REFERENCE POUR LES EQUIPEMENTS DEFINITIFS						
REF: TRACE THEORIQUE TUNNEL FERROVIERE NORD C10 105 S BETU 0393-3 10.01.90						
N° Anneau	X	Y	Z	distance p/r axe voie	PK	deniveles p/r axe voie
289	57548.036	216513.466	175.744	-3.097	-535.189	0.967
296	57555.692	216505.190	175.858	-3.105	-546.456	0.957
303	57563.311	216496.974	176.033	-3.130	-557.652	1.010
310	57570.985	216488.794	176.173	-3.120	-568.860	1.027
317	57578.639	216480.611	176.317	-3.157	-580.056	1.048
324	57586.362	216472.482	176.415	-3.135	-591.261	1.023
331	57594.093	216464.358	176.564	-3.136	-602.467	1.049
338	57601.855	216456.249	176.652	-3.132	-613.684	1.014
345	57609.619	216448.179	176.806	-3.131	-624.874	1.046
352	57617.403	216440.115	176.908	-3.141	-636.074	1.025
359	57625.214	216432.060	177.043	-3.155	-647.286	1.037
366	57633.040	216424.038	177.179	-3.165	-658.484	1.050
373	57640.904	216416.045	177.287	-3.158	-669.688	1.035
380	57649.109	216407.741	177.431	-3.157	-681.353	1.051
387	57656.686	216400.109	177.536	-3.160	-692.100	1.038
394	57664.604	216392.188	177.660	-3.153	-703.291	1.040
401	57672.551	216384.283	177.795	-3.145	-714.492	1.052
408	57680.504	216376.381	177.943	-3.159	-725.694	1.077
415	57688.513	216368.524	178.039	-3.133	-736.906	1.050
422	57696.526	216360.667	178.161	-3.133	-748.120	1.049
429	57704.537	216352.843	178.286	-3.141	-759.309	1.051
436	57712.581	216345.023	178.404	-3.154	-770.520	1.046
443	57720.657	216337.244	178.526	-3.145	-781.724	1.046
450	57728.742	216329.499	178.654	-3.135	-792.912	1.051
457	57736.870	216321.759	178.761	-3.121	-804.128	1.035
464	57744.977	216314.007	178.903	-3.160	-815.336	1.054
471	57753.120	216306.304	179.019	-3.168	-826.537	1.047
478	57761.299	216298.627	179.135	-3.164	-837.746	1.040
485	57769.510	216290.976	179.262	-3.148	-848.960	1.044
492	57777.726	216283.335	179.387	-3.153	-860.172	1.046
499	57785.956	216275.724	179.518	-3.154	-871.373	1.054
506	57794.229	216268.144	179.632	-3.134	-882.585	1.046
513	57802.496	216260.583	179.735	-3.134	-893.780	1.026
520	57810.784	216253.024	179.899	-3.148	-904.989	1.057
527	57819.431	216245.201	180.006	-3.147	-916.641	1.046
534	57827.429	216238.012	180.120	-3.142	-927.387	1.042
541	57835.792	216230.532	180.241	-3.136	-938.599	1.040

DATE	24.05.91	18.07.91	06.08.91		
REVIS.	A	B	D		

ANNEXE 4



Déclaration Conjointe

1. L'ensemble de la Direction du Projet Tunnel sous la Manche s'engage à ce que le Projet soit conçu, réalisé et mis en service dans le but de répondre aux exigences des normes internationales de qualité.
2. L'encadrement met en place et maintient le système qui permet aux équipes de construire la qualité.
3. La qualité est obtenue par la définition et la maîtrise des processus d'exécution afin d'éviter les corrections et les retards.
4. La qualité est de la responsabilité de ceux qui réalisent.
5. Il est reconnu que chaque personne ou service est impliqué au sein du Projet, à la fois comme client et fournisseur.
6. Toute action corrective déclenche une action de prévention qui permet d'identifier et d'éliminer les causes de non-conformité.
7. La qualité est rendue mesurable par la définition des exigences convenues et en effectuant des mesures.
8. Le reconnaissance des contributions individuelles à la qualité renforce la motivation et la satisfaction professionnelle.
9. La formation permanente continuera à renforcer la contribution de tous à ce Projet enthousiasmant.

Figure 5

Signé ce jour, Vingt Juin Mille Neuf Cent Quatre Vingt Dix

Pour Eurotunnel

Pour Transmanche Link

John Neerhout Jr.
Directeur Général du Projet

J. R. Lemley
Directeur Général

ANNEXE 5

Figure 6

TEST REPORT / RAPPORT D'ESSAIS						
SYSTEME VTT						
ACCEPTANCE TEST						
PASSAGE DU TRAIN MAUZIN						
GROUPE ESSAIS - FRANCE						
1	25/10/93	CBa	CBa	MBo	PREMIERE EDITION	EXN
REV.	DATE	BY AUTEUR	CHECKED VERIFIE	APPROVED APPROUVE	MODIFICATIONS	STATUS STATUT
APPROVED BY TML	REV. SIGNED DATE					
<div><div>EURO TUNNEL</div><div>EURO TUNNEL</div></div> <div><div>TML</div><div>TRANSMANCHE - LINK</div><div>CONTRACTOR / ENTREPRENEUR</div><div>TML</div></div> <div>CHANNEL TUNNEL - TUNNEL SOUS LA MANCHE</div>						
ANALYSE DES RESULTATS						
<p>- Voie du Tunnel Sud FRANCE et UK, y compris le cross-over UK: L'enregistrement du nivellement longitudinal et du tracé montre une qualité de voie exceptionnelle, bien à l'intérieur des limites de tolérances de construction.</p> <p>- Voie du Tunnel Nord UK et FRANCE, y compris le cross-over FR: Les remarques sont identiques à celles du Tunnel Sud.</p> <p>Pour information, les enregistrements obtenus sont comparables à ceux des lignes à grande vitesse.</p>						

CABLES SOUS-MARINS DE TÉLÉCOMMUNICATIONS ET TOPOGRAPHIE

René Salvador
Ingénieur Général des Télécommunications, France Télécom

Résumé

Les câbles sous-marins sont aujourd'hui un des plus importants moyens d'acheminer les télécommunications intercontinentales. Leur histoire depuis le premier câble télégraphique en 1866 jusqu'aux récents systèmes à fibre optique est résumée. Les besoins topographiques sont restés les mêmes : reconnaissance du fond et mesure des profondeurs, positionnement du navire-câblé. Ils apparaissent en trois occasions : choix du tracé, pose, réparations. Récemment la demande de précision a été accrue pour ensouffler le câble sur les plateaux continentaux afin de le mettre à l'abri des crochages par chalutiers. Les principes des opérations sont les mêmes depuis plus de cent ans et sont sommairement décrits. Mais les moyens de mise en œuvre ont suivi les progrès des différentes technologies et l'histoire de cette évolution du plomb de sonde aux sondeurs acoustiques modernes et du sextant aux systèmes de repérage par satellite est évoquée.

Abstract

Submarine cables are today one of the most important means to carry intercontinental telecommunications. Their story from the first transatlantic telegraph cable in 1866 until the recent optical fiber systems is briefly related. Topographic needs are the same along this story: bottom survey and cable ship position. They occur in three circumstances: cable route selection, laying, repairing. Recently more accurate data became necessary to bury the cable on continental shelf to avoid trawlers hookings. The principles of these operations, which are the same since more than one century, are briefly described. But the devices used to reach a good result followed all the technological developments and the story of this evolution, from wire soundings until modern echo sounders, and from sextant until satellite locating systems is called up.



PLACE DES CABLES SOUS-MARINS DANS LES TELECOMMU- NICATIONS INTERCON- TINENTALES

Les câbles sous-marins sont aujourd'hui un moyen de première importance dans les télécommunications intercontinentales. Leur domaine d'élection est celui des liaisons fixes à trafic concentré (Europe Amérique du Nord en traversée du Pacifique par exemple) sur lesquels ils sont en passe d'acheminer 100 % du trafic d'ici la fin du siècle, permettant de réserver aux satellites qui ne peuvent pas tout faire les services pour lesquels ils sont irremplaçables (télédiffusion d'images ou de données, liaison avec les mobiles, observation, météo, besoins stratégiques, etc...) et pour lesquels la demande croît de façon explosive.

Curieusement ceci est peu connu en dehors des opérateurs de télécommunications internationales et de leurs gros clients qui savent, eux, ce qu'on peut obtenir de ce moyen.

L'extension rapide du réseau de systèmes optiques depuis six ans, due à leur qualité de transmission et à leur coût très attractif en est la preuve.

HISTOIRE DES CABLES SOUS-MARINS

C'est l'ancienneté qui est sans doute à l'origine de cette méconnaissance, car pour beaucoup, les câbles sous-

marins, c'est encore le 19ème siècle. Ils ont en effet vu le jour en 1851 avec la première traversée de la Manche, mais leur grand départ est 1866, date de l'ouverture à la clientèle privée du premier câble transatlantique, après bien des déboires dus aux difficultés soulevées par les profondeurs de plusieurs milliers de mètres. Cependant ces premiers échecs ont été bien utiles, car les plus grands savants de l'époque se sont penchés sur le problème et ont établi un certain nombre de principes sur les caractéristiques mécaniques des câbles et la conduite des travaux en mer qui n'ont jamais perdu de leur valeur.

De 1866 à la fin du siècle, hommes d'affaires d'une part, grandes puissances coloniales de l'autre se sont intéressés aux câbles sous-marins pour leurs besoins commerciaux et stratégiques et un réseau mondial s'est développé dans tous les océans pour atteindre 650 000 km en 1914.

L'entre deux guerres a sérieusement mis en cause la situation privilégiée des câbles car la Radio sur ondes décimétriques est là, permettant le téléphone -ouverture du premier circuit transatlantique en 1926- dont les câbles sous-gutta sont incapables. Mais ceux-ci se maintiennent grâce à leur longue durée de vie, leur coût d'exploitation faible et le secret des communications. Le réseau non seulement subsiste, mais est même modernisé (nouveaux câbles "KRAUP" à vitesse de transmission plus élevée).

Au lendemain de la deuxième guerre mondiale pourtant, il devient évident que la radio ne pourra plus faire face ni à la croissance du trafic, ni aux exigences de qualité de la clientèle : il faut trouver autre chose. Les spécialistes du câble ont heureusement fait travailler les laboratoires pour adapter au milieu sous-marin la technique de transmission sur coaxial par courant porteur. Les problèmes sont nombreux : fiabilité et durée de vie des composants électriques,

Distribution de services (3ème CITOP) - Distribution de ser

structure mécanique des répéteurs immergés, mais ils sont résolus en 1955, et un nouveau réseau se développe très vite (premier transatlantique en 1956, premier Marseille-Alger en 1957).

En 1965, l'apparition du satellite géostationnaire redonne vigueur aux systèmes radioélectriques, ouvrant pendant vingt ans une course poursuite entre câbles et satellites, bénéfique pour le client d'une part : augmentation de la qualité et du nombre de circuits immédiatement disponibles, sécurisation par diversification des itinéraires, et pour les opérateurs d'autre part : baisse des coûts, possibilité de choisir dans chaque cas la solution la plus avantageuse et la plus facile à mettre en œuvre et à gérer. La complémentarité déjà entrevue, c'est-à-dire le partage des domaines d'action entre chaque moyen, apparaît de plus en plus nettement au fil du temps. La dimension du réseau posé en trente ans, 300 000 km représentant 300 millions de circuits x kilomètres, prouve la place prise par les câbles.

Mais dans les années 80, le câble s'essouffle -capacité stationnaire, numérisation difficile, plus de gain de coût au circuit possible- alors que la demande croît et que la numérisation des réseaux se généralise et que l'on risque d'avoir de plus en plus besoin de lui. La solution : adapter au sous-marin la transmission numérique sur fibre optique. Malgré les difficultés, c'est fait en 1986 pour les courtes distances (Manche, Continent Corse) et en 1988 à travers l'Atlantique (TA8). Qualité, coût, souplesse d'exploitation, besoins attisés par la déréglementation s'allient alors pour provoquer la plus formidable explosion de systèmes sous-marins jamais connue, celle que nous vivons aujourd'hui : plus de 200 000 km de câbles posés en huit ans, 280 puis, 560 Mbits par paire de fibre avec régénération des signaux dans chaque répéteur et dès 1995 5 Gbits par paire de fibre avec amplification directe des signaux optiques dans les répéteurs, le tout assorti d'un coût si faible à l'unité de transmission de base de 64 Kbits qu'on peut installer une sécurisation par boucle (TAT 12 + TAT 13 dans l'Atlantique. TPC 5 Nord et Sud dans le Pacifique). Et ce n'est pas fini car l'an 2000 avec l'effet "soliton" et le multiplexage en longueur d'onde permet des capacités encore plus grandes par paire de fibre.

BESOINS TOPOGRAPHIQUES DANS LES ENTREPRISES DE CABLES SOUS-MARINS

Tout ceci n'était qu'une entrée en matière car notre but est de parler topographie des grands systèmes linéaires, or qu'y a-t-il de plus long et de plus linéaire qu'un câble transocéanique ?

Les besoins des promoteurs de liaisons sous-marines sont de deux sortes : repérage de la position du navire câblé en surface d'une part, bathymétrie et nature du fond d'autre part.

Ils se présentent dès l'établissement du projet, lorsqu'il s'agit de choisir le tracé. Celui-ci doit être le meilleur compromis entre le parcours le plus court possible, des fonds réguliers et stables, exempts si possible de risques de séisme ou d'éboulement, un passage au mieux des accidents inévitables tels qu'abords rocheux des côtes, pente des plateaux continentaux, zones de rifts, le tout sans omettre d'éviter les zones de pêche intense ou de travaux offshore qui pourraient faire courir des risques de ruptures ultérieures du câble posé.

La température du fond a également une très grande importance, car elle agit sur les paramètres électriques du

câble, et il est nécessaire de la connaître pour adapter à la construction la longueur des sections entre répéteurs.

Les besoins se présentent ensuite dans les travaux du navire câblé dont le principe d'exécution est toujours le même.

Pour poser, le navire avance le long du tracé prévu en laissant filer le câble avec une tension de retenue calculée pour obtenir une application correcte sur le fond sans suspensions ni tension résiduelle. La conduite d'une telle opération nécessite de connaître avec précision la position du navire afin de suivre en surface la route qui permettra au câble sur le fond de respecter la trace prévue et les paramètres permettant de régler la vitesse de déroulement du câble : profondeur et profil du fond au point de contact avec celui-ci, et vitesse sol du navire.

Un câble sous-marin, même fabriqué et posé selon toutes les règles de l'art, n'est jamais à l'abri d'un défaut, qui doit être réparé. Des mesures électriques aux extrémités et l'examen des documents de pose permettent de situer la position géographique du défaut. Le navire câblé s'y rend, drague le câble, le remonte à bord, élimine le défaut et pose une section neuve de remplacement. Il faut pour cela posséder bien sûr le matériel nécessaire, mais la difficulté et la clef du succès résident dans la manœuvre du navire pour laquelle il est nécessaire de connaître à tout instant position et profondeur.

Ces types d'opération ont toujours existé mais un nouveau chapitre s'est ouvert depuis 1975. Vu l'importance croissante du volume de trafic acheminé par les câbles, il fallait les protéger contre les menaces d'agression dues au nombre grandissant de chalutiers de pêche. La seule solution efficace était l'ensouillement à 0,80 ou 1 m de profondeur sur les plateaux continentaux et leurs abords jusqu'à 1000 m de fond au moins partout où la nature du fond le permettait. Ce genre de travaux a pu être mis au point et réalisé de deux manières : soit pose à travers une charrue remorquée par le navire, soit ensouillement du câble préalablement posé de façon classique par un véhicule robot télécommandé, télésurveillé et téléalimenté par un navire porteur. Pour les réparations d'un câble ensouillé qui ne peut être ni dragué, ni relevé par les méthodes de dragage habituelles, il faut faire appel également à un véhicule robot qui déterre le câble, le coupe, l'amarre à des filins qui pourront le hisser à bord du navire câblé sur lequel l'opération se poursuit classiquement et réensouille la section de remplacement et les épissures lorsqu'elles ont été reposées sur le fond.

Ces opérations exigent une préparation beaucoup plus minutieuse et en particulier une étude approfondie du sol avant de fixer le tracé. Pendant l'exécution, si le véhicule robot repère le câble grâce à des signaux transmis dessus par les extrémités, le navire câblé doit se positionner avec une précision accrue et mesurer la position relative du robot par rapport à lui.

Depuis plus de cent ans que les câbles sous-marins existent, ce ne sont pas les principes d'exécution qui ont changé et en particulier les règles de manœuvre en cours de pose, de dragage, de relevage et lorsque le navire doit rester en station avec le câble en pendant jusqu'au fond depuis ses davières, mais ce sont les moyens de les mettre en œuvre qui ont suivi de très près les progrès des différentes techniques impliquées. Structure des navires, équipement, machines de pose et de relevage, auxiliaires pour manœuvrer ont évolué progressivement. En voici deux exemples : d'abord la souplesse de l'appareil propulsif qui

est resté de longues années du type machine alternative à vapeur pour passer directement dans les années 50 au diesel électrique avec toutes ses améliorations successives Ward-Leonard boucle à intensité constante, source alternative redressée par thyristors. Ensuite les propulseurs auxiliaires pour la manœuvre sans erre, gouvernail actif dans les années 50, propulseurs transversaux avant et arrière aujourd'hui.

Pour le sujet qui nous concerne plus particulièrement ici, nous allons suivre l'évolution historique jusqu'à la situation présente en commençant par la mesure de la profondeur et l'étude du fond, pour passer ensuite au positionnement du navire.

BATHYMETRIE ET ETUDE DU FOND

Au milieu du siècle dernier, il n'y avait pas d'autre moyen de mesurer la profondeur que le plomb de sonde et les premiers projets de câble transatlantique ont été établis avec ce seul moyen. Des sondages avec prélèvement d'échantillon du fond et mesure de température par thermomètre à renversement ont été effectués soit par des navires militaires affectés à des travaux hydrographiques, soit par les navires câblés eux-mêmes. L'étude d'un projet commençait comme aujourd'hui par l'examen des documents cartographiques existants, mais les renseignements donnés alors par ceux-ci concernant profondeur et relief du fond étaient très fragmentaires, il fallait donc des campagnes de sondage spéciales et les renseignements qu'elles ont apporté ont largement contribué à améliorer la connaissance du relief sous-marin. Ainsi tout fragmentaires qu'ils fussent, les renseignements recueillis en vue de la pose des premiers câbles transatlantiques ont permis de mettre en évidence ce que l'on a appelé le "plateau du télégraphe" entre l'Irlande et Terre-Neuve qui a servi de lit à de nombreux câbles télégraphiques. Il s'est avéré d'ailleurs depuis que le dit plateau était bien plus accidenté qu'on ne le pensait à l'origine.

Le pas fondamental dans le progrès du sondage se situe au lendemain de la première guerre mondiale avec l'arrivée des sondeurs acoustiques sonores et ultrasonores. Leur facilité d'utilisation en a rendu tout de suite l'usage généralisé pour des profondeurs allant jusqu'à 1000 ou 1500 m où ils donnaient une excellente précision dès le début et les navires câblés en ont été équipés, ainsi par exemple le navire français Ampère II mis en service en 1930.

Pour les profondeurs plus grandes, il a fallu longtemps encore se contenter de sondeurs sonores qui faisaient du point par point sans enregistrement continu. Sur le navire français Pierre Picard en 1945, il y avait un sondeur à fréquence musicale avec écoute au casque de l'écho qui donnait de bons résultats jusqu'à plus de 5000 m, mais l'outil le plus utilisé par les câblés français a été le sondeur Marti dans lequel le choc initial était l'impact d'une balle de fusil sur la surface de l'eau.

Ce moyen peut faire sourire aujourd'hui, mais son usage s'est poursuivi jusqu'à l'arrivée dans les années 50 de sondeurs ultrasonores pour grands fonds avec enregistrement. C'est ce type de sondeur avec les perfectionnements qu'il a subi depuis trente ans qui équipe aujourd'hui couramment tous les câblés, mais il s'agit de sondeur à faisceau étroit unique qui ne donne, avec précision certes, que la profondeur à la verticale du navire. Ceci est amplement suffisant pour la plupart des travaux de câble. Pour la

pose en particulier, comme le câble touche le fond plusieurs kilomètres en arrière, on connaît suffisamment à l'avance le profil pour réagir à temps à l'approche d'une pente ascendante où les suspensions sont les plus difficiles à éviter.

Mais bien sûr, cela ne suffit pas pour établir un projet de câble, surtout lorsqu'il faut ensouffler certaines portions. Comme il n'est pas question d'équiper un navire câblé pour faire ce travail, on fait aujourd'hui systématiquement appel aux océanographes. L'avant projet est établi grâce aux documents existants qui sont maintenant très détaillés et précis, puis des campagnes de reconnaissances spéciales sont commandées à des navires équipées des sondeurs multi faisceaux les plus récents et de l'ensemble des dispositifs pour les mettre en œuvre. C'est ainsi que les projets SEA ME WE 2 (Méditerranée Océan Indien) une campagne de 150 jours effectuée par trois navires d'IFREMER couvrant 200 000 km² produisant 700 cartes de grand format, utilisées pour établir le tracé définitif et suivre le travail pendant la pose.

POSITIONNEMENT DU NAVIRE CABLER

Au début des câbles sous-marins, il n'y avait hors de la vue des cotes pas d'autre moyen que le point astronomique pour déterminer la position du navire. Mais, le temps couvert ou la brume empêchant fréquemment les observations, il fallait lors d'une pose se fier à l'estime entre deux points souvent éloignés et le tracé n'était donc pas toujours suivi avec précision. Il n'a pas été rare, lors de réparations ultérieures de trouver le câble à 5 MN et même parfois 10 MN plus au nord ou plus au sud que le tracé porté sur les documents de pose.

Par contre, on a très rapidement trouvé une méthode qui donne la vitesse sol du navire et permet un contrôle du déroulement du câble bien meilleur que par la tension, dont la lecture sur dynamomètre est instable et imprécise. En même temps que le câble, un fil tendu est posé appelé "fil sans mou" et le contrôle de pose se fait par comparaison de la vitesse câble et de la vitesse fil qui donne en principe la vitesse sol.

Pour les réparations, dès l'origine, il est apparu que le point astronomique était trop imprécis et trop variable entre deux observations à plus d'un jour d'intervalle pour pouvoir suivre correctement les évolutions du navire. On a donc été amené à utiliser la méthode de la bouée marque qui s'est perpétuée jusqu'à nos jours. Au début de l'opération une bouée est mouillée et soigneusement positionnée et sert de point de référence, tout se faisant ensuite par mesure du relèvement et de la distance de cette bouée.

Cette méthode, malgré sa lourdeur, a même été utilisée pour des poses un peu délicates pour lesquelles a été fait un balisage préalable.

Jusqu'à la seconde guerre mondiale, la bouée était munie d'un mat et d'un fanal son relèvement pris à l'alidade et sa distance mesurée au télémètre optique et ceci entraînait une perte de temps précieux, car il était impossible de travailler par temps de brume, or malheureusement qu'il dit brume dit généralement aussi temps calme donc maniable pour le navire câblé.

En 1945, le radar amène enfin dans ce domaine un progrès énorme. Son utilisation, combinée à celle du compas gyroscopique, a rapidement permis une lecture rapide sur un appareil unique et en permanence du relèvement de la

distance.

L'entre deux guerre n'a amené dans les moyens de repérage qu'un outil nouveau la radiogoniométrie qui a été largement utilisée sur les plateaux continentaux mais dont la précision devient insuffisante dès qu'on dépasse 100 MN des cotes. La première amélioration sensible se situe juste après la seconde guerre mondiale avec l'apparition des systèmes dits hyperboliques du type Decca, Rana ou Loran. Le Decca est aussi devenu l'outil numéro un dans la Manche, la Mer du Nord et les abords atlantiques du continent européen. Pour certaines poses, des chaînes temporaires ont même été installées. Le Loran, à part le type C en Méditerranée, n'a, par contre, vu sa précision moins bonne, été utilisé que comme moyen d'appoint.

Signalons également, dans les années 70 et pour certaines poses, l'utilisation de balises répondeuses mouillées sur le fond au préalable, mais ce procédé n'a pas donné de résultat significatif eu égard aux difficultés de sa mise en œuvre et a été rapidement abandonné.

Il faut d'ailleurs dire que ces années 70 ont enfin apporté au navire câblé le moyen permanent, précis et à couverture mondiale qu'ils attendaient depuis longtemps, le repérage par satellite. Dès que le système Transit a été ouvert à l'utilisation commerciale, les câblers en ont été équipés et ont suivi tous les progrès des appareils récepteurs, notamment le traitement des données destinées à faire l'estime entre deux passages de satellites et de corriger cette estime à chaque passage. Tous les autres moyens de repérage n'ont alors plus servi que d'appoint et vérification.

Le développement de ce système par satellite a été remarquable et nous sommes aujourd'hui à l'utilisation généralisée du système RPS, qui grâce au nombre de satellites mis en jeu et à la rapidité des calculs par ordinateur donne où que l'on soit en permanence une précision de l'ordre du mètre. Dans ces conditions, même la bouée marque n'est plus nécessaire et une pose peut se faire sans fil sans mou puisqu'on peut connaître la vitesse sol.

CONCLUSION

Aujourd'hui grâce aux progrès impressionnants de l'océanographie et aux reconnaissances approfondies que l'on peut demander aux navires spécialisés et grâce aux remarquables outils de travail utilisés par les navires câblés que sont le sondeur ultrasonore enregistreur de grand fond et surtout le système RPS de repérage par satellite, un câble sous-marin peut être assuré d'être bien posé sur le meilleur parcours, bien protégé et facilement repérable en cas de défaut éventuel. Il est très satisfaisant de constater que dans le domaine topographique les progrès ont été à la mesure de ceux qui ont permis une liaison sous-marine d'acheminer jusqu'à 50 000 conversations téléphoniques simultanées ou des données à très grande vitesse et des images animées, car il serait fort désagréable de poser dans des conditions imparfaites un outil de cette capacité.

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

CONTRIBUTIONS DES IMAGES SATELLITES AUX ÉTUDES D'AVANT PROJET

Pierre MAUREL
Spot Image, Toulouse France

Résumé

Dans le cadre des études d'environnement réalisées tout au long des études de projets routiers, autoroutiers et même ferroviaires, de nombreuses données cartographiques sont manipulées et croisées avec les fuseaux et variantes de projet. Les avis concernant les impacts doivent être fournis dans de brefs délais. Les méthodes traditionnelles de cartographie et d'estimation d'emprise sont lentes et pénalisent la prise en compte de l'environnement. La conception de variantes de tracé est techniquement beaucoup plus rapide que l'estimation des impacts de celles-ci sur les différents thèmes de l'environnement (eau, agriculture, urbanisme, sols, sites et paysages). L'informatisation des bureaux d'études (CAO-MOSS®...) peut accentuer ce handicap.

Grâce à ses fonctionnalités d'analyse spatiale, le SIG donne les moyens, une fois la base de données constituée, de croiser les données entre elles, de travailler uniquement sur des zones d'emprise spécifiques, d'extraire des informations de synthèse, de les éditer, et ceci dans des délais très courts, tout au long des projets. Les données des satellites SPOT donnent sous forme digitale une information exhaustive et à jour de l'occupation du sol et si nécessaire, du relief. Elles permettent de remettre à jour et de compléter la base de données du SIG. Elles servent également à suivre l'évolution des aménagements existants. Enfin, elles rendent plus attrayants les documents finaux destinés à communiquer, à convaincre les différents interlocuteurs concernés par le projet.

Abstract

In the context of the environmental surveys performed throughout roadway or highway development projects, a host of cartographic data are manipulated and correlated with project buffer zones and variants. Comments on possible impacts must be provided within a short time limit. Conventional methods of mapping and footprint evaluation are time-consuming and penalizing when taking into account the environment. Designing road variants is technically much more rapid than evaluating how these variants affect the different environment thematic layers (water, agriculture, urban planning, soils, sites and landscapes). Computerized design offices (CAD MOSS®...) may aggravate this handicap.

Thanks to its spatial analysis functionalities, the GIS enhances key features - once the database has been built up - for data correlation, operations exclusively within specific buffer areas, synthesis information retrieval and editing, all in a very short process and over the project lifetime. SPOT satellites data provide exhaustive and up-to-date land use information -and relief data- in a digital form. They supplement the GIS data-base. These data also serve to follow up the evolution of existing land developments. Moreover, they make the final output documents more attractive and understandable for the different actors concerned by the project.



INTRODUCTION

Les études de projets routiers et autoroutiers (et également ferroviaires) menées par les différents centres techniques impliqués - Centres d'Etudes Techniques de l'Équipement (CETE), Services des grands travaux des Directions

Départementales de l'équipement (DDE), Services techniques des conseils généraux - mènent des études d'environnement durant les différentes phases du projet. Il s'agit d'une démarche cartographique réalisée par des équipes pluridisciplinaires et destinée à rechercher les couloirs de moindre nuisance par comparaison des variantes des tracés.

Les projets sont étudiés de façon très progressive sur des zones initialement très vastes qui se réduisent au fur et à mesure où des sélections sont effectuées sur des critères techniques (géométrie des tracés, trafic, socio-économie et environnement) et d'après les avis des administrations et des élus concernés.

Les étapes successives de définition d'un projet portent ainsi sur les zones suivantes :

- étude de faisabilité à travers l'analyse des grandes contraintes.

- Etude Préliminaire d'Avant Projet Sommaire (EPAPS) : analyse de plusieurs possibilités de passage matérialisées par des fuseaux de 600 m aboutissant au choix d'une solution. Cette étude s'effectue à des échelles comprises entre le 1:250 000 et le 1:25 000.

- étape d'Avant Projet Sommaire (APS) : analyse au 1:10 000 ou 1:5 000 des impacts de plusieurs variantes de 200 m à 300 m de large à l'intérieur du fuseau choisi à l'étape précédente.

- dossier d'enquête préalable à la Déclaration d'Utilité Publique (DUP). Il s'agit d'une étude d'impact présentant de manière synthétique l'état initial et ses sensibilités, les impacts des variantes et de la solution retenue et les engagements du maître d'œuvre à réduire ou compenser ces impacts.

- Etude d'Avant Projet (EAP) : analyse détaillée du projet autoroutier. A l'intérieur de la bande choisie lors de l'APS, recherche d'une bande plus étroite de 60 m en moyenne pour la plate-forme autoroutière à construire en section courante.

Ces études ont une forte composante cartographique. Les premières études (faisabilité, EPAPS, APS, DUP) sont réalisées traditionnellement à la main d'où un certain nombre d'inconvénients : la qualité du résultat dépend fortement de l'équipe chargée du projet, la correction et la mise à jour oblige à une reprise importante des documents sans automatismes possibles, l'extension de la zone d'étude est difficilement envisageable.

De plus en plus d'organismes techniques font appel à de nouveaux outils pour améliorer la réalisation des études en terme de qualité, de délais, de reproductibilité, de modification, de remise à jour... Il s'agit :

- des Systèmes d'Information Géographiques (SIG) qui permettent de centraliser et de manipuler toutes les données sous forme numérique et dans un même référentiel cartographique ;
- des données satellitaires à haute résolution qui sont utiles lors des études préliminaires (EPAPS) pour la recherche de "fuseaux".

Parmi ces organismes pionniers, nous pouvons citer la société INTER-G SEEE qui a travaillé sur le contournement de la ville de Maubeuge (France), les CETE d'Aix et de Lyon, la DDE de la Haute-Garonne qui s'est équipé d'un SIG complet sur le grand Toulouse.

1. MOYENS ET MÉTHODES

L'utilisation de ces outils suppose de suivre une démarche générale qui peut se résumer en 4 étapes :

- constitution d'une base de données géoréférencée (avec éventuellement, remise à jour de certaines données) ;
- analyses spatiales pour mettre en évidence et quantifier les contraintes ;
- élaboration de documents d'aide à la décision sur des critères techniques ;
- élaboration de documents à des fins de sensibilisation, de communication.

Les images satellites seront exploitées de manière plus ou moins approfondie en fonction de la disponibilité et de la qualité des autres données (ainsi, dans les pays en voie de développement, le rôle des images sera plus prépondérant que dans les pays développés où les informations de base et techniques sont souvent nombreuses) et en fonction des outils et des compétences disponibles pour les exploiter. Les traitements peuvent aller de la traditionnelle photo-interprétation analogique à des traitements numériques sophistiqués à l'aide de logiciels de traitement d'images généralistes ou spécialisés dans le domaine du 3D.

Jusqu'à présent, l'interprétation des images nécessitait pour les organismes chargés des projets routiers de s'attacher les services de sociétés spécialisées. Les progrès dans l'accessibilité aux images (spatiocartes déjà géocodées, nouveaux logiciels d'interprétation de plus en plus simples et intuitifs) permettent à ces organismes de prendre une part plus importante dans l'exploitation des données de télédétection.

1.1. Constitution de la base de données

La réalisation de l'Etude Préliminaire d'Avant Projet Sommaire (EPAPS) suppose de réunir sur la zone d'étude et dans des conditions de délais et de coûts déterminées, un maximum de données sur le relief, l'hydrographie, la géologie, les sols, l'occupation des sols, les sites protégés,... ceci afin de pouvoir identifier les principales contraintes du projet et de permettre au projeteur d'analyser et de comparer plusieurs variantes.

Il s'agit d'une étape particulièrement longue et coûteuse au démarrage du projet. On considère en général que la base de données peut représenter jusqu'à 80 % du coût total

du SIG. Les besoins de mise à jour continue renforcent cette tendance.

De ce constat découlent différentes stratégies de la part des organismes techniques :

- une stratégie opportuniste où les investissements vers ces nouvelles techniques sont menés à l'occasion d'un projet d'envergure. Souvent, la base de données constituée va couvrir uniquement la zone du projet.
- une stratégie anticipatrice avec des objectifs à moyen et long terme basée sur un investissement important dès le départ et où la base de données va porter sur l'ensemble de la zone d'intervention de l'organisme. C'est le cas par exemple du service des grands travaux de la DDE 31 qui a opté dès le départ pour la constitution d'une base de données sur le Grand Toulouse.

Les sources d'information classiques (cartes existantes, cartes thématiques, données résultant de la consultation des organismes compétents dans les différents sujets thématiques traités, ou photographies aériennes disponibles) ne sont pas toujours suffisantes. Malgré la richesse d'information disponible dans les pays industrialisés, beaucoup de lacunes apparaissent : ancienneté relative des données, manque de vision globale, synthétique et homogène du site initial d'étude parfois très vaste. Enfin, un manque d'information thématique notamment en ce qui concerne l'occupation du sol actualisée de l'espace concerné.

La télédétection satellitaire à haute résolution a été vite reconnue comme un vecteur de progrès dans la réalisation des études d'impacts et ceci pour plusieurs raisons :

- la finesse géométrique (10 m pour les données noir et blanc des satellites SPOT ce qui autorise la production de documents jusqu'à 1:25 000),
- la disponibilité de produits numériques au départ,
- la superficie des images (de 60 x 60 km à 117 x 117 km pour SPOT, 180 x 180 km pour Landsat),
- la répétitivité des prises de vue,
- la richesse en informations thématiques pour les images en couleur (dites multispectrales),
- les capacités d'observations stéréoscopiques de SPOT.

Des progrès significatifs relativement récents ont encore renforcé les atouts des images :

- le développement de logiciels capables de calculer automatiquement à partir de couples stéréoscopiques d'images SPOT les Modèles Numériques de Terrain (MNT) correspondants ainsi que les produits dérivés (cartes des pentes, des expositions, des ensoleillements, des lignes de crêtes et de talwegs, des limites et des superficies des bassins versants, blocs diagrammes en 3 dimensions).

- les spatiocartes qui présentent les caractéristiques des cartes traditionnelles (découpage cartographique standard, géoréférencement dans un système de projection donné, repères cartographiques -amorces, croisillons-, habillage standard) mais le fond de la carte est constitué de pixels (document maillé) au lieu d'éléments au trait (document vecteur). Ces produits sont disponibles sur papier (de l'échelle 1:25 000 à l'échelle 1:250 000) et sur support numérique (le CD Rom devient le média privilégié). Les spatiocartes SPOTView® issues des images SPOT sont stockées sur CD Rom dans le format GIS-Geospot reconnu par la majorité des logiciels SIG du marché. L'utilisateur final n'a donc plus à se soucier du géoréférencement des images et de leur intégration dans un SIG.

1.1.1. Données cartographiques de référence

Il s'agit à la fois de la planimétrie et de l'altimétrie.

Les cartes existantes au 1:50 000 ou 1:100 000 permettent de localiser les réseaux routier et hydrographique, les agglomérations urbaines, un premier niveau d'information sur l'occupation du sol, la toponymie.

La gestion par un SIG suppose de disposer de cette information sous forme numérique. Plusieurs cas de figure peuvent se présenter selon la zone étudiée et le budget disponible. Ainsi, en France, l'acquisition de la BD carto de l'Institut Géographique National (IGN) permet de disposer d'une base de données de qualité directement exploitable sous un SIG.

Sinon, une autre solution consiste à numériser les informations nécessaires sur les cartes topographiques existantes. Il s'agit très souvent d'un exercice long, très coûteux en source d'erreurs liées soit aux documents de départ, soit au processus de numérisation lui-même.

Ces informations planimétriques servent avant toute chose de référentiel cartographique pour l'ensemble de la base de données du SIG (éventuellement complétées par les images satellites). Elles sont utilisées en fonds de plan de la majorité des documents visuels destinés à communiquer autour du projet. Le projeteur en déduit également le nombre de franchissements (ponts, carrefours, tunnels), de jonctions et de désenclavements à prévoir pour chacun des fuseaux. Il peut également estimer le niveau de contrainte pour établir des échanges.

Les spatiocartes tirées des images satellitaires peuvent venir compléter très utilement la cartographie de base voire y suppléer partiellement quand celle-ci est obsolète, incomplète ou pas diffusée. Les spatiocartes en N&B ressemblent sensiblement à des photographies aériennes à moyenne échelle. Les non-spécialistes arrivent ainsi à se repérer facilement sur ces documents. La précision planimétrique des spatiocartes SPOT est de l'ordre de la taille du pixel (10 m en N&B, 20 en couleur). Des déformations géométriques peuvent survenir lorsque les images ont été acquises en visée oblique sur des zones à relief. Ces déformations peuvent être supprimées en procédant à une ortho-rectification des spatiocartes à l'aide d'un MNT (issu de SPOT ou de documents cartographiques classiques).

De la même manière, l'altimétrie est accessible soit directement en acquérant des MNT existants (cas de la BD Z de l'IGN), soit par calcul automatique du MNT à partir d'un couple stéréoscopique d'images SPOT, soit par numérisation des courbes de niveau et calcul du MNT par des logiciels spécifiques. La plupart des SIG performants disposent de modules dédiés au calcul et à l'exploitation des MNT. Dans le cas de SPOT, les MNT produits ont une maille initiale de 20 m qui peut ensuite être dégradée. La précision altimétrique est de l'ordre de 10 m.

L'altimétrie est utilisée à plusieurs niveaux lors des études préliminaires :

- pour calculer la carte des contraintes liées à la pente (par exemple, élimination des zones à plus de 3% de pente);
- pour calculer les versants instables en tenant également compte du sol, du sous-sol et de l'exposition ;
- pour calculer les zones d'intervisibilité et donc mesurer l'impact paysager d'un projet ;
- pour calculer les volumes de déblais/remblais ;
- pour générer des vues en perspectives destinées à sensibiliser et à convaincre.

1.1.2. Limites administratives

Les limites administratives sont systématiquement intégrées dans les bases de données pour ce type d'application pour faciliter le repérage, pour cartographier des données agrégées par entités administratives (cas du RGP de l'INSEE par exemple), pour donner des informations quantifiées et objectives aux élus et aux citoyens qui jouent un rôle important dans les négociations intermédiaires et dans la décision finale sur le choix d'un projet.

1.1.3. Données techniques

Les données techniques prises en compte varient beaucoup d'un pays à l'autre selon leur disponibilité et les contraintes qui sont traditionnellement étudiées. On peut citer dans le cas de la France :

- le Plan d'Occupation du Sol (POS) simplifié quand les communes en sont pourvus. Mais certains postes nécessitent d'être remis à jour (ex : zone en cours d'urbanisation, zone d'urbanisation future) ou d'être affinés (cas de zones agricoles où il n'est pas fait de distinction entre cultures annuelles, vignes et vergers, et prairies). Dans ce cas-là, les images satellites actualisées se révèlent très utiles pour compléter ou affiner le POS.

- les sites archéologiques, les monuments historiques ;
- les points de captage des eaux souterraines ;
- les zones protégées (cas des ZNIEFF, des milieux naturels protégés).

1.1.4. L'occupation du sol

Il s'agit d'un critère majeur qui est pris en compte de nombreuses fois lors de l'étude des contraintes (consommation d'espace, stabilité des bassins versants, morphopédologie, impact paysager, nuisance sonore).

Les images satellites sont particulièrement bien adaptées pour produire des cartes d'occupation du sol. L'expérience acquise sur ce type d'application montre que les meilleurs résultats sont obtenus en combinant des approches par photo-interprétation assistée par ordinateur (PIAO) notamment pour les éléments linéaires ou avec une texture hétérogène (zones urbaines) et des approches par traitements numériques pour les thèmes surfaciques avec des teintes relativement homogènes (parcelles culturales, massifs forestiers, plans d'eau). Il est recommandé d'affiner certains thèmes (cas des vignes et des vergers) en travaillant sur des documents plus fins (photographies aériennes, éventuellement données techniques).

Chaque point élémentaire de l'image (encore appelé pixel) est ainsi affecté à un des postes de la légende de l'occupation du sol. La surface d'un pixel étant connue (100 m² dans le cas d'un pixel SPOT en N&B), le simple cumul du nombre de pixels par type d'occupation du sol donne accès automatiquement aux consommations d'espaces. Cette opération peut être effectuée à l'intérieur de n'importe quelle zone dont on connaît les limites (fuseaux, communes...).

Des outils fréquemment utilisés en télédétection permettent de quantifier la précision géométrique et thématique de la carte d'occupation du sol. Il s'agit de tableaux croisés (encore appelés matrices de confusion) où on compare sur un échantillon représentatif de parcelles leur occupation réelle sur le terrain et celle tirée de l'interprétation des images. Les résultats statistiques qui en découlent permettent de donner un intervalle de confiance et donc un

Utilisation de l'imagerie numérique (3ème CITOP) - Utilisat

domaine de validité à toutes les analyses qui se basent sur cette carte d'occupation du sol.

1.1.5. La géologie et l'hydrogéologie

Ces critères sont essentiels à prendre en compte lors de l'étude d'un projet routier. Certains pays disposent déjà de bases de données numériques (cas du BRGM en France) ou tout au moins de documents cartographiques.

Par contre, dans les pays où les régions où ces documents ne sont pas disponibles, l'imagerie satellitaire constitue un outil largement utilisé par les géologues et les hydrogéologues. Elle donne des informations sur la géologie de sub-surface (géotechnique et ressources en matériaux). Elle permet de dresser soit une carte des principales unités géologiques, soit si l'ensemble géologique est relativement homogène, une carte texturale des principales unités de surface. Ces deux documents seront complétés par le report des principaux accidents structuraux ou en zone homogène par le report des linéaments susceptibles de correspondre à des failles du substratum.

1.2. Analyse des contraintes

Une fois la base de donnée constituée et mise à jour, le projeteur peut alors faire appel à toute la puissance d'affichage et d'analyse spatiale du SIG pour étudier les contraintes. Les images satellites et les produits dérivés sont alors mis très souvent à contribution.

1.2.1. Contraintes techniques

La longueur de chaque variante est calculée automatiquement dès que le projeteur a dessiné à l'écran le tracé en plan horizontal de chaque variante en s'appuyant sur les données de la base affichées en arrière plan (modèle général du terrain observable sur le MNT, réseaux existants, occupation du sol) et sur son expérience. A ce stade, le MNT SPOT fournit une représentation des mouvements de terrain qui, bien que lissée par rapport à la réalité, est suffisante pour la définition en plan des principales variantes d'un projet à grande échelle. C'est typiquement le cas pour la plupart des projets dans les pays en voie de développement.

Pour l'élaboration du profil en long, l'opérateur fait appel au modèle du terrain rapporté au tracé de la variante étudiée (profil en long terrain) et à la nature du terrain présent. Cette étude permet une première évaluation de la variante par l'appréciation des contraintes géométriques longitudinales et par l'estimation sommaire des volumes de terrassement en jeu. Le modèle du MNT SPOT est suffisant pour apprécier la géométrie longitudinale à mettre en place et les contraintes qui en découlent. L'estimation des volumes de terrassement reste sommaire mais elle donne des ordres de grandeur pour comparer plusieurs grandes variantes du tracé.

L'affichage simultané à l'écran de l'emplacement des nouvelles variantes avec le réseau routier et les zones urbaines existantes (issus ou non de l'interprétation des images) permet de prévoir la longueur des voies de désenclavement.

Le croisement numérique entre les cartes des pentes et d'exposition tirées du MNT et la carte du sous-sol permet de localiser les versants instables à l'intérieur de l'emprise de chaque variante.

Le croisement entre les variantes et les réseaux hydrographique et routier donne le nombre et la nature des

ouvrages d'art à mettre en place pour chaque variante.

Enfin, les résultats issus de l'analyse de la proximité des zones urbaines (voir ci-dessous) servent au calcul de la longueur des protections phoniques nécessaires.

1.2.2. Géométrie des variantes

Pour chaque variantes du projet, le SIG va donner rapidement plusieurs types d'informations sur sa géométrie :

- Le croisement par analyse spatiale de la position des variantes avec la carte des pentes dérivées du MNT (éventuellement produit à partir d'images SPOT) permet de calculer le nombre et les longueurs de tronçons à forte rampe (le seuil retenu est souvent de 3%).

- La sinuosité de chaque variante en dénombrant les courbes et en les caractérisant par classes d'angles.

- La proximité des échanges en superposant le réseau routier et les zones urbaines existantes et les variantes envisagées.

1.2.3. Consommation d'espace et contraintes géotechniques

Le SIG permet de générer automatiquement une zone tampon (la largeur est spécifiée par le projeteur) autour de chacune des variantes.

Une fois ces zones tampons établies, le SIG permet de croiser automatiquement différentes couches d'informations avec ces zones tampons. Ceci donne pour chaque tracé les tableaux statistiques de consommations d'espace par type d'occupation du sol, de classe du POS, d'unité géologique, de classe de pente, d'exposition, d'ensoleillement, le nombre et la position des sites classés et des zones de captage, les superficies situées dans des ZNIEFF. Une représentation cartographique peut être associée à tout moment à ces données statistiques.

1.2.4. Analyse de la proximité des zones urbaines

Cette information sur l'urbanisation existante fournit une base à un diagnostic concernant les risques de nuisances phoniques générés par chaque variante. La méthodologie mise en œuvre s'appuie en grande partie sur les informations tirées des images satellitaires.

La première étape consiste à isoler les zones urbaines en les extrayant du POS enrichi et mis à jour par les images. Ce nouveau plan d'information est constitué d'un ensemble de zones connexes qui renferment des unités urbaines voisines. Afin d'affiner l'estimation de la nuisance phonique par rapport à un simple calcul des distances entre chaque variante et le barycentre de chaque zone urbaine (ce qui est peu représentatif en terme de nuisance surtout si la zone urbaine est très étendue), on se sert des images SPOT N&B pour redécouper en objets homogènes plus petits ces zones urbaines. On calcule alors la distance entre chacun de ces objets urbains et chacune des variantes. Le résultat peut être montré pour chaque tracé sous forme de cartes où chaque objet urbain est colorié en fonction de la distance au tracé (par exemple, proches du tracé en rouge et éloignés en bleu). Une représentation sous forme d'histogramme permet de quantifier les résultats et de les comparer entre eux.

1.2.5. Impact paysager

L'analyse des zones vues par les tracés permet de déterminer l'impact de ceux-ci sur le paysage. Chaque variante est une ligne constituée d'un certain nombre de

points (environ 50). A partir du MNT, le SIG arrive à localiser les zones qui sont visibles de chacun de ces points. On représente ensuite sous forme cartographique la fréquence de visibilité (rouge : grande fréquence, vert : petite fréquence). Ce calcul, croisé avec le précédent, permet de déterminer les zones urbaines proches du tracé et en visibilité importante de celui-ci, c'est à dire les zones qui comporteront de hauts risques de nuisances sonores. L'image satellite apparaît dans les zones d'où le tracé n'est pas vu. Ceci permet de resituer le contexte géographique. Dans des approches fines, les calculs d'intervisibilité tiennent également compte de la hauteur des éléments environnants (forêts, bâtiments, vergers...). La carte d'occupation du sol dérivée de l'interprétation des images sert alors à modifier le MNT si celui-ci a été calculé à partir des courbes de niveau des cartes topographiques.

1.3. Résultats

1.3.1. Documents techniques d'aide à la décision

Grâce à ces outils, le projeteur peut disposer rapidement des cartes et des statistiques associées pour réaliser son analyse multi-critères entre les différentes variantes.

Une fois la base de données constituée, la souplesse d'utilisation et la puissance de ces outils permet au projeteur de travailler plus rapidement, de tester plus de variantes et surtout, de pouvoir modifier à tout moment certains critères si cela s'avère nécessaire.

1.3.2. Documents de sensibilisation et de communication

Les capacités de production de documents cartographiques du SIG et la qualité esthétique des images satellites constituent un atout indéniable lors des phases de négociation avec les élus locaux et les associations qui se mobilisent autour du projet.

Les blocs diagrammes où les variantes et les contraintes sont représentées en perspectives sur fonds d'images satellites sont des documents extrêmement parlants.

2. ANALYSE ECONOMIQUE

Il est toujours extrêmement délicat de faire une analyse coût/bénéfice de ces nouvelles technologies par rapport à des approches traditionnelles. D'une part, les cas de figure vont être multiples selon le pays concerné, les règles d'analyse en vigueur, d'autre part, les effets indirects à moyen et long terme sont très importants. Ainsi, la base de données représente un investissement très lourd au départ mais elle permettra de réaliser les études suivantes à des coûts et dans des délais extrêmement performants.

Nous pouvons toutefois nous appuyer sur l'expérience acquise lors du projet réalisé pour le compte de la DDE 31 pour faire une estimation du coût de ce type de projet.

La base de données inclue :

- les spatiochartes SPOTView orthorectifiées avec 3 dates de prise de vue (1 en N&B et 2 en couleur) ;
- le repérage et la validation sur le terrain pour calibrer l'interprétation de l'occupation du sol sur les images satellites (1% de taux d'échantillonnage) ;
- des photographies aériennes N&B pour affiner localement l'interprétation de l'occupation du sol ;

- la BD carto de l'IGN ;
- le POS ;
- les ZNIEFF ;
- les points de captage des eaux ;
- les monuments historiques et les sites classés.

Une estimation effectuée en 1993 a montré que la constitution de cette base de données revenait approximativement à 85 FF HT au km².

Les prestations associées concernent la mise en place d'une configuration informatique sur micro-ordinateur PC haut de gamme avec un logiciel SIG, les périphériques d'entrée/sortie adéquats, l'installation de la base de données sur ces équipements, la formation et l'assistance technique au personnel. Selon les options retenues, le coût de ces prestations varie entre 120 000 FF HT et 200 000 FF HT.

3. CONCLUSION

Nous venons de voir que les images satellites et les produits dérivés pouvaient être utilisés de manière intensive au cours des études préliminaires de projet routier et cette tendance se renforce car les professionnels font appel de plus en plus à des approches numériques grâce à l'emploi des SIG.

Les images satellites seront d'autant plus utilisées que les données utilisées de manière traditionnelle seront inexistantes ou inutilisables pour des raisons techniques ou de droit d'accès.

L'intégration des différents outils utilisés dans ce type de projets (logiciels CAO/DAO, SIG, images satellite) est constamment améliorée ce qui va simplifier d'autant la tâche des équipes techniques.

L'amélioration des performances sur SPOT 5 en terme de capacités stéréoscopiques (stéréo avant-arrière) et de résolution (résolution au sol à 5 mètres) laisse présager des résultats encore plus adaptés à ces préoccupations.

Le principal frein à une utilisation massive de l'imagerie satellitaire reste la méconnaissance des possibilités de cet outil pour ce type d'application. Il est donc important que les différents organismes concernés continuent leurs efforts de sensibilisation et de démonstration.

Afin de faciliter ces actions de sensibilisation, SPOT IMAGE, à travers le programme SPOT AVAL financé par le CNES (Centre National d'Etudes Spatiales), a fait réaliser un outil de démonstration intitulé "Kit-SIG SPOT et Aménagement Urbain". Cet outil consiste en une base de donnée géographique au format du logiciel ARCView (®ESRI) accompagné d'un guide utilisateur en français et en anglais. Il est disponible sur simple demande et il donne une vision interactive et très parlante de l'intérêt des SIG et de l'imagerie satellitaire à travers un cas concret sur la région toulousaine.



DVG : UN SYSTÈME AÉROPORTÉ DE SAISIE DE DONNÉES GÉOGRAPHIQUES TRIDIMENSIONNELLES POUR PROJETS LINÉAIRES D'INGÉNIERIE

M. Taylor - IMA/GEO Paris

Résumé

L'idée qui conditionne le développement du système aéroporté de saisie automatisée de données géographiques DVG, est de créer un système évolutif qui fournira une cartographie précise de façon plus flexible que les méthodes de photogrammétrie existantes.

Précurseur dans les domaines de GPS et du laser, Nortech a construit un système de profilage laser déjà opérationnel, il y a près de 10 ans. L'introduction des caméras vidéo et de logiciels de traitement cartographique a donné naissance au Digital Video Geographic System (DVG), un système de cartographie intégré conçu pour profiter pleinement des développements technologiques nouveaux.

Le système est opérationnel depuis plusieurs années et a déjà contribué à la réussite de plusieurs projets en Amérique, Afrique et Asie.

Nortech a maintenant construit une nouvelle version du système, le DVG ATLAS qui sera introduit en Europe pour réaliser des travaux en janvier 1995.

IMA/GEO est le représentant de Nortech en Europe et est aussi responsable pour le traitement des images vidéos.



LE SYSTEME

Le DVG intègre les éléments suivants :

GPS

Le DVG utilise le système NAVSTAR GPS pour positionner le vecteur et la plateforme DVG dans les trois dimensions. Ceci

s'effectue en mode différentielle afin d'obtenir des précisions de 30 cm à 2 m selon le type de récepteur utilisé et la configuration des satellites observés. Le positionnement peut être réalisé en temps réel par liaison radio pour que le vecteur soit sur un axe de vol prédéterminé avec une précision de 3 à 5 mètres.

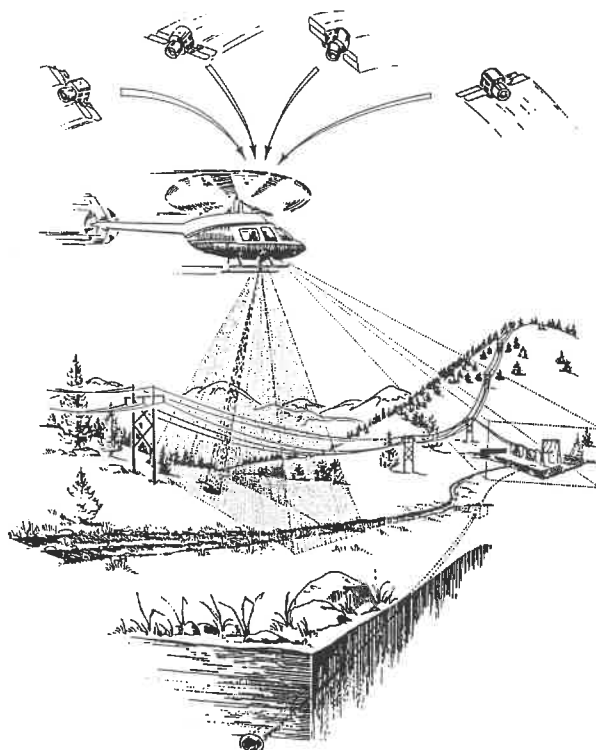
Profilateur laser

Un profilateur laser à haut débit mesure la distance entre la plateforme et la surface de la terre en continu. Ceci permet de mesurer les altitudes du sol et de la couverture végétale, même dans les zones de forêt dense. La précision du laser est d'environ 20 cm EMO. Une fois les données mises en adéquation avec les valeurs GPS, on dégage les profils terrestres en long.

Images Vidéos

Une caméra vidéo haute résolution reliée à un enregistreur VHS fournit une couverture vidéo d'un couloir de taille et de résolution variable selon l'altitude de vol. La largeur du couloir couvert par une focal standard est des deux tiers l'altitude de vol (350 m à alt 500 m). La caméra utilisée sur le nouveau système DVG est de type CCD 3 puces avec une résolution de 700 lignes, ce qui donne un pixel de 50 cm à 500 m d'altitude. L'image résultante est corrélée en temps

et en position. Elle peut être mise à l'échelle par traitement d'images une fois qu'elle est intégrée avec les données GPS et laser.



Gyroscope vertical

Un gyroscope vertical à deux axes fournit des données de roulis et de tangage en temps réel. Combiné avec un servomoteur, ces données maintiennent le système stable en position horizontale.

Compas "Flux gate"

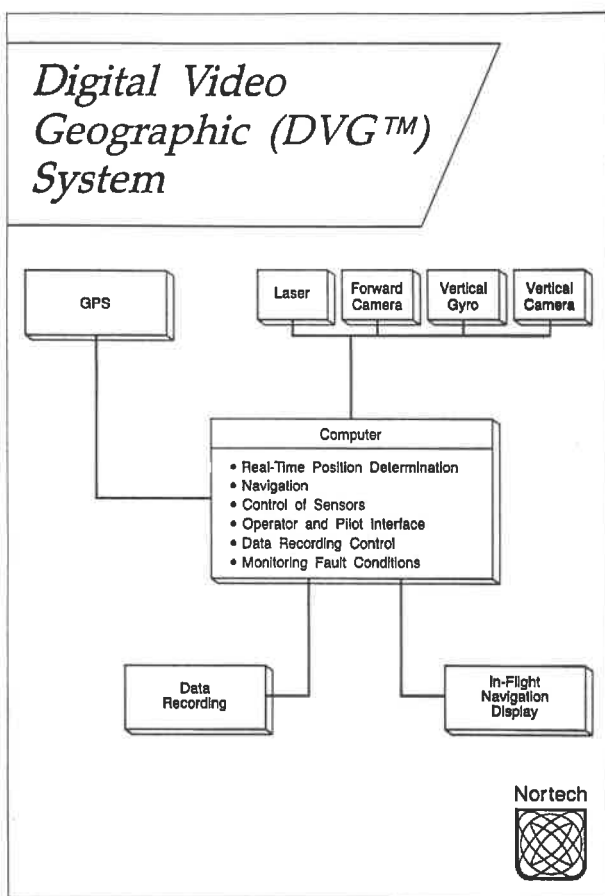
Le compas "flux gate" fournit une orientation continue en azimut du vecteur. Cette information est utilisée pour assister l'orientation des images vidéos et pour le transfert du contrôle GPS au centre de l'image.

Caméra oblique

Un caméra VHS montée sur le nez du vecteur permet une visualisation oblique pour obtenir une information supplémentaire sur le relief.

Ordinateur système

L'ordinateur système intègre toutes les données GPS, LP et VIS par une corrélation de temps. Il permet aussi de faire un contrôle qualité en temps réel ainsi qu'un filtrage des données pour obtenir les fichiers préliminaires de traitement.



LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME

L'acquisition de données DVG s'effectue par un survol de la zone avec saisie des données intégrées. D'un passage simple on obtient un profil et une bande d'images vidéos.

Pour pouvoir construire un modèle numérique de terrain, on effectue des vols parallèles multiples (au moins 5) à l'intervalle désiré.

La méthode de saisie utilisée dépend bien sûr des besoins spécifiques à chaque projet. Avant le commencement de la saisie il faut identifier ou créer un réseau de points géodésiques à un intervalle de 10 à 25 kilomètres selon la précision désirée. Les axes de vol sont définis à l'intervalle désiré (généralement de 10 à 50 mètres) sur la cartographie existante ou sur de l'imagerie SPOT.

Le plus souvent la saisie des données est effectuée en temps réel pour permettre une navigation précise. Pour certaines applications telles que les inventaires de lignes électriques, il est possible de naviguer en visuel. Dans tous les cas, des données GPS brutes sont stockées pour être ensuite traitées en mode différentielle.

L'altitude de vol est alors choisie en fonction des critères de la résolution de l'image, de la couverture de bande et de la pénétration désirée de la couverture végétale. Avec les caméras vidéos modernes, il est possible d'obtenir des résolutions de l'ordre de quelques centimètres. Utilisant une caméra à grand angle à l'altitude maximale d'enregistrement laser à 500 mètres on peut obtenir une couverture de presque un kilomètre avec une résolution métrique. Si la zone à relever est fortement boisée il serait peut-être nécessaire de voler à des altitudes basses (100 mètres) pour pouvoir pénétrer la couverture végétale.

Pendant le vol, la caméra vidéo et le laser sont maintenus stables en orientation verticale utilisant des données du gyroscope vertical et un servomoteur. Un profil laser continu ainsi que des images verticales et obliques sont saisies. Toutes les données numériques sont enregistrées sur disque dur et les données vidéo sur cassette.

Une fois le vol terminé, toutes les données sont transférées sur station de travail. Des sorties préliminaires sont effectuées in situ pour comparaison avec les images vidéos afin de rendre compte du travail effectué.

Traitement des données finales

Au bureau les données GPS sont traitées en mode différentielle et les profils laser sont numérisés. Les images vidéos sont visualisées et positionnées en synchronisant l'horaire codé sur les positions GPS. Ceci permet d'intégrer toutes les données et de les mettre à l'échelle et au format désiré afin de fournir une cartographie de projet en mode raster pour la planimétrie et en mode vecteur pour l'altimétrie.

La cartographie altimétrique est fournie par un réseau de points triangulés entre les profils pour créer un MNT et une carte en courbes de niveau.

Traitements des images vidéos : Une fois améliorées, rectifiées et mises en mosaïque par le système de traitement d'images GEOimage (Sophia Antipolis, France), les images vidéos servent comme cartes de base. Utilisant des algorithmes spécifiques, le système produit une structure orientée à partir des grandes quantités d'images générées par la vidéo. GEOimage fournit aussi un contrôle indépendant sur l'altimétrie en comparant des images voisines et les corrige éventuellement en cas d'imprécision.

Les travaux nécessaires à la restitution des cartes sont regroupés en trois phases :

- rectification géométrique des images
- mosaïquage des images par coupure
- rotation et habillage des coupures

La rectification géométrique

L'objectif est de transformer les images dans la projection des cartes en un pseudo niveau 2.

Le centre de l'image est adopté comme point de référence fixe. Les images vidéo ont une géométrie semblable à celle d'une image aérienne sauf que la résolution est différente dans le sens des lignes et des colonnes. Nous avons donc adapté la modélisation aérienne à ce cas.

Pour la modélisation une base de données de points d'amers est constituée liant les images entre elles. Les modèles sont ensuite calculés par une méthode d'optimisation des paramètres à l'aide des images cartographiques, image par image.

Les modèles ainsi obtenus permettent la rectification des images par une méthode de rééchantillonnage bicubique.

Mosaïquage des images par coupure

Pour chaque coupure d'un travail on construit un projet de mosaïque en positionnant les images les unes par rapport aux autres à partir des coordonnées cartographiques de leurs centres.

Le logiciel GEOimage permet alors une fusion des images en une mosaïque en lissant les informations de part et d'autre d'une frontière calculée automatiquement et retouchée manuellement si nécessaire afin de rendre la transition la plus discrète possible.

Rotation et habillage des coupures

Les mosaïques ainsi constituées sont dans la projection des ortho images avec une verticale correspondant au Nord cartographique.

Si nécessaire, l'on effectue une rotation afin d'obtenir la zone géographique correspondant à la carte.

L'habillage consiste alors à créer la grille des coordonnées cartographiques, à ajouter le cartouche et à mettre à jour les informations avec incrustation des toponymes.

On génère finalement les fichiers images (3 canaux RGB et un fichier comprenant l'ensemble de l'objet) et les sorties jet d'encre d'une résolution de 300DPI.

LES APPLICATIONS DU SYSTÈME

Le nombre de produits qui peut être obtenu au fur et à mesure que la technologie s'améliore est presque sans limites. Cependant, puisque nous avons privilégié la flexibilité de fonctionnement du système, il est particulièrement performant sur des grands projets linéaires où les conditions de terrain et de climat sont difficiles.

Voici quelques applications que DVG peut fournir :

A. Cartographie de réseau - Electricité, gaz, pétrole, eau, télécommunications

- Etudes de faisabilité et de tracé préliminaire : Le système est bien adapté à cette tâche et peut générer des données analytiques, quantitatives et spatiales.

- Cartographie de projet avec des précisions meilleures que le mètre : DVG peut fournir une cartographie de projet dans des zones trop accidentées pour des relevés clas-

siques.

- Cartographie des servitudes : L'image vidéo fournit des données à jour sur les implantations humaines le long des tracés du projet.

- Relevés d'ouvrages : Le relevé des infrastructures existantes est aisé et fournit des profils là où ils n'existent pas.

- La maintenance : Avec une orientation de caméra télécommandée il est possible de survoler des infrastructures existantes et de les filmer avec des angles et des résolutions diverses afin de documenter l'état des structures.

B. Occupation des sols et environnement

- Gestion de l'occupation des sols : Utilisant une caméra CCD pour une plus grande résolution (jusqu'à 4000x4000 pixels), le DVG fournit des données précises pour des transects qui peuvent compléter les images satellites ou photos aériennes. Par exemple : des inventaires forestiers peuvent être réalisés avec une classification des essences d'arbres ainsi que de leur hauteur.

- Gestion des ressources en eau. Avec peu de points terrain et avec des précisions verticales élevées, le DVG est bien adapté aux relevés de zones marécageuses, inondables et côtières. La flexibilité de l'hélicoptère permet de suivre des côtes ou vallées accidentées plus facilement.

- Inventaires d'environnement. A cause de sa capacité de fonctionnement par tous temps le DVG peut être utilisé pour obtenir une vision rapide des problèmes d'environnement tels qu'inondations, pollution etc.

UN PROJET DVG: RELEVÉ PRÉLIMINAIRE : PROJET DE GAZÉODUC PAR NORTECH SURVEYS & GEOIMAGE

En avril 1994 Nortech Surveys (Canada) a débuté un relevé aérien pour Total utilisant le Système numérique géographique à images vidéo, le DVG, à travers 175 kilomètres de terrain mixte allant d'une plaine côtière avec forêts tropicales localisées jusqu'à une altitude maximale de 800 m pour fournir une cartographie au 1/2500 et 1/5000 afin de déterminer le meilleur tracé pour un projet de gazoduc.

Une fois le réseau géodésique établi par observations GPS différentielles (D-GPS), le DVG et un hélicoptère ont été mobilisés. Le système a permis de capter 2 000 kilomètres de profil pendant 21 jours de travail. La production a pu continuer même par temps nuageux. Plusieurs axes parallèles ont été saisis à des intervalles variant entre 40 mètres là où le terrain est relativement facile, jusqu'à 7 mètres dans les zones les plus montagneuses. Afin d'obtenir une précision de pointé suffisante, le positionnement a été fourni par le système **Hydrostar** de D-GPS en temps réel par lien radio. Le tracé a été aussi couvert par une bande d'images vidéo de 250 m de large et d'une taille pixel d'environ 40 cm.

Sur site l'assurance qualité du système a permis de valider les données saisies. Un ingénieur du client a visualisé et contrôlé les vidéos ainsi que des profils préliminaires sortis sur un traceur A3. Ceci lui a permis de choisir le programme de vol en fonction des résultats pour obtenir une couverture de toutes les zones pouvant l'intéresser.

Les données DVG ont été ensuite traitées au bureau

pour dégager les précisions finales métriques, créer le MNT et sortir l'altimétrie en format DXF et graphique. 1200 images vidéos avec un recouvrement variant entre 20-35% ont été numérisées et envoyées en France pour amélioration, rectification et mosaïquage par l'atelier de traitement d'images **GEOimage** (Valbonne). Les fichiers résultants ont été livrés au client en format **Intergraph** et des sorties couleur à l'échelle 1/5 000 produites sur traceur jet d'encre.

Le projet a été achevé sur le terrain sans dégradation de l'environnement sept semaines seulement après la commande et juste avant le début de la saison pluvieuse. C'était aussi la première fois à notre connaissance que des images vidéos géographiques ont servi à produire une carte de base -les experts en télédétection conviendraient que les quantités d'images traitées sont impressionnantes. Mais la conclusion la plus éloquente est contenue dans cette citation du client :

" Sans cette technique nous n'aurions jamais pu réaliser en respectant l'environnement ce relevé dans les temps et le budget. Pour moi, il ne fait pas de doute, l'équipe était la clé du succès.

Avec notre expérience je ne peux que recommander Nortech Surveys pour des relevés similaires de tracés difficiles de pipeline."

LES AVANTAGES DU SYSTEME

sont, entre autres:

- Cartographie linéaire économique : Pour des largeurs de moins d'un kilomètre et des axes de vol d'un total de plus de 100 kilomètres le DVG est moins cher que la photogrammétrie.
- Vitesse de saisie rapide : DVG peut obtenir des centaines de kilomètres de données tridimensionnelles chaque jour. Les taux de production journaliers vont de 100 kilomètres en mode temps réel à plus de 200 kilomètre en suivie de structures existantes. Les données DVG sont déjà numériques (GPS, Laser) ou facilement numérisables (Vidéo) pour assurer un traitement plus rapide.

• Opération tous temps : DVG vole également par temps médiocre. Les projets en zones climatiques difficiles deviennent plus facilement réalisables.

• Capacité de suivi du terrain : Utilisant des hélicoptères, le DVG peut suivre des tracés tortueux et fournir des images d'échelle plus homogène en zone accidentée.

• Saisies dans les zones les plus inaccessibles : Le profilateur laser permet d'obtenir des informations altimétriques précises dans les conditions les plus difficiles. Couplé avec nos techniques de traitement d'images ceci donne l'assurance de toujours obtenir une carte de base précise.

• Flexibilité du système : Les possibilités de traitement d'images s'appliquent à tout capteur qui peut être inclut à un coût réaliste. Chaque année, les caméras vidéos et CCD s'améliorent et les équipements de télédétection aéroportés deviennent plus abordables. Le DVG a été conçu pour profiter pleinement de ces développements.

CONCLUSION

Nous avons présenté un système de saisie et de traitement de données flexible. DVG a effectué efficacement un bon nombre de projets dans les derniers cinq ans faisant de Nortech le leader sur le marché pour cette application.

Le système peut fournir un grand nombre d'applications en cartographie de réseaux, occupation des sols et environnement.

Utilisant des données tridimensionnelles avec des images facilement numérisées il fournit la solution la plus rapide pour une cartographie numérique.

Basé sur des technologies évolutives le DVG va s'améliorer pour devenir un rival sérieux de la photogrammétrie. Avec l'arrivée des lasers à balayage il commence à devenir faisable de générer automatiquement des MNT pour des bandes allant jusqu'à un kilomètre. Au fur et à mesure que les coûts se réduisent nous verrons la saisie aéroportée de données automatisées s'appliquer toujours plus au marché cartographique.



Le CURVIMESUREUR 700B

- * Cadran horizontal
- * Manche métal télescopique



Présenté au Salon EUROPROPRE 1993

Mesure tout partout de 1 cm à 100 m

- Pour évaluer 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

Résumés des interventions en langue anglaise

Conférences de Londres

Nous publions ci-dessous les résumés des interventions en langue anglaise à la 3e CITOP, en particulier celles des conférences de Londres.

L'ensemble intégral des interventions à la 3e CITOP de Paris et de Londres forme un ouvrage de 283 pages disponible au siège de l'AFT (136bis rue de Grenelle - 75007 Paris). Il peut être envoyé sur demande (Tél. : 43 98 84 80 - Fax : 47 53 07 10) - Prix : 120 F - Frais de port pour envoi : 40 F.



Grands projets ferroviaires

Calcul et gestion des données géométriques et topologiques pour les voies ferrées

Par Lothar Gründig - Technical University - Berlin

Dans l'étude du dévers et des alignements horizontaux ou verticaux pour les trains modernes à grande vitesse, il est spécialement important de garantir la consistance et l'intégrité de ces données. Partant d'expériences et de mises en œuvre réelles, des propositions d'analyse et de gestion appropriées sont présentées. Basé sur un concept global qui inclut tous contrôles pertinents, un outil efficace a été développé pour le meilleur ajustement de l'alignement, avec génération d'un système d'information et de contrôle pour la maintenance rationnelle des voies ou les réglages d'alignement des machines de pose.

Etablissement et utilisation du réseau national le long des voies ferrées suédoises

Par Marie-Louise Lundgren et Sten Lunden - Swedish National Rail Administration (BV) - Borlänge - Suède

D'importants travaux d'aménagement du réseau ferroviaire suédois et surtout ses besoins d'adaptation aux trains à grande vitesse sont à l'origine d'un réseau géodésique de haute qualité. Le projet de réalisation d'un réseau géodésique le long de la nouvelle voie de chemin de fer reliant l'aéroport d'Arlanda à Stockholm étant le premier en date, celui-ci a permis de trouver une solution adéquate pour le rattachement au réseau géodésique national en utilisant la technique GPS. Le rapport présente la méthode utilisée pour réaliser ce genre de réseau avec la qualité requise pour les besoins de construction et de maintenance. Il donne également quelques détails concernant le projet de jonction entre le Danemark et la Suède par "Öresunds-link" ainsi que l'utilisation du GPS pour les besoins des chemins de fer Suédois.

Détermination automatisée des éléments d'une voie ferrée existante

Par Joachim Bahndorf - Docteur Ingénieur - Institut für Anwendungen der Géodäsie im Bauwesen - Stuttgart - Allemagne

Le tracé des voies et leur entretien sont d'une grande importance pour le confort dans les trains et le respect de la vitesse et des horaires. Des mesures automatiques sont développées grâce au GPS (stabilité et courbures). L'analyse automatique de cette série d'éléments est le but de la méthode décrite.



Stabilité des ouvrages

Mesures géodésiques pour le contrôle de la dynamique des ponts

Par Klaus Linkwitz et Hans-Joachim Möncke - Institut für Anwendungen der Géodäsie im Bauwesen - Universität Stuttgart - Allemagne

Les bâtiments et ouvrages sont sensibles aux forces appliquées, avec une dynamique propre. En ce qui concerne les ponts, le trafic engendre des forces considérables et plus particulièrement dans le cas des ponts de chemin de fer. La sécurité des ouvrages et le confort des voyageurs dépendent de cette réaction dynamique. Celle-ci est considérée lors de l'étude des ponts et des modèles de calculs sont effectués. Les résultats ne peuvent être vérifiés que sur des ouvrages réels. Les mesures des réactions dynamiques des différents types de construction permettent de modifier les paramètres de calcul pour les ouvrages futurs.

Deux exemples montrent la détermination des réactions dynamiques des ponts à diverses fréquences, par des moyens géodésiques modifiés ou complétés. Le premier décrit le mouvement de la butée pendant le freinage d'un train. Le second montre la déformation verticale d'un pont de chemin de fer lors du passage d'un train à grande vitesse. Des caméras électroniques, des accéléromètres et autres appareils de mesure sont utilisés.



Distribution de services

L'anneau de distribution d'eau de la Tamise

Par J.P. Farrow et D.E.B. Jones - Thames Water utilities Ltd, Reading - Grande-Bretagne

La ceinture d'Eau Souterraine de Thames Water consiste en un tunnel d'une longueur de 80 kms. C'est le tunnel d'eau le plus long du Royaume Uni. Pour répondre au besoin d'eau de plus en plus croissant de l'agglomération londonienne, Thame Water a construit un tunnel profond qui s'alimente à l'aide de gravité et est muni de stations principales de pompage situées aux endroits stratégiques. La construction du tunnel et des puits a été réalisée en deux phases. En ce qui concerne la deuxième phase Thames Water a adopté une stratégie tout à fait originale ; premièrement en changeant les conditions contractuelles, en achetant directement les machines nécessaires à la construction du tunnel et finalement en se chargeant elle-même de la fabrication des segments en béton du tunnel. Pendant tout ce projet, les techniques utilisées pour le levé des plans ont été développées en employant des traverses conventionnelles "des sommets de toits" pour répandre d'une façon générale l'usage du "système de position globale". La conception, la construction et le levé des plans qui ont été adoptés, sont expliqués dans l'exposé. Ce projet fut achevé deux ans avant la date prévue et dans les limites du budget d'origine de £250 millions.



Les conférences de Londres

Métrologie de haute précision des réseaux quasi-linéaires

Par Michel Mayoud - Chef du groupe de Géodésie Appliquée - CERN - Genève

Qu'ils soient strictement linéaires, curvilinéaires, ou même circulaires, qu'ils soient strictement polygonaux ou à structure renforcée, les réseaux tendus sont très flexibles et leur comportement stochastique peut être surprenant.

Les effets combinés des erreurs aléatoires et systématiques peuvent produire de grandes distorsions dont l'amplitude et la périodicité dépendent de nombreux paramètres : conception structurelle du réseau (configuration des mesures), contraintes internes et externes, et, bien sûr, erreurs de diverse natures dans les mesures.

A partir d'exemples et simulations issus de la métrologie des grands accélérateurs de particules du CERN, l'auteur illustre quelques problèmes typiques qui apparaissent dans de tels réseaux, surtout quand une détermination très précise est recherchée.

Projet de grand canal

Par J. Humphrey - Brown and Root civil

Les topographes et autres spécialistes de la science topographique tels que les photogramètres, les cartographes et les spécialistes de la télédétection fournissent des données spatiales en utilisant des outils tels que le Système de Positionnement Global (SPG), les images-satellite SPOT et la photogrammétrie numérique.

Les divers procédés numériques d'élaboration des cartes incluent l'acquisition, la préparation de données spa-

tiales, les calculs et la présentation des cartes. En utilisant le SPG et les Systèmes d'Informations Géographiques /Geographic Information Systems (SIG/GIS), le topographe travaille dans un environnement numérique du début jusqu'à la fin.

Ces systèmes de rassemblement de données spatiales (SPG, SPOT) fonctionnent dans des cadres de référence géodésiques faits sur mesure avec des grilles définies à l'avance, des sphéroïdes et des points de repère géodésiques fondamentaux -à la fois horizontaux et verticaux.

Une appréciation géodésique de ces paramètres est vitale pour obtenir des données topographiques "cohérentes" à partir des divers outils dont le topographe dispose.

Le but de ce document est de donner un aperçu des procédés topographiques concernés ayant pour conséquence une meilleure compréhension de la façon dont les cartes numériques sont produites avec une grille définie, des sphéroïdes et des données géodésiques.

Ou alors, comme le disent nos amis britanniques, GIS en viendra à signifier "Get It Surveyed" (faites-le cartographier), si cela n'est pas déjà fait.

Levé du tracé sous-marin le plus profond du monde : le pipeline gazier de 1 000 km entre Oman et l'Inde

Par Gordon T. Johnston et R. Evans - Racal Survey Ltd

La canalisation proposée d'Oman-India est un des plus ambitieux projets techniques sous-marin entrepris ces dernières années. Le tracé prévu est un des plus longs pour un pipeline sous-marin, 1 100 km, et est certainement le plus profond, 3 400 mètres.

Oman Oil Company reconnaît que les défis et les essais sur les systèmes de reconnaissance, effectués pour fournir les dessins des pipelines avec une résolution suffisante et la précision nécessaire étaient critiques. Ce dossier décrit plusieurs méthodes et techniques utilisées par Racal Survey Ltd pour réaliser une reconnaissance d'un itinéraire entre les atterrissages Oman et India dans l'été de l'année 1994. En particulier, la phase principale en eau profonde et les opérations utilisant un bathymetry de traction à grande profondeur et un système sonar sont décrites.

Surveillance précise de grandes structures linéaires par des systèmes de contrôle automatique

Par Olaf Katowski - Leica AG. Heerbrugg

Des théodolites automatiques sont utilisés pour surveiller des structures avec une haute précision ou contrôler et guider des tunneliers de manière rapide et fiable. Deux exemples d'application sont présentés, basés sur l'utilisation de systèmes automatiques développés par Leica : mesure d'un pont, et contrôle d'un tunnel du métro de Singapour. Les instruments et programmes utilisés sont décrits. Les théodolites motorisés TM3000 employés procurent la plus grande précision angulaire et sont pourvus d'une caméra CCD interne pour la détection automatique des cibles. Le logiciel du système détermine la position des points mesurés et vérifie la stabilité de position du théodolite. Les modules d'analyse fournissent les résultats sous forme numérique et graphique. Selon demande, le système peut parvenir à des précisions de 1 mm à 100 m et mesurer des centaines de points par heure.

Contrôle des opérations topométriques le long du projet d'extension de la ligne Jubilee

Par M.R. May - JLEP London Underground Limited

Cette conférence expose les techniques topométriques utilisées pour contrôler le tracé de construction de l'extension de la ligne Jubilee dans la capitale anglaise. Ce projet est une addition majeure au réseau du Métro londonien, qui offrira un moyen alternatif de transport entre de nombreuses destinations. Il utilise aussi une combinaison de méthodes essayées et testées avec les technologies les plus avancées.

La différence de hauteur entre les systèmes de nivellement français et anglais

Par Carl Calvert - Ordnance Survey - Southampton - GB

Depuis plus d'un siècle, la plupart des pays ont entrepris d'équiper leur territoire de canevas géodésiques altimétriques afin d'offrir une référence unique.

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

Le tunnel sous la Manche est le véhicule pour obtenir la référence unique.

L'impact de GPS sur les projets de génie civil : une bénédiction ou une malédiction ?

Par Vidal Ashkenazi - Université de Nottingham - GB

La venue et l'usage croissant de GPS ont changé les concepts et la pratique de la topométrie et de la géodésie. Le GPS est capable de très grandes précisions relatives, qui peuvent être obtenues rapidement, économiquement et par tous temps. Mais les coordonnées obtenues diffèrent souvent significativement de celles venant des cartes graphiques ou numériques. Contrairement au GPS, ces dernières souffrent d'erreurs liées à l'origine (datum), à la projection, aux levés et unités. Ces imperfections connues de la cartographie sont maintenant soulignées par les données GPS. Le problème est largement résolu dans la pratique géodésique et géophysique mais il affecte encore plusieurs groupes d'utilisateurs. Cette communication décrit donc les différentes sources d'erreur dans les données cartographiques numériques, en attirant l'attention sur quelques

pratiques bien établies qui sont à l'origine de ces erreurs, et des moyens simples sont proposés pour surmonter ces difficultés par un traitement plus judicieux des coordonnées.

Contrôle cinématique de la cartographie des tracés linéaires

Par M.A.R. Cooper, Dept of Civil Engineering, City University, London, UK - F.J. Leahy, Dept of Surveying and Land Information, University of Melbourne, Australia

L'introduction des simulateurs de train ("train simulators") et des systèmes d'information géographique (GIS) au fonctionnement des chemins de fer en Australie a provoqué le besoin d'une reproduction précise, continue et homogène des propriétés géométriques de la voie ferrée. Les efforts faits pour rechercher ce renseignement dans les archives fragmentées qui existent encore, ont été vains. Quant au retracement par tachymétrie électronique, il est d'un prix inabordable.

Dans cet exposé, il est fait rapport du tracé des premiers 1 500 kilomètres de voie ferrée au moyen de méthodes cinétiques. De plus, il est parlé brièvement de la nécessité d'une carte routière, de la spécification d'instrumentation et du système de mesurage. Une technique rigoureuse des moindres carrés a été développée pour effectuer une estimation des coordonnées 3D à chaque huit mètres de voie ferrée à partir de nombreuses mesures obtenues. Cette technique est expliquée de façon détaillée. Finalement, sont présentés des résultats de cette technique et fait des propositions pour poursuivre ce travail.

Mesure de la ligne de base du tunnel du Gotthard

Par Kurt Egger, reg. civ. eng. - Walter Schneider Consulting Engineers, Chur - Switzerland

L'implantation très précise et fiable de longs tunnels exige une planification minutieuse, qui comprend une analyse de la précision du percement et tient compte des erreurs systématiques de mesure. Un tel projet topographique fut établi pour le tunnel de base du Gotthard, d'une longueur de 56.8 km à travers les Alpes suisses.

Après une présentation générale du projet de tunnel ferroviaire, l'article illustre quelques aspects fondamentaux et quelques problèmes particuliers liés à l'implantation du tunnel, tels que le réseau géodésique, les méthodes de mesure en galerie, les instruments, l'influence des anomalies du champ de gravité et les calculs d'analyse préalable.



L'avenir du GPS dans la localisation et le guidage d'engins de chantier

Valérie Pique
Yves Rongy
Élèves Ingénieur Géomètres ESTP
Stagiaires pour l'IREX*

L'idée d'automatiser certaines tâches du génie civil a commencé à se développer durant les années 80. De nombreuses expériences ont été menées, notamment au Japon et aux U.S.A. mais peu ont débouché sur la commercialisation de systèmes.

Pour parvenir à guider des engins de chantiers (à terme à les automatiser), il faut disposer d'un système de localisation, c'est à dire d'un système permettant de situer l'engin en temps réel (sans post-traitement), avec une précision donnée, en tout lieu, un système qui soit fiable, qui soit résistant aux conditions difficiles (eau, poussière, chocs, vibrations,...) et adapté aux différents besoins des chantiers.

Les enjeux de l'automatisation des chantiers sont multiples : d'un point de vue économique, les rendements, ainsi que la qualité des travaux seraient accrus; quant à la sécurité, elle aussi, sera améliorée. En effet, l'automatisation évite la lassitude des travaux répétitifs, permet de limiter le nombre de personnes impliquées

Les besoins en précision de différents travaux du BTP

	Gestion des véhicules			Profilage	Guidage terrassement	Guidage tunnelier	Appareils à gd rendement ⁽¹⁾
		Compactage	Peinture				
Degrés de liberté	X,Y	X,Y,L	X,Y,L	X,Y,Z,L,R,T	X,Y,Z,L,R,T	X,Y,Z,L,R,T	X,Y
Vitesse m/s	10	1,5	-	0,25	1	0,01	1,5 à 30
Contraintes Environnement	Contraintes multiples	Site fermé ou semi-ouvert	Site ouvert	Site fermé ou semi ouvert	Site fermé Dangers	Site souterrain dégt faible	Site ouvert
Précision X,Y (m)	25	0,1	0,05	0,05	0,1	0,05	1
Précision Z (m)	-	-	-	0,005	0,03	0,005	1
Précision Lacet (°)	-	0,6	0,1	0,1	0,5	0,1	-
Précision Roulis (°)	-	-	-	0,05	0,5	0,05	-
Précision Tangage (°)	-	-	-	0,05	0,5	0,05	-

(*) Institut pour la Recherche appliquée et l'EXpérimentation en Génie Civil

(1) Par exemple, appareils pour lever de profil en long pour vérification de chaussée



sur le chantier et facilite le contrôle et la gestion des engins.

Bien que l'on s'intéresse plus particulièrement au domaine du BTP, il est clair que la localisation-guidage peut s'appliquer à d'autres types de machines avec des précisions allant de quelques centimètres à plusieurs mètres (d'où une potentialité importante de marché).

On peut ainsi citer les travaux maritimes tels le dragage, la pose de canalisations en mer où une précision métrique suffit (la dérive restant un facteur limitant), les travaux agricoles (épandage, drainage,...) où la précision va du m au cm, le positionnement aérien (localisation pour l'atterrissage, photogrammétrie...) ou maritime (entrée de ports, plaisance...) ou terrestre (véhicules de tourisme).

Les chantiers de génie civil, quant à eux, offrent une gamme variée de travaux et donc de précisions. Ainsi, avant de concevoir un système de localisation-guidage, il s'agit donc recenser précisément les besoins en précision suivant les différents travaux.

Le problème de la localisation-guidage des engins de chantier a encore du mal à mobiliser l'attention des entreprises, mais quelques organismes de recherche (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées de Nantes, le CEMAGREF....) étudient et testent régulièrement des équipements de ce type.

Les systèmes de localisation existant peuvent se classer en deux catégories :

- **Les systèmes à l'estime** : qui mesurent une position initiale, puis à partir d'intégration des vitesses et

des accélérations, calculent un positionnement en temps réel. Ils se composent de combinaisons de capteurs de nature odométrique, de nature inertielle (accéléromètres, gyrocompas), de nature gravitationnelle (inclinomètres) ou magnétique (compas). Leur principal défaut est leur dérive au cours du temps, ce qui impose un recalage régulier et ne permet pas de les utiliser seuls.

• **Les systèmes absolus** : qui mesurent une position par rapport à un système de référence global. Ils se distinguent suivant le paramètre qu'ils mesurent (distance ou angle) et suivant la nature de l'onde qu'ils utilisent (ultrasonore, lumineuse, hyperfréquence...). Ce sont, par exemple, les lasers ou des systèmes à balises actives ou passives.

L'analyse comparative de ces deux familles de systèmes montrent plus une certaine complémentarité qu'une réelle concurrence.

Localisation à l'estime	Localisation absolue
nécessité d'intégrer la trajectoire passée	localisation indépendante de l'origine
fonctionnement continu	fonctionnement non continu (masques...)
autonome par rapport à l'environnement	dépendance de l'environnement
précision indépendante de la position	précision indépendante de l'environnement
dérive de la précision au cours du temps	précision indépendante du temps
systèmes imbrouillables	systèmes brouillables
erreurs faciles à modéliser	erreurs difficiles à modéliser

Analyse comparative des deux familles de systèmes de localisation

Le GPS fait bien-sûr partie des systèmes de localisation absolue. Or, il semble qu'il ne soit pas actuellement utilisé au maximum de ses possibilités, alors qu'il n'est plus un outil réservé ni aux géodésiens, ni aux géomètres. En effet, les développements récents en cinématique et en temps réel laissent penser que le GPS est assez bien adapté pour faire de la localisation guidage d'engins.

La fiabilité du GPS n'est plus à démontrer surtout depuis les nouveaux modes de traitement des brouillages A/S et S/A. De plus, les satellites du block IIR doivent être lancés cette année, la prochaine génération (block IIF) est prévue pour être placée sur orbite entre 2001 et 2010, ce qui assure la pérennité du système jusqu'en 2020 au minimum.

Le GPS est utilisable quelque soient les conditions climatiques et le moment du jour tant que la configuration des satellites sollicités est correcte. On peut utiliser des bases beaucoup plus longues (entre 5 et 10 km) que pour les autres systèmes de positionnement absolu.

De plus, la mise en station d'un système GPS est particulièrement simple.

Actuellement, un certain nombre de constructeurs ont mis au point des systèmes qui fonctionnent en temps réel avec une bonne précision (quelques cm), le mode "trajectographie" quant à lui, permet des pré-

sions métriques. Le GPS est désormais et, sans aucun doute, adaptable à toutes sortes de besoins.

Pour être capable de positionner un mobile, on utilise le mode relatif cinématique en temps réel du GPS, ce qui nécessite deux récepteurs GPS reliés par radio-modem.

Il s'agit dans un premier temps de fixer les ambiguïtés entières durant la phase d'initialisation, celles-ci étant conservées tant que la liaison avec au moins quatre satellites est maintenue. Les temps de calcul par la suite sont extrêmement courts, grâce à de nouveaux algorithmes de calcul, ce qui permet de positionner le récepteur en mouvement en temps réel.

En cas de "décrochage" (perte de contact avec les satellites) une réinitialisation est nécessaire. Elle peut se faire soit en statique, ce qui implique l'arrêt de l'engin pendant un temps plus ou moins long suivant la nature du récepteur (plus long en monofréquence qu'en bifrèquence) et le type d'algorithmes utilisés, soit en cinématique, grâce à des programmes permettant la résolution des ambiguïtés en vol.

Dans ce cas, pour la réinitialisation, on n'a pas besoin de revenir sur un point précédemment stationné, le récepteur est capable de fixer les entiers alors qu'il est mobile -Systèmes AROF (Leica), RTK OTF (Trimble), RTPNAV (Ashtech), KART (Sercel). Cette opération est également réalisable avec des récepteurs monofréquence (Sercel).

(Renseignements recueillis lors de la "Journée Constructeurs" de l'IGN, le 13 Avril dernier)

Actuellement, les constructeurs cherchent à développer des options sur leurs récepteurs permettant de récupérer les ambiguïtés entières le plus rapidement possible. Cependant, ce temps de ré-initialisation reste relativement important (entre 30 s et 2 min suivant la taille de la base, les masques et le temps de décrochage des satellites).

Dans l'hypothèse où un engin mobile est équipé d'un tel système, l'absence de signal (passage sous un pont, par exemple) pendant ce laps de temps va entraîner une dérive proportionnelle à sa vitesse d'évolution. Si l'engin se déplace rapidement, on peut envisager le couplage avec un autre système qui prendrait le relai pendant cet intervalle de temps et jusqu'à la réacquisition des données.

Cependant, envisager que le GPS, seul, peut répondre aux attentes du Génie Civil en matière de localisation-guidage est encore prématuré. En effet, le GPS cinématique temps réel connaît un certain nombre de difficultés quant à sa mise en œuvre.

L'échange d'informations entre les deux récepteurs doit être suffisamment rapide (pour bénéficier du temps réel) ce qui nécessite des vitesses de transmission radio élevées soumises à la réglementation de France Télécom. Mais comme de telles vitesses sont demandées pour d'autres applications et que la France reste l'un des rares pays européen où une telle limitation existe, on peut penser que cette situation devrait évoluer rapidement.

Suivant le type de chantiers, on se heurtera, plus ou moins, à des problèmes de masques (arbres, bâtiments, grues...) ainsi qu'à des problèmes de multitrajets. Dans un environnement très encombré, ces problèmes pourront difficilement être contournés, ce qui freinera assurément l'utilisation du GPS.

De plus, certaines applications comme le surfacage des chaussées demandent des précisions en altimétrie de l'ordre du demi-centimètre, précisions que l'on est loin d'atteindre, à l'heure actuelle, avec le GPS cinématique temps réel.

Le couplage du GPS avec d'autres techniques de localisation semble, là encore, être une bonne solution.

On peut envisager un couplage GPS-lasers plans pour les applications qui demandent une connaissance précise de l'altimétrie. Un couplage GPS-inertiel pourrait résoudre les problèmes de pertes de signal (le système inertiel prenant le relai pendant l'interruption et favorisant la ré-initialisation).

Certes, le coût de tels couplages est élevé mais leur complémentarité permet une meilleure intégrité du calcul, une précision améliorée et des bases plus longues. De plus, si la demande évolue de façon notable, les prix devraient diminuer...

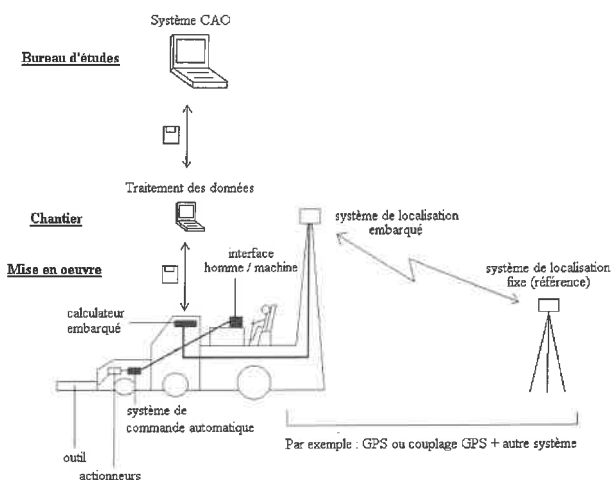
Déjà, un peu partout en France, quelques entreprises tentent d'utiliser le GPS pour guider divers engins. A titre d'exemple, citons les travaux de dragage de la Moselle menés depuis juillet 1994, par la société Pertuy, où le système GPS travaille en différentiel avec une précision métrique. Des problèmes de connexions dues aux vibrations extrêmes n'ont pas permis de garder le récepteur GPS directement installé sur la barge, mais celui-ci permet actuellement à l'entreprise de localiser et guider le pousseur chargé de faire l'étude bathymétrique et le contrôle après travaux.

Il est clair que pour des travaux qui demandent une précision métrique, le GPS est un système de localisation bien adapté. Pourtant, même s'il permet dans certaines conditions d'obtenir des précisions centimétriques, après son installation sur un engin, on ne peut espérer actuellement mieux qu'une précision décimétrique sur l'action de l'outil (asservissement très délicat). Des expériences sur du guidage d'engins menées aux

Etats-unis, auraient donné des résultats centimétriques sans que des informations plus précises soient disponibles...

La localisation-guidage, débouchant à terme sur l'automatisation de certains travaux, impliquera des modifications importantes de la filière du Génie Civil. Des modèles numériques de terrains, suffisamment précis, devront être disponibles afin de fournir le support du projet "CAO", projet qui pourra être transmis, après traitement, aux chantiers et fournira les données nécessaires aux différents acteurs. Connaissant les missions théoriques des engins, le système de localisation-guidage fournissant les résultats réels, on disposera donc d'un récolement immédiat.

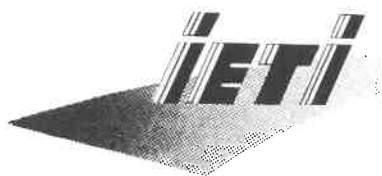
Cet aboutissement n'aura lieu que si les mentalités évoluent et si les différents intervenants (bureau d'étude, maître d'ouvrage, maître d'œuvre, entreprises, géomètre) se rapprochent pour une meilleure concertation et s'impliquent plus qu'ils ne l'ont fait jusqu'alors.



De l'étude à la mise en œuvre : la localisation-guidage une étape essentielle

Les élèves de l'ESTP, auteurs de cet article, sont disposés à un dialogue avec tous les professionnels intéressés par cette nouvelle orientation dans l'utilisation du GPS. Ils les invitent à les contacter par l'intermédiaire de l'AFT.





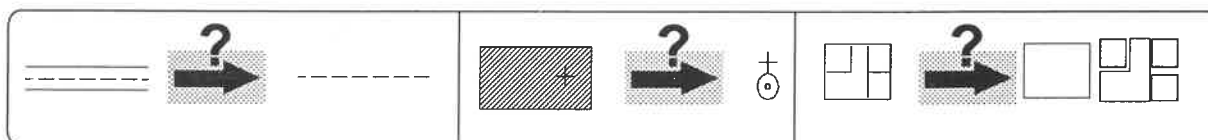
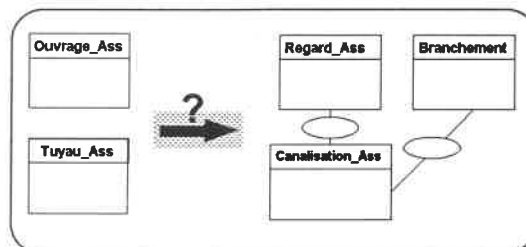
EDIGÉO, c'est aujourd'hui !

Pour vous aider dans la mise en oeuvre de la norme, nous vous proposons dès aujourd'hui

- ⇒ **Sessions de formation** sur la norme EDIGÉO pour futurs utilisateurs
- ⇒ **Assistance** à la mise au point d'échanges
(définition de schémas conceptuels, organisation d'échanges...)
- ⇒ **Contrôle** de lots de données EDIGÉO

Nos références EDIGÉO

- **CONSEIL GENERAL DE L'AIN**
(échanges de données cadastrales)
- **EPA MARNE**
(échanges de données topographiques)
- **Plusieurs sessions de formation** pour
des groupements de géomètres-experts.



Le point sur la norme EDIGéO et son utilisation

*Brigitte Cholvy
Henri Pornon
(IETI - Consultants)*

A l'heure où des informations contradictoires circulent, il semble utile de faire le point sur la norme EDIGéO au milieu de cette année 1995 et après le salon MARI95.

La norme EDIGéO a été publiée en août 1992 par l'AFNOR sous la référence Z13-150, après un large débat et de nombreuses consultations de l'ensemble des partenaires. Diverses mesures d'accompagnement ont été mises en place petit à petit dans les années suivantes.

C'est autour de quatre pôles que se joue l'avenir de la norme EDIGéO. L'engagement des institutionnels a été le premier à être actif en faveur de la norme ; on peut considérer que maintenant les développeurs de logiciels proposent dans leur ensemble des solutions opérationnelles. Ces deux pôles sont donc concrètement acquis à la norme. En revanche, les utilisateurs français d'une part, l'Europe d'autre part restent encore à "convaincre", par des moyens bien évidemment différents. Nous présentons dans cet article un bilan de l'utilisation et de l'avenir de la norme EDIGéO selon ces quatre points de vue.

LES INSTITUTIONNELS

L'engagement de la DGI en la matière remonte maintenant à plusieurs années. Les dernières actions les plus significatives sont au nombre de trois.

Tout d'abord, les spécifications du standard d'échanges des objets du plan cadastral informatisé (PCI) ont été publiées dans une première version dès décembre 1993. Elles ont depuis été complétées par un document de janvier 1994 qui donne un certain nombre de précisions sur le SCD (Schéma Conceptuel de Données) concernant notamment la gestion de la topologie des objets cadastraux.

Par ailleurs, on sait que la DGI s'est engagée depuis

plusieurs années dans une stratégie générale de conventionnement, dit de niveau 1, avec les collectivités locales et leurs partenaires en vue de la numérisation du plan cadastral. Dans ce cadre conventionnel, la DGI impose la présence systématique d'une clause qui précise que c'est dans le format d'échanges EDIGéO et selon des spécifications définies par elle, que les données cadastrales numériques devront lui être fournies lorsqu'elle le demandera à l'occasion de l'installation du PCI dans ses services départementaux.

Enfin la mise en place du système PCI suit son cours. Après les années passées consacrées au choix du noyau de base et au développement d'applications spécifiques, l'année 1995 devrait voir l'installation du PCI dans un ou plusieurs CDIF (Centre Départemental des Impôts Fonciers). Les CDIF concernés sont ceux de Lyon et de Melun. On peut d'ailleurs signaler que dans le cadre de l'installation du PCI au CDIF de Melun certains résultats numériques issus de travaux de remembrement ont été demandés au format EDIGéO.

La DGI s'apprête à publier un guide de numérisation des données cadastrales ainsi qu'un guide d'échanges EDIGéO des données cadastrales avec des exemples sur disquette. Tous ces faits montrent donc clairement que la DGI ne remet pas en cause son engagement en faveur d'EDIGéO.

L'engagement de l'IGN est également ancien. D'une part l'IGN fournit des données au format EDIGéO pour tous les clients qui le demandent et d'autre part l'IGN a étroitement participé au développement de logiciels vérificateurs de lots de données EDIGéO.

Quant au CNIG, Conseil National de l'Information Géographique, il a réalisé la mise à jour de la nomenclature des objets géographiques et l'a publiée en juin 1994. Il a également défini un profil "interlocuteur EDIGéO" parmi les permanents du CNIG, poste qui a été pourvu dès septembre 1994 par la mise à disposition de Monsieur FLOCHEL de la DGI. Enfin il est en train de mettre sur pied un Club utilisateurs.

LES PRODUCTEURS DE LOGICIELS

Depuis le début de l'année 1995, les principales sociétés présentes sur le marché français annoncent des traducteurs EDIGéO : bi-directionnel chez la plupart ou mono-directionnel chez certains qui travaillent actuellement à compléter leur proposition. Il s'agit bien évidemment de premières versions qui restent encore à tester en situation réelle, le problème étant d'avoir des lots de données variées, en dehors de ceux de l'IGN. Il devient de plus en plus rare qu'un fournisseur de SIG n'ait aucune solution EDIGéO à son catalogue. On peut ajouter que la réalisation de ces modules d'interfaçage a été pour la plupart coûteuse en temps/homme, de l'ordre de 6 mois à 1 an.

Les développeurs se sont pour l'heure intéressés exclusivement aux données vectorielles, ce qui est probablement le bon choix dans la mesure où une normali-

sation en matière de données raster dépend étroitement des formats des données satellitaires et notamment des formats produits par la société SPOT-IMAGE.

Si la situation pour les développeurs de SIG s'est clarifiée depuis un an, ce n'est pas nécessairement le cas pour les fournisseurs de solutions DAO, de CAO et de topographie.

A cet égard, le salon MARI95 a été l'occasion de découvrir un nouveau logiciel qui devrait intéresser les fournisseurs comme les utilisateurs. La société GAIA EUROP a présenté sur le stand de l'IGN, un module dénommé EDDY qui assure, dans l'environnement Windows, des manipulations de données EDIGÉO et des fonctions de transfert bi-directionnel de données géographiques entre le format standard DXF et la norme EDIGÉO. Le logiciel EDDY propose notamment des fonctions de contrôle de cohérence des fichiers, de contrôle syntaxique, de visualisation graphique rapide, d'analyse des descripteurs de lots de données vectorielles et de conversion paramétrable de DXF vers EDIGÉO et réciproquement, selon par exemple la nomenclature et le SCD du PCI.

Ce type de logiciel devrait trouver rapidement sa place sur le marché de l'information géographique et rendre des services appréciables, en concernant tout particulièrement les fournisseurs de CAO/DAO voire de SIG qui n'auraient pas encore développé d'interface EDIGÉO. En effet, il leur suffit maintenant d'adapter leur interface DXF (organisation, attributs...) selon les règles dans par GAIA EUROP pour disposer d'une interface bi-directionnelle avec EDIGÉO. Une difficulté subsiste néanmoins ; les fournisseurs ainsi que les utilisateurs ne sont, en effet, pas à l'abri de surprises lors de l'adaptation des interfaces DXF des divers produits. L'adéquation des modèles de données internes des systèmes aux exigences du module EDDY dépend directement de celle de la norme EDIGÉO.

LES UTILISATEURS

Pour les collectivités, les administrations ou d'autres gestionnaires d'espace, le mouvement en faveur d'EDIGÉO s'appuie sur les opportunités techniques qu'offre cette norme. Deux exemples pris parmi nos clients, illustrent non seulement l'intérêt manifesté par les utilisateurs mais également l'adéquation entre les besoins et les réponses qu'apporte la norme EDIGÉO.

Pour répondre aux besoins de gestion de son territoire et de communes majoritairement rurales, le Conseil Général de l'Ain a mis en place une politique volontariste dans le domaine de l'information géographique. En partenariat avec EGS, le Syndicat d'Électrification de l'Ain (SIEA), certains services déconcentrés de l'Etat et les communes et inter-communalités du département, le Conseil Général procède à la numérisation du cadastre de l'ensemble du département sur un programme de 5 ans. Cette numérisation se réalise dans le cadre d'une convention avec la DGI, incluant la fourniture d'une station au CDIF local. Cette opération entre dans le cadre d'une stratégie basée sur les échanges de données variées entre les partenaires signataires et les communes. Pour que ces échanges

soient aussi divers et aisés que possible, deux standards ont été retenus : d'une part pour les échanges via NUMERIS, le standard Télédisque et d'autre part la norme EDIGÉO avec le standard d'échange des objets du PCI. (échanges entre systèmes APIC de APIC Systèmes et EDITOP de SIRAP).

L'établissement public d'aménagement de la ville nouvelle de Marne la Vallée gèrent des données de base qui sont d'une part des plans de récolement au 1/200e réalisés suite à l'aménagement d'un secteur et d'autre part des documents d'arpentage réalisés suite au redécoupage parcellaire. L'un et l'autre sont issus de levés de géomètres. A l'occasion de l'installation de ces bases de données sur de nouvelles plates-formes matérielles et logicielles, l'EPA a cherché une solution qui puisse lui permettre d'intégrer de manière automatique les données nouvelles ou mises à jour. Après analyse, le constat a été que seule une structure de données organisées selon les spécifications de la norme EDIGÉO permet de traiter automatiquement les notions de données "créées, supprimées ou mises à jour". L'EPA a dû préciser les spécifications d'un échange de données de plan de récolement en créant une nomenclature sectorielle qui s'appuie sur la nomenclature du CNIG. Cette nomenclature a été élaborée avec la collaboration des concessionnaires locaux de réseaux, de sorte qu'eux aussi reçoivent lors des remises en gestion des données numériques leur convenant. (échanges entre MGE/Microstation d'INTERGRAPH et divers systèmes de géomètres).

D'autres exemples auraient pu être cités ici, notamment celui du Conseil Général du Rhône qui a été le cadre d'élaboration et de tests du logiciel EDDY (échanges avec INFOCAD de la société G2C Environnement) ou encore le projet du département de Saône et Loire (échanges avec le module ARC-EDI d'ARC-INFO de la société ESRI).

L'EUROPE

La situation de la normalisation en matière d'échanges de données géographiques au niveau européen est complexe et se complexifie plus encore lorsqu'on cherche à en avoir une vision internationale. un certain nombre de faits constituent le paysage européen et international.

C'est le CEN, Comité Européen de Normalisation, qui est chargé au niveau de l'Europe de l'ensemble des démarches de normalisation, quel que soit le domaine concerné. Le TC 287 (Technical Committee) a été créé pour traiter de la normalisation des échanges de données géographiques il y a déjà quelques années à l'initiative de la France et suite aux travaux français sur EDIGÉO. C'est la France qui a la charge de la présidence de ce TC, en la personne de François SALGE, le TC 287 poursuit ses travaux mais a déjà produit un certain nombre de documents techniques.

Toujours au niveau européen, le CEN/TC 278 est un comité technique consacré à la normalisation en matière d'échanges de données routières. Il a produit une norme, référencée GDF, et qu'utilise par exemple la société MICHELIN pour fournir ses bases de données

routières.

L'avancement des travaux européens fait petit à petit découvrir que les raisons qui motivent la mise en place d'une norme européenne sont finalement peu nombreuses car elles ne concernent que certains types de données : les images satellites, les données d'environnement, les statistiques, les transports. Les spécialistes se demandent s'il y a vraiment des besoins européens en matière de normalisation ou bien plutôt des besoins nationaux en Europe, surtout si l'on se rappelle les différences de gestion des données à grande échelle et notamment des données cadastrales selon les pays.

On connaît par ailleurs les normes internationales mises au point par et pour une communauté d'utilisateurs : DIGEST pour les militaires, DX90 pour le monde de l'hydrographie. La norme GDF destinée aux applications routières fait partie de cette famille de normes adaptées à un secteur d'activités.

Au niveau international, c'est l'ISO qui est chargé de définir les normalisations. Deux TC de l'ISO concernent directement notre secteur : le TC 204 qui est chargé des données routières et le TC 211 de l'ISO de création récente et qui s'intéresse aux données géographiques


dans leur ensemble. Cet ISO/TC 211 a donc a priori la même démarche que le CEN/TC 287. En fait son point focal serait plutôt l'unicité des interfaces sur les systèmes qui, comme on le sait, sont souvent américains. L'orientation de l'ISO/TC 211 vers les systèmes est différente de façon assez essentielle de celle du CEN/TC 287 qui est plutôt orienté vers les données.

CONCLUSION

L'engagement confirmé de la DGI, le nombre d'interfaces qui augmentent, un module comme le logiciel EDDY, montrent que la norme EDIGÉO progresse de manière régulière et significative en France. La situation européenne reste pour l'heure encore confuse et se complique d'un croisement avec des développements internationaux en matière de normalisation. Ces avancées, qu'elles soient européennes ou internationales, ont le mérite de montrer qu'il y a une certaine indépendance (pour ne pas dire une indépendance certaine !) entre leurs évolutions et la normalisation française. C'est pourquoi, il ne semble plus d'actualité de se cacher derrière l'argument européen pour invalider les chances d'EDIGÉO de s'imposer en France.

*Objets de marine, instruments scientifiques,
haute curiosité, armes anciennes*

La Fille du Pirate



Le Louvre des Antiquaires
2, pl. du Palais-Royal, Paris 1^{er}
1, allée Weisweiler (sur rue Saint-Honoré)
Tél. : (1) 42.97.38.70

Aux Armes de Furstenberg
1, rue Furstenberg
angle 3, rue Jacob Paris 6^e
Tél. : 43.29.79.51

Promenade des Antiquaires
7, promenade des Anglais. Magasin : 7, rue Massenet
06000 Nice. Tél. : 93.82.00.02.

Ets DIEUTEGARD S.a.r.l. Tél. bureau : (1) 42.93.42.01

CNIG. Mercredi 14 juin 1995

JOURNÉE DE LA RECHERCHE PARTENARIAT DES DONNÉES

LILLE : Conseil Régional
Nord-Pas-de-Calais

Renseignement : CNIG, 43 98 83 12

EDDY, l'interface EDIGéO, répond à vos besoins

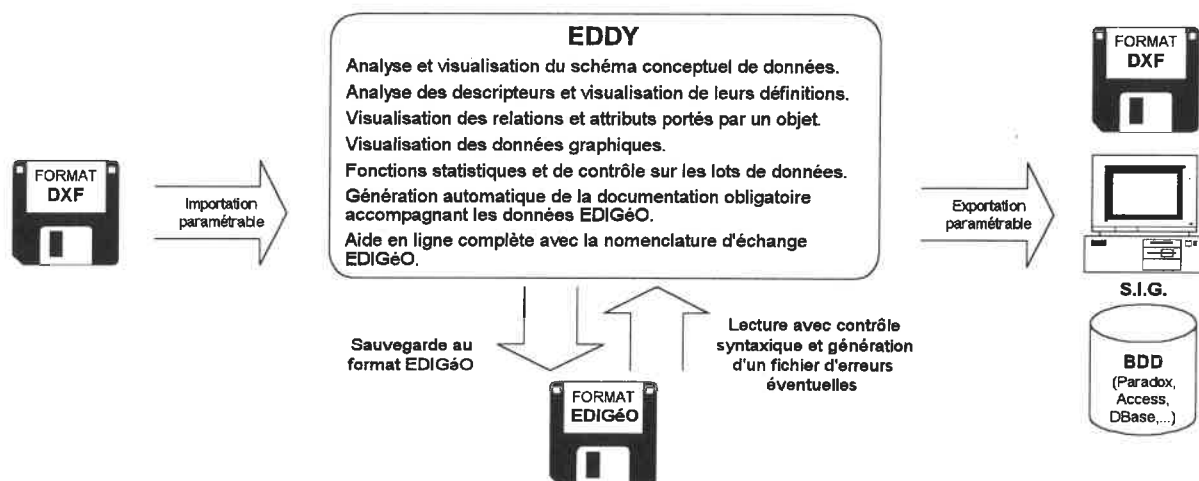
EDDY, logiciel sous Windows, vous permettra de contrôler, visualiser, exporter vos lots de données EDIGéO ainsi que d'importer des données au format DXF pour les convertir au format EDIGéO.

EDDY s'adresse à tous ceux qui sont amenés à utiliser ou livrer des données au format EDIGéO : géomètres-experts, services d'urbanisme et plus généralement, tout utilisateur de SIG. **EDDY** est vendu au prix de **15 000,- Francs H.T.**

Formations EDDY - EDIGéO

En association avec **GAIA-EUROP**, **KOBOR** propose une gamme de formations concernant **EDDY** et la norme EDIGéO.

Pour plus d'informations, consulter la rubrique Info-Topo.



KOBOR, Brice Mallet ou Jean-François Selber

Tel : (1) 42 00 55 15 - Fax : (1) 42 00 55 13

EDDY est un produit de **GAIA-EUROP**, Viry-Chatillon

IGN la BDTopo était au MICAD

JP Ducuing
IGN

Au salon du MICAD, les 15, 16 et 17 mars 1995, un premier logiciel SAPHIR, développé par la société PCVision, fait son apparition en public.

Né de demandes de clients de l'IGN, où plutôt de clients potentiels trouvant la Base de Données Topographiques d'un accès technique difficile, il apporte une première réponse en permettant une utilisation aisée de celle-ci dans le domaine de la cartographie.

SAPHIR, comme l'ont baptisé deux étudiants de l'École Nationale des Sciences Géographiques, est un logiciel Simple, Accessible, Performant, Hardi, Interactif et Riche. Véritable SIG à vocation cartographique, il permet, par exemple, à une petite collectivité locale disposant de moyens financiers modestes, de personnels non informaticiens et de micro-ordinateurs, de produire des plans topographiques et thématiques de bonne précision à des échelles variant de 1:5 000 au 1:20 000.

Ce logiciel se caractérise par sa souplesse qui lui permet, à partir d'un même lot de données BDTopo en DXF (format BDTPO® dessin) de produire des sorties graphiques très variées, enrichies ou non par les informations apportées par l'utilisateur.

Grâce à sa structure objet (thèmes, classes, attributs

d'objets), ce logiciel va permettre à l'utilisateur la réalisation de cartes thématiques. Le cartographe pourra concevoir, par exemple, une carte des routes (nationales, départementales...), ces routes étant symbolisées en fonction d'une valeur d'attribut (dates des derniers travaux d'entretien par exemple).

Grâce à son ergonomie le néophyte pourra produire dès les premières minutes, en utilisant des fonctions totalement automatiques, des plans topographiques à l'échelle du 1:5 000, dont le contenu, la symbolisation et l'habillage sont pré-définis (légende IGN). Cet utilisateur accèdera ensuite, progressivement, sans apprentissage fastidieux, à des fonctionnalités plus sophistiquées (extraction de zones et d'objets spécifiques, enrichissement de la structure de la base, ajout d'information...) et réalisera des documents de plus en plus personnalisés.

La BDTopo de l'IGN va susciter, au MICAD, un vif intérêt de la part de nombreux visiteurs grâce à cette vocation cartographique de SAPHIR. Les sorties graphiques, plus convaincantes que les affichages écrans séduisent de nombreux visiteurs et exposées sur divers stands (PCVision, Autodesc, CEFI, Hewlett Packard...) génèrent de nombreuses questions sur le contenu de la BDTopo, sa précision, son coût et sa disponibilité.

Les démonstrations (rétro-projection sur grand écran) qui ont lieu les mercredi 15 et vendredi 17 devant les clients de la société CEFI, partenaire commercial de l'IGN, et quelques personnalités de l'IGN mettront ensuite en évidence la dimension SIG du logiciel en effectuant des requêtes sur les objets de la BDTopo et en cartographiant les réponses à ces requêtes. Ces démonstrations ont ainsi permis de révéler la richesse des données BDTopo et leur aptitude à servir de "support" à des informations complémentaires.

Elles ont encore permis de montrer les multiples possibilités permettant de privilégier ou de ne traiter que certains thèmes, certaines classes d'objets ou ensembles d'objets sélectionnés à partir de leurs valeurs d'attributs.

Encore à l'état de prototype, mais de prototype déjà performant et exceptionnellement fiable, le logiciel SAPHIR sera totalement achevé et commercialisé au mois de juillet 1995 par la société CEFI qui livrera parallèlement les données BDTopo commandées par l'utilisateur.



INDE CENTRALE peintures rupestres des abris de Jhiri BHOPAL

(Madhya Pradesh)

mission dirigée par
Michel Lorblanchet
directeur de
recherche CNRS

Le relevé de la paroi rocheuse ornée de peintures superposées, datant de différentes époques (certaines de plus de 10 000 ans et d'autres de quelques siècles seulement), a été effectué avec un théodolite au laser TOPCON GTS-6 ; les mesures sont directement enregistrées sur une carte mémoire intégrée à l'appareil. Au cours d'une première séance, 2 600 mesures ont été effectuées en deux semaines à raison de plus de 150 points relevés par mètre carré de paroi.

Cet appareil et la méthode employée fournissent la précision nécessaire pour établir une carte en courbes de niveau reproduisant à la fois le contour des figures peintes et les détails structuraux du support rocheux (volumes, fissures, zones montrant les différences de textures etc...). Pendant le travail sur le terrain tous les points mesurés ont été situés au fur et à mesure sur une couverture photographique de la paroi ornée.

De retour en France une première carte a été dessinée grâce à l'ordinateur. Les missions suivantes dont la prochaine aura lieu en novembre 1995, permettront de vérifier et de compléter ce premier travail et de dresser finalement la carte d'une paroi peinte d'une superficie totale de plus de 40 mètres carrés portant plus d'une centaine de figurations animales et humaines peintes en rouge, jaune, blanc et noir de diverses nuances.

Le but d'une telle carte en courbes de niveaux est double :

- Montrer et comprendre la relation existant entre les peintures et les caractéristiques naturelles du support.
- Reproduire la paroi peinte en 3D, c'est à dire réaliser un facsimilé pour une utilisation muséographique.

(Mission franco-indienne en collaboration avec le Centre National des Arts Indira Gandhi de New Delhi et le Centre de Sciences Humaines du Service Culturel de l'Ambassade de France à New Delhi).

Applications topométriques industrielles du système de nivellement hydrostatique (HLS)

*d'après les expériences de
Daniel Roux. Chef de Groupe
Alignement et Géodésie ESRF*

Résumé

Le niveau hydrostatique HLS¹ développé dans le cadre du projet ESRF à Grenoble pour réaligner le synchrotron ne cesse d'étendre son utilisation dans l'environnement topométrique industriel. Nous présentons ici quelques applications non exhaustives, de son utilisation dans le domaine du génie mécanique des sols, liées aux activités du topomètre concernant le contrôle permanent ou saisonnier d'ouvrages d'art.

¹ Hydrostatic Levelling System

1. INTRODUCTION

Comme nous l'avons souligné lors de nos précédentes interventions à Washington, Lille, Annecy en 1993 la méthode de nivellement hydrostatique est devenue incontournable lorsque l'on veut mesurer avec certitude le déplacement d'ouvrages d'art ou d'ensembles mécaniques importants dans une plage de travail allant de quelques microns à quelques millimètres.

En effet la corrélation entre les déplacements et des événements périodiques ou occasionnels (thermiques, massiques, statiques dynamiques...), ne peuvent être démontrés et quantifiés que par un enregistrement continu des phénomènes. C'est ce que permet avec convivialité et fiabilité le HLS breveté par l'ESRF et fabriqué et commercialisé par la société FOGALE-NANOTECH.

2. AMÉLIORATIONS APPORTÉES AU SYSTÈME EN 1994

Les dernières améliorations du système de mesure permettent aujourd'hui son utilisation dans la quasi-totalité des applications qui étaient jusqu'à un passé récent l'exclusivité du nivellement optique.

De plus dans bien des cas, il le surpasse dans le domaine de la précision, et surtout dans sa capacité à traverser les murs ou à contourner les obstacles.

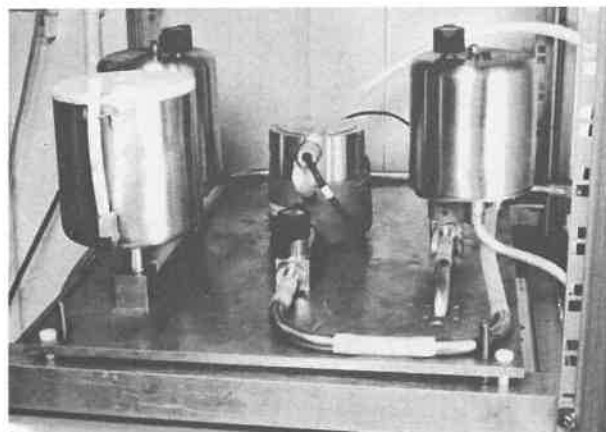
Il est irremplaçable dans tous les cas d'utilisation de mesure à distance, dans des milieux confinés ou inaccessibles en fonctionnement (milieu protégé des poussières : salles blanches, milieu protégé des rayonnements : réacteurs, accélérateurs, milieu protégé des chocs thermiques, ateliers de fabrication en micromécanique ou opto-électronique, etc....).

2.1. Système de remplissage automatique et vannes de sécurité.

Un récent système de remplissage automatique des-

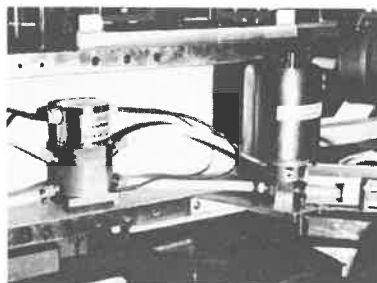
tiné à compenser l'évaporation du réseau (environ 10 $\mu\text{m}/\text{jour}$), a permis de supprimer la dernière opération de maintenance manuelle.

Par ailleurs l'adjonction d'un certain nombre de vannes de sécurité sur le même boîtier de commande permet la fragmentation du circuit et ainsi de minimiser l'impact d'une fuite accidentelle. La possibilité de fermeture à distance de l'ensemble des vannes à distance permet également d'optimiser le temps de stabilisation d'une portion du système, dans le cas d'un asservissement de table par exemple.



1. Photo du système de remplissage et de vidange automatique d'un système HLS.

2.2. Fonderie autocondensatrice



2. Photo du nouveau design autocondenseur du pot HLS en diamètre 12/14 mm

La modification des pots HLS par adjonction de condenseurs et augmentation du diamètre des tubulures supprime tous risques d'obturation du système par condensation capillaire. Il aug-

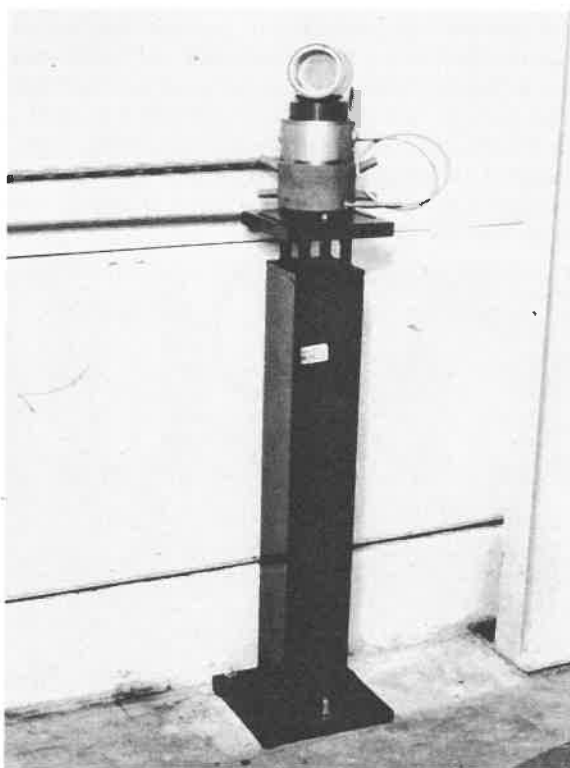
mente la vitesse de stabilisation du système d'un facteur 2,3 (144/64) sans augmenter démesurément le volume du liquide nécessaire.

2.3 Complémentarité Nivellement Optique et Nivellement Hydrostatique

Afin de permettre le transfert d'un référentiel optique à un référentiel hydrostatique, un interface standardisé a été développé. Il permet, soit au moyen d'une sphère Taylor & Hobson (fig 3), bien connue des topomètres ou d'une mire invar traditionnelle (fig 12) utilisée par les géomètres, d'assurer la mixité des deux techniques.

Cette complémentarité des deux modes opératoires permettra à de nombreux géomètres une adaptation progressive à cette mutation technologique du contrôle continu en procédant par étapes.

Le transfert de références peut se faire à des distances variant de quelques mètres (traversées murales) ou quelques kilomètres (connexion de différents ouvrages d'art) avec une précision relative inférieure à 10 microns/km.



3. Photo d'un support de référence HLS pour transfert d'un nivellement optique via une sphère Taylor & Hobson

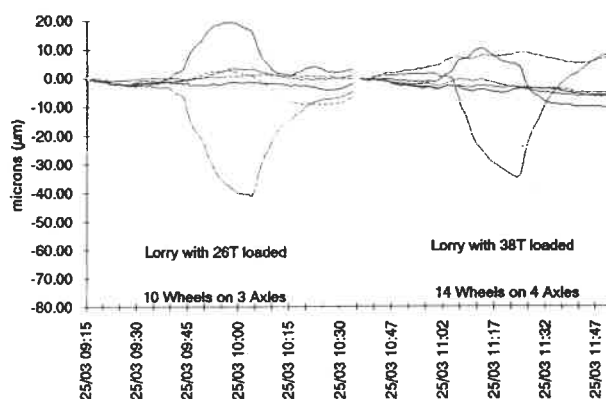
3. APPLICATIONS

3.1 Déformation d'un tunnel routier sous charge circulante

Le problème était de vérifier la stabilité du tunnel dans une tolérance inférieure à 0,1 mm sous la contrainte de la circulation d'un véhicule de 26T équipé de 3 essieux et 10 roues, ainsi que de celle d'un véhicule de 38T équipé de 4 essieux et 14 roues.

Le test a été réalisé au moyen d'un système standard à 8 pots HLS installé sur le radier du tunnel avec des références situées à environ une trentaine de mètres de part et d'autre de l'axe de la route du passage supérieur. Le capteur d'amplitude maximum était situé à l'intersection de l'axe du tunnel et de l'axe de circulation.

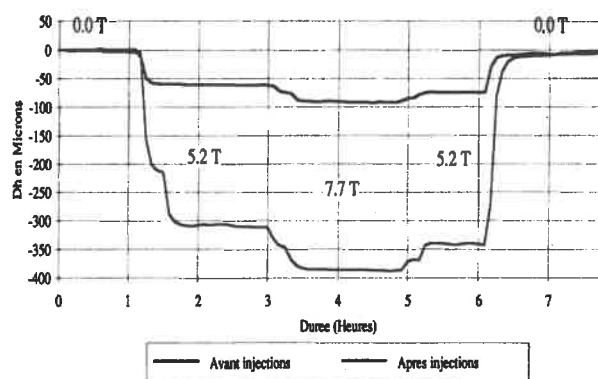
La courbe présentée ci-dessous montre la déformation et quantifie avec précision l'intérêt d'imposer un nombre d'essieux suffisants par rapport à une charge nominale donnée pour minimiser les effets de tassements des ouvrages d'art. Cette méthode peut être également utilisée pour des tests de réception des ouvrages d'art (ponts, tunnels par exemple).



4. Courbe de déformation d'un tunnel routier sous charge circulante de 26T et 38 T

3.2 Mesure des taux de compression d'un sol ou dallage (Contrôle Qualité d'une injection)

Comparaison de test de charge avant et après injections de béton



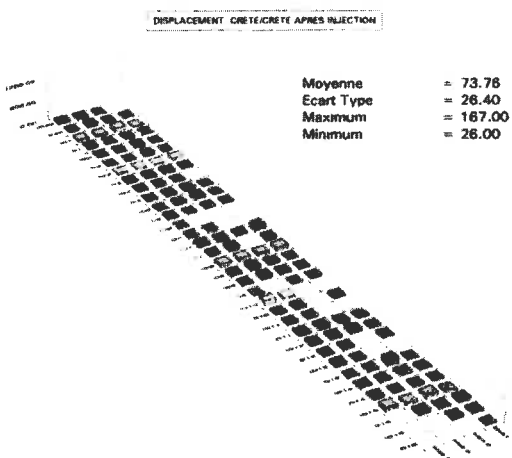
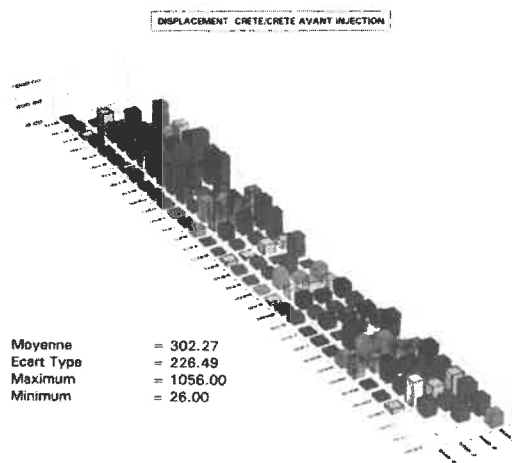
5. Courbes de déformation élastique et permanente d'un sol avant et après injection (Exemple d'un contrôle TERRASOL)

Le problème était de vérifier après l'exécution d'une injection profonde le facteur d'amélioration de résistance à la compression d'un sol. Pour réaliser ce contrôle qualité il a été utilisé une gueuse de 5 tonnes (fig 11) suspendue à un pont roulant et venant coiffer un pot HLS connecté à un réseau. Le nombre de HLS installé (dans ce cas 8) a été adapté à la cadence de réalisation des injections par l'entreprise Terrasol.

La durée d'un test est d'environ 1/2 heure et la préparation du réseau 1/2 journée.

La première courbe montre la qualité de la mesure et son enregistrement permanent permet de quantifier à la fois l'élasticité et l'hystérésis du phénomène.

La seconde analyse permet de quantifier statistiquement l'amélioration considérable de l'homogénéisation du sous-sol après injection. La valeur de l'écart-type de compression ayant été amélioré d'un facteur voisin de 9 (226 μm avant injection à 26 μm après injection).



6. Résultats d'une campagne de mesure de 256 dalles d'un Hall de 30 000 m^2 avant et après injection. (Exemple d'un contrôle d'injection par Terrasol)

La mesure optique de ce chantier n'aurait pu être réalisée en raison même du positionnement du niveau optique dans la zone de travail (l'appareil subissant le même tassement que le point à mesurer), alors que dans le cas du nivellement HLS la référence a été reportée à plus de 40 mètres hors de la zone d'influence du pont roulant.

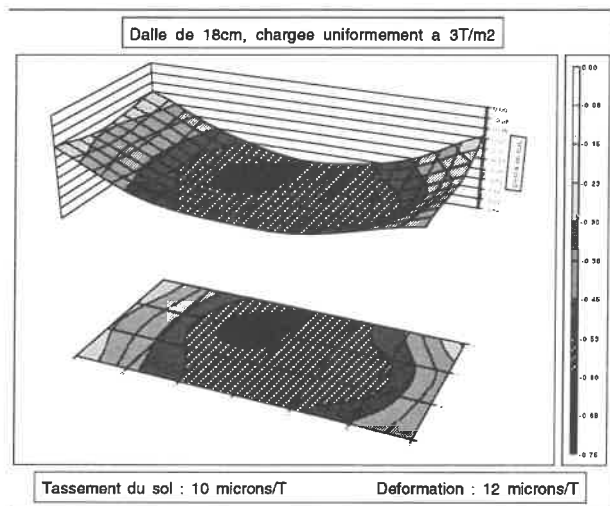
De notre point de vue cette méthode pourrait avantageusement remplacer l'essai de plaque bien connu en matière de mesure de taux de compression de sol brut ou bétonné (suppression du camion).

Asservi à l'outil d'injection ce système fournirait un moyen de contrôle en ligne de l'opération d'injection. Ce contrôle permettrait en particulier la détection immédiate du soulèvement de la dalle.

3.3 Mesure de déformation d'une dalle sous charge uniforme (Contrôle Qualité des bétons)

Dans cette opération, il était demandé de vérifier la déformée géométrique sous charge uniformément répartie de 3 tonnes/ m^2 sur une dalle de 18 cm de béton non armée de 14,5 mètres.

Utilisation de 28 pots HLS répartis sur le réseau maillé. Le résultat présenté en 3D permet de quantifier à la fois le tassement du sous-sol et la déformée propre de la dalle.

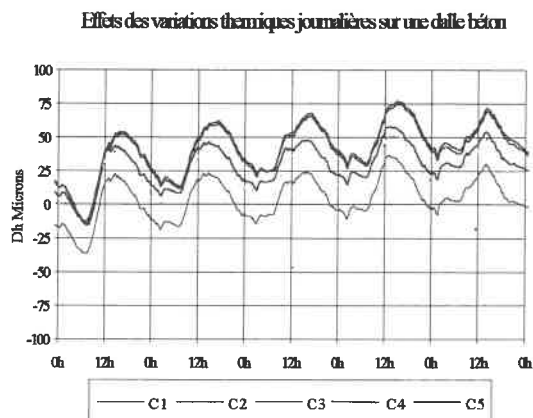


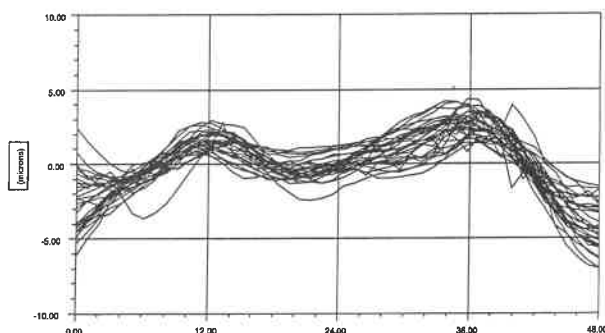
7. Courbes de déformation élastique et permanente d'une dalle 18 cm sous charge de 3T/ m^2

3.4 Mesure de déformation d'un joint de construction ou de dilatation

Ceci n'était pas un problème posé, mais une constatation qui a été effectuée et qui est d'un grand intérêt aujourd'hui pour la maîtrise de la stabilité de l'orbite d'un accélérateur de particule. Cette constatation a d'abord été établie sur des structures fortement contraintes avec des amplitudes de déformation importantes puis étudiée sur un radier de forte épaisseur (60 cm) dans une atmosphère climatisée (fig 8).

Cette mesure peut avoir un intérêt identique pour la surveillance des grands ouvrages d'art, barrage, centrale et pour étudier leur comportement dimensionnel sous l'effet de variation thermique, journalière et saisonnière. Ce type de mesure précise et continue permet par analyse comparative d'en déduire leur degré de vieillissement ou de fatigue.





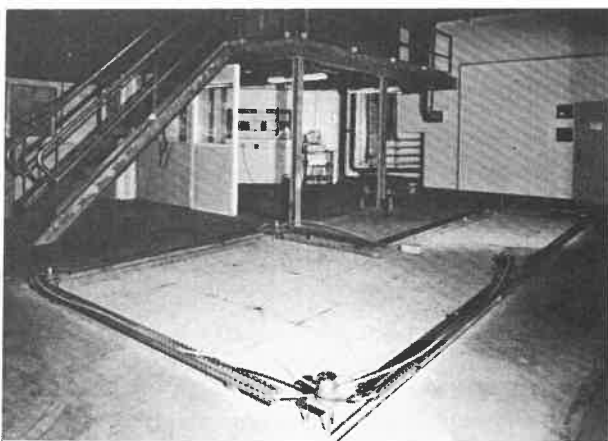
8. Courbes de variation dimensionnelle de joints de dallage de 18 cm en haut, de joints de radier béton de 60 en bas, sous influence thermique journalière (Effet jour-nuit)

Dans la mesure du dallage de 18 cm, le hall n'était pas climatisé et a subi de fortes variations thermiques (plusieurs degrés), dans le cas du radier de 60 cm le tunnel était climatisé avec une variation inférieure à 0,25°C, ce qui montre l'importance des effets thermiques sur la stabilité dimensionnelle d'un sol.

3.5 Mesure du retrait des bétons à long terme

Cette étude a pour objectif le contrôle qualité des bétons mis en œuvre dans le cadre de la réalisation de massif à usage métrologique.

La mesure ci-dessous concerne un massif de béton ferrailé en forme de L d'épaisseur de 1 mètre.

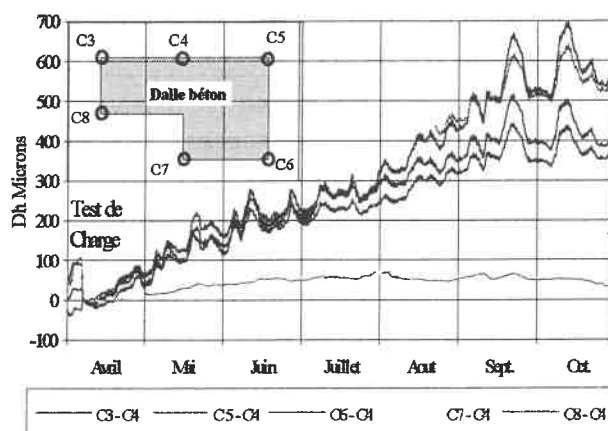


9. Photo d'une installation de contrôle de retrait de béton

Le calcul ci-dessous a été réalisé en considérant le point médian du bord droit (HLS4) comme fixe et donne les variations dimensionnelles des angles par rapport à ce point. Au cours de cette étude il a été également contrôlé la variation altimétrique du bloc par rapport à une référence éloignée d'une distance supérieure à 140 mètres.

La mesure a été réalisée à partir du 28ème jour de séchage et montre un retrait d'environ 500 µm en six mois. Par ailleurs le local n'étant pas climatisé, on observe au cours de deux semaines exceptionnellement froides des mois de septembre et octobre une variation dimensionnelle thermique supérieure à 100 µm.

Retraits d'un bloc béton sur 7 mois

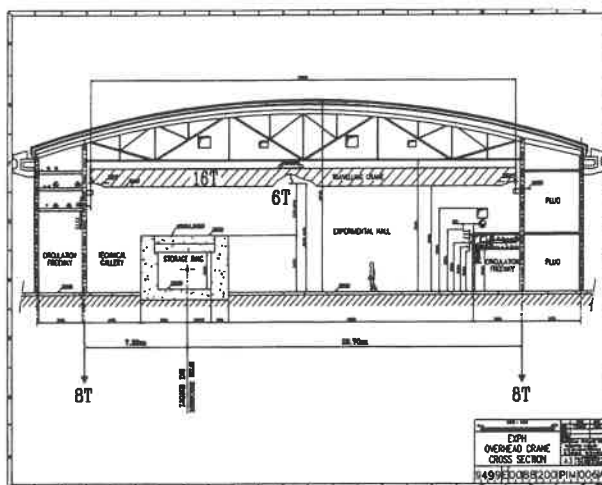


10. Courbes de retraits sur un bloc béton en L de 1 mètre d'épaisseur (Installation photo 9)

3.6 Déformée élastique d'un ouvrage d'art sous influence d'un pont roulant

Cette étude est de loin la plus spectaculaire réalisée sur un ouvrage d'art de grande dimension (1 kilomètre). Le problème consistait à déterminer l'affaissement élastique de l'ouvrage (caisson béton) tout au long de sa développée circulaire sous l'effet du stationnement d'un pont roulant de 16 tonnes de charge passive.

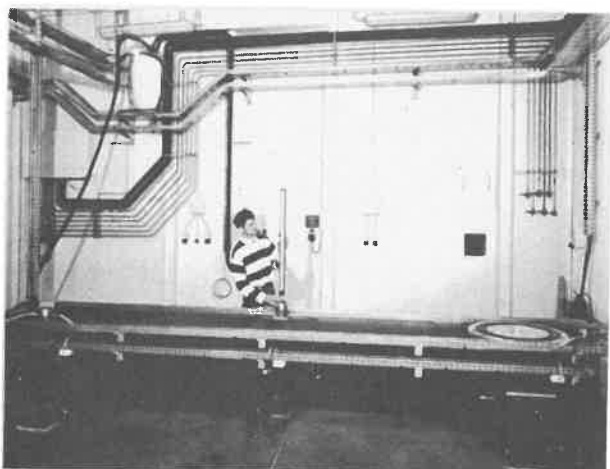
Cette opération a duré 4 heures avec 32 stationnements de 5 minutes en 32 points également répartis sur la circonférence. Les points d'appui du pont roulant sont situés à 7,3 et 22,7 mètres de l'axe du circuit HLS qui comportaient 288 pots répartis le long du kilomètre.



11. Schéma du pont roulant de 16 T passives et 5 T actives installé au dessus du caisson tunnel, les capteurs HLS sont situés sur l'axe du caisson.

3.7 Table asservie à une référence éloignée

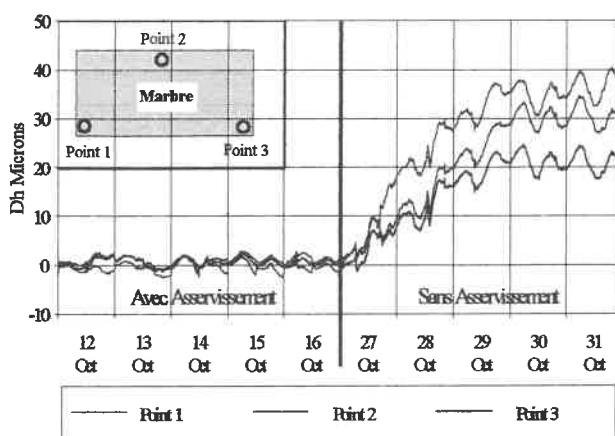
Le problème posé est de maintenir en permanence en milieu industriel, quels que soit les événements extérieurs, une table de granit horizontalement à mieux que 10 microns près et de maintenir la position verticale de ce plan à mieux que 100 microns près par rapport à un référentiel éloigné de 30 mètres.



12. Photo d'un marbre asservi en position verticale à une référence extérieure située à 40 mètres

Le système est actif depuis environ deux mois et la courbe ci-dessous montre les possibilités actuelles d'un tel système. La consigne d'asservissement a été de plus ou moins 5 μm dans la première partie de l'enregistrement. Dans la deuxième partie le marbre a été volontairement laissé en mode non asservi pour montrer la réelle différence de stabilité dimensionnelle entre les deux modes. Par ailleurs et en avant première d'un rapport qui sera publié au nom d'Henri Annoni avant fin 1994, nous voyons apparaître très nettement l'enregistrement de l'influence des marées phréatiques les 29-30-31 octobre sur la stabilité du marbre contrôlé. La fréquence de réaligement dans ce cas a été d'environ deux fois par jour.

Asservissement d'un marbre monté sur verins

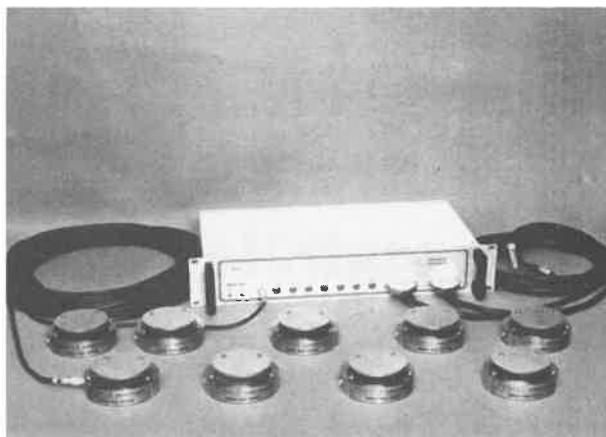


13. Courbes montrant la stabilité de la table entre le mode asservi et non asservi par rapport à une référence extérieure située à 40 mètres

4. CONCLUSION

Nous avons voulu par les exemples décrits d'application du système HLS, volontairement limités à la publication de résultats concernant le domaine de la topométrie industrielle, démontrer l'étendue de ses perspectives de développement dans l'univers du topo-

mètre d'aujourd'hui. Nous nous proposons dans un avenir très proche de montrer qu'associé avec l'instrument dévoilé en avant première à l'occasion de ce salon de la CITOP, le WPS² (Wire Positioning System), nous sommes capables de poser les bases de la NANOGEO-DESIE à l'aube du XXIème siècle.



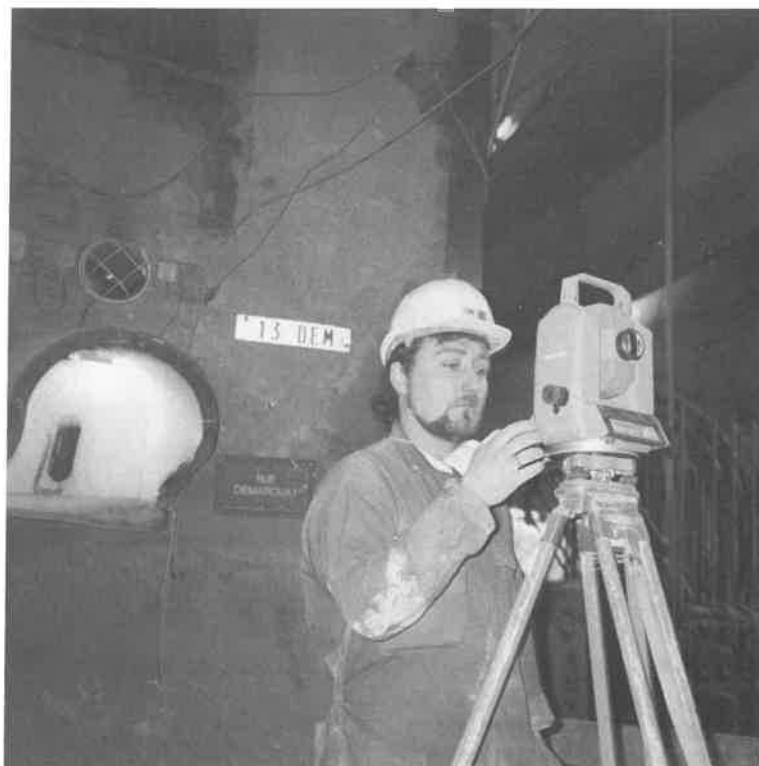
14. Photo du système WPS monoaxe développé par la société FOGALE-NANOTECH et son boîtier électronique 8 voies (identique HLS)

5. RÉFÉRENCES

- [1] Gelman M., Le nivellement hydrostatique, ESGT 1981.
- [2] Roux D., Conception d'un système de contrôle altimétrique automatique et permanent pour le projet ESRF. ALGE-87-03, Octobre 1987.
- [3] Roux D., Alignment and Geodesy for the ESRF project, Proceedings of the first international workshop on accelerator alignment, July 31-August 2, 1989, Stanford Linear Accelerator center, Stanford University (USA).
- [4] Martin D & Roux D, Real Time Altimetric Control By A. Hydrostatic Levelling System, Second International Workshop On Accelerator Alignment, September 10-12, 1990 Deutsches Elektronen (DESY, Germany).
- [5] Martin D, Alignment At The ESRF EPAC (Berlin, Germany, Mars 1992).
- [6] Roux D, Determination Of The Accuracy Of An HLS Network, TS/WR/ALGE/92-22b, Septembre 1992.
- [7] Martin D. & Roux D, Dimensional Control Of The Experimental Hall, June 1992.
- [8] Löffler F, Dobers T, Neubauer G, High. Precision Levelling System For The HERA-Detectors And Interactions Quadrupoles. DESY, Hamburg, Germany July 1992.
- [9] Roux D., A New Alignment Design, Application of ESRF Storage Ring, SEE, Paris, France, November 1992.
- [10] Roux D., The Hydrostatic Levelling System (HLS)/Servo-Controlled Precision Jacks. A new Generation Altimetric Alignment and Control System PAC, Washington USA, May 1993.
- [11] Sugahara R. et al., Measurement of The Seismic Motion and the Displacement of the Floor in the Tristan Ring. Third International Workshop On Accelerator Alignment September 1993.
- [12] Martin D. & J.M. Filhol, Effect on The Crane Motion On The ESRF Storage Ring. 2nd European Synchrotron Radiation Light Sources Workshop, Grenoble, France, November 1994.
- [13] Roux D., Low Frequency Ground Motion, Deformation of The ESRF Machine as a Result of Activity at St Egrève Dam on The Dragon and Snake Rivers. 2nd European Synchrotron Radiation Light Sources Workshop, Grenoble, France, November 1994.
- [14] FOGALE-NANOTECH
190, Parc Georges Besse - 3000 NIMES France
Tél. : (33) 66.38.14.85 - Fax : (33) 66.38.14.59

2. Le système WPS est destiné à la mesure radiale de haute précision (résolution identique au système HLS) et est basé sur le concept d'une mesure d'écartométrie continue. Un prototype bi-axial, développé par la société FOGALE-NANOTECH pour les besoins du CERN fonctionnant sur la méthode dite du zéro (Concept W. Coosemans), a été présenté à Annecy en 1993. Un capteur monoaxe industriel, développé par la société FOGALE-NANOTECH pour l'ESRF fonctionnant sur la méthode dite de mesure réciproque avec une linéarité pleine échelle inférieure au micron (Concept D. Roux) est entièrement compatible avec l'électronique et les programmes d'acquisitions HLS déjà développés précédemment (fig 14). Ces deux capteurs ont été exposés par le constructeur FOGALE-NANOTECH à l'occasion de ce salon de la CITOP.

Le rôle du géomètre et les instruments de mesure et de contrôle sur chantier EOLE METEOR LIGNE D du RER



Mesure de convergence avec le tachéomètre WILD TC2002 de LEICA (cabinet Veillard) - Chantier EOLE - Photo LEICA

Michel CADET (TPI) et Jacques REYMOND (Chantiers Modernes)

Les travaux de creusement des chantiers Eole, Météor et Ligne D du RER nécessitent la réalisation de mesures et de contrôles réguliers. En effet, qu'il s'agisse de guidage traditionnel ou par tunnelier, un impératif doit être respecté : assurer le bon suivi du tracé par rapport au projet. C'est la raison pour laquelle les géomètres dirigent un travail minutieux d'implantation et de contrôle à l'aide des instruments de topographie les mieux adaptés.

A - Pour garantir que l'axe réel du chantier suive effectivement l'axe théorique, le géomètre intervient tout au long de l'ouvrage. Auparavant, il doit cependant entreprendre un travail préliminaire indispensable : *définir des points de référence en sous-sol*, à partir de points localisés en surface dont les coordonnées sont connues du système Lambert ou du système local. Pour «descendre» ces points, plusieurs méthodes peuvent être utilisées. **Nous en développons deux ci-dessous :**

1. la méthode des «**fil à plomb lesté**», ces derniers étant glissés à l'intérieur d'un puits creusé à cet effet.

2. la méthode du «**plomb optique**» qui, grâce à des visées verticales réalisées dans le puits par une lunette zénithale de type WILD ZNL permet de définir avec précision les coordonnées X,Y,Z des points qui serviront de référence dans la galerie.

La méthode par laser classique n'est ici pas réalisable compte-tenu des précisions requises.

Une fois réalisé ce premier travail, le géomètre peut alors suivre et contrôler l'évolution du chantier, qu'il s'agisse d'un guidage traditionnel ou d'un guidage par tunnelier.

B - En guidage traditionnel, le géomètre contrôle l'avancement des travaux à l'aide d'un instrument de topographie coaxial servant à mesurer les angles et les

Cet article décrit la mission des géomètres sur les chantiers EOLE, METEOR et Ligne D du RER, aussi bien pour l'implantation que pour le contrôle et l'impact. Sont décrits les différents types d'appareils de mesure et les méthodes nécessaires à ce travail.

distances des points contrôlés. Sur la plupart des lots sont utilisés des tachéomètres de type WILD TC1010 (précision 3"/3mm+2ppm), WILD TC1610 (précision 1,5"/2mm+2ppm) ou encore WILD TC2002 (précision 0,5"/1mm+1ppm). **Trois méthodes d'implantation et de contrôle sont possibles avec ces instruments :**

1. la méthode par «**consoles**» : le tachéomètre est mis en station sur une console déterminée en X, Y et Z -le choix de la position de la console étant définie par le géomètre. Cette position est connue et calculée par rapport à la position de la console précédente. Ces consoles constituent la polygonale qui se construit tout au long de l'avancement du tunnel. La console se compose d'une plaque scellée à la paroi sur laquelle se trouve une vis dont le pas sert à fixer l'embase du tachéomètre. Une fois le tachéomètre en place, le géomètre peut planter et contrôler les différents éléments qui constituent le tunnel (cintres, parois en béton projeté...) et ainsi corriger et recentrer l'axe du tracé.



2. la méthode par "**lunette zénithale**" : ici, la polygone est matérialisée par des points de référence situés sur la voûte du tunnel. Ces points sont stationnés par visée verticale grâce à la lunette zénithale. Dès qu'un point est stationné, le géomètre retire la lunette de l'embase pour la remplacer par le tachéomètre. Il est alors en mesure d'implanter et de contrôler les différents éléments qui constituent le tunnel et ainsi corriger et recentrer l'axe du tracé.

3. la méthode par "**relèvement**" : idéale pour éviter que les consoles ne gênent les pelles, haveuses ou fraises en travail, cette méthode consiste à définir virtuellement un point de référence par rapport à d'autres points matérialisés et connus autour de lui. Là encore, ce point de référence temporaire permettra au géomètre d'implanter et de contrôler les différents éléments qui constituent le tunnel et ainsi corriger et recentrer l'axe du tracé.

L'espace de manœuvre étant assez restreint sur Eole, Météor et ligne D du RER, les matériaux utilisés doivent prendre le moins de place possible, tout en respectant les contraintes de budget et de faisabilité. C'est la raison pour laquelle les prismes traditionnels posés sur consoles sont de plus en plus souvent remplacés par des réflecteurs d'un type nouveau : les "**cibles rétro réfléchissantes**". Ces dernières sont composées d'alvéoles qui réfléchissent l'onde du distancemètre et protégées par une surface plastifiée sur laquelle est dessinée une cible. Certaines entreprises, comme le cabinet de Géomètres-Experts Veillard, utilisent ces cibles rétro réfléchissantes, grâce à des techniques parfois brevetées, pour optimiser leurs opérations de relèvement et d'auscultation.

C- En guidage par tunnelier, le géomètre doit tout d'abord vérifier que l'axe du tunnelier est conforme à l'axe du projet. Il réalise ce contrôle lorsque le tunnelier est encore en surface en mesurant les coordonnées de cibles placées à l'intérieur du tunnelier. Ces dernières serviront de points de référence pour déterminer la position de l'axe du tunnelier une fois sous terre. Cette vérification terminée, **deux méthodes de guidage**

s'offrent au géomètre :

1. la méthode "**traditionnelle**" : lorsque le tunnelier est à l'arrêt, le géomètre se sert de l'une des trois méthodes citées ci-dessus. Il contrôle la position de l'axe réel par rapport à l'axe du projet en mesurant, à l'aide du tachéomètre, la distance et l'angle des cibles placées à l'intérieur du tunnelier, tout en tenant compte de l'unité de mesure de l'avancement (point métrique, point kilométrique ou anneau). Les résultats de ces mesures permettent alors au pilote du tunnelier de moduler la pression des différents verrins qui propulsent la machine afin de la redresser par rapport au projet.

2. la méthode par "**système de guidage**" : le géomètre dispose là d'un système qui permet de calculer en temps réel la position du tunnelier. Ce système est composé des instruments suivants :

- un théodolite de type WILD T1010/1610/2002 ou encore T2 de Leica destiné à déterminer la position angulaire V et Hz du point mesuré ;

- un distancemètre de type WILD Di1001/1600/2002 permettant de déterminer et de calculer la distance et donc la position en X, Y et Z du point mesuré ;

- un oculaire à diode laser de type WILD GL02 ou DL2 placé sur le théodolite, qui rend visible les points de mesure grâce à son rayon laser destiné à percuter une cible active ;

- une cible active qui réagit immédiatement au laser de l'oculaire en indiquant ainsi la conformité ou non de la position du tunnelier. Si le laser ne tape pas dans la cible, cela signifie que le tunnelier a subi une déviation.

- un inclinomètre qui permet de connaître à la seconde près l'inclinaison (tangage) et le roulis de la machine.

Les données apportées par l'ensemble de ces instruments sont analysées par le logiciel intégré au système, qui les diffuse alors sur l'écran de contrôle situé dans la cabine du pilote. Là, une alternative est possible : soit le tunnelier est asservi au logiciel et réagit directement à ces informations, soit le tunnelier n'est pas asservi au logiciel et c'est le pilote qui agit sur les verrins.

La productivité imposée aux tunneliers étant de plus en plus haute, il est préférable de disposer de systèmes de guidage avec outils topographiques intégrés. C'est le cas du système de guidage Leica/Dywidag pour fonçage, tunneliers et micro-tunneliers qui résout ainsi les problèmes, longs et fastidieux, de transfert et de communication entre les différents instruments et logiciels du système. Flexible, il offre de plus la possibilité de choisir la configuration la mieux adaptée au chantier et au budget ! Enfin, il faut noter que le logiciel du système Leica/Dywidag sait recalculer la trajectoire de rattrapage en cas de déviation.

D - Une autre des opérations régulièrement effectuées par le géomètre consiste à comparer le profil réel du tunnel au profil projeté. Pour ce faire, le géomètre utilise un instrument appelé "**profilomètre**" sur lequel est monté un distancemètre de type WILD Di3002S. Le distancemètre effectue une rotation de 360° perpendicu-

lairement à l'axe et relève l'ensemble des points nécessaires à l'établissement du profil. Le logiciel intégré au profilomètre compare ce levé au profil projeté. La visualisation des écarts sort sur listing sous forme de coupe.

E - La mission d'implantation et de contrôle du géomètre, bien que mal connue, est primordiale sur les chantiers de type Eole, Météor et ligne D du RER. Mais elle ne s'arrête pas là. Des travaux annexes tout aussi importants relèvent également des fonctions du géomètre. C'est le cas, notamment, de l'*auscultation* : c'est à dire le contrôle de l'existant environnant le chantier.

Ici, le géomètre, équipé d'un niveau de précision de type WILD NA2/GPM3, WILD N3, WILD NA2002/3003 (de précision allant du 10ème au 100ème de millimètre), détermine, par des mesures de cotes altimétriques successives, des points caractéristiques d'ouvrages d'art ou d'immeubles autour du chantier. Il est ainsi en mesure de définir les mouvements (soulèvements ou tassements) du terrain en fonction de l'avancement du chantier - mouvements constatés en

surface lors de l'excavation ou de l'injection de béton dans le tunnel. La fréquence de ces auscultations est liée aux déformations mesurées.

Dans le cas de déformations importantes, le géomètre a la possibilité de louer un système automatique et indépendant, appelé AUTOSURV, permettant un contrôle plus rapproché en temps quasi-réel. Ce dernier est composé d'un logiciel qui pilote un théodolite motorisé équipé d'une caméra-vidéo intégrée, le WILD TM3000 V/D et d'un distancemètre précis ($\pm 1\text{mm}$ pour 1km) : le WILD Di2002. Le logiciel du système AUTOSURV reconnaît les points par un procédé de recherche automatique de cible et fait exécuter la mesure en fonction de la fréquence définie par le géomètre. Les résultats peuvent être édités à tout moment. Comme tous les logiciels Leica, AUTOSURV fonctionne sous Windows.

(Pour l'instrumentation décrite : LEICA SARL - Delphine David - 86, avenue du 18 juin 1940 - 92563 Rueil Malmaison Cedex - Tél. : (1) 47 32 85 42 - Fax : (1) 47 32 85 95)

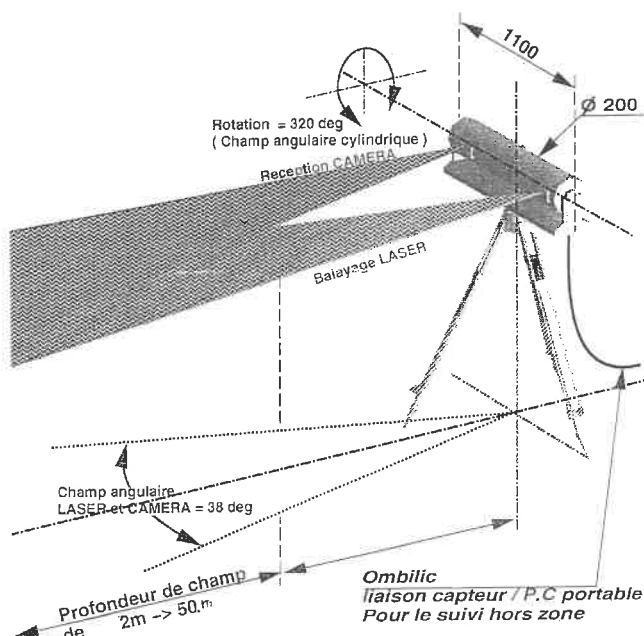
Point descendu = début de la polygonation souterraine (J. Reymond - Chantiers Modernes) EOLE - Photo LEICA



SOISIC- 3DIPSOS

un ensemble capteur- logiciel

Michel
Paramythioti
Société MENS



Résumé

L'ensemble capteur-logiciel SOISIC-3DIPSOS est un "système de vision tridimensionnelle métrologique"; il permet la saisie sans contact et la modélisation tridimensionnelle précise d'objets ou d'installations.

Le capteur SOISIC effectue un balayage laser ligne par ligne de la scène à relever et enregistre par triangulation les coordonnées de chaque position discrète du spot (point relevé sur la surface). La priorité a été donnée à la précision (moulage optique) au détriment de la vitesse de saisie. Une très grande profondeur de champ (2m - 50m) et un champ angulaire important permettent l'acquisition de scènes très complexes et variées. Le capteur SOISIC est un équipement mobile facile à mettre en œuvre sur site et permet plusieurs points de vue de la même scène (qui seront fusionnés lors du traitement).

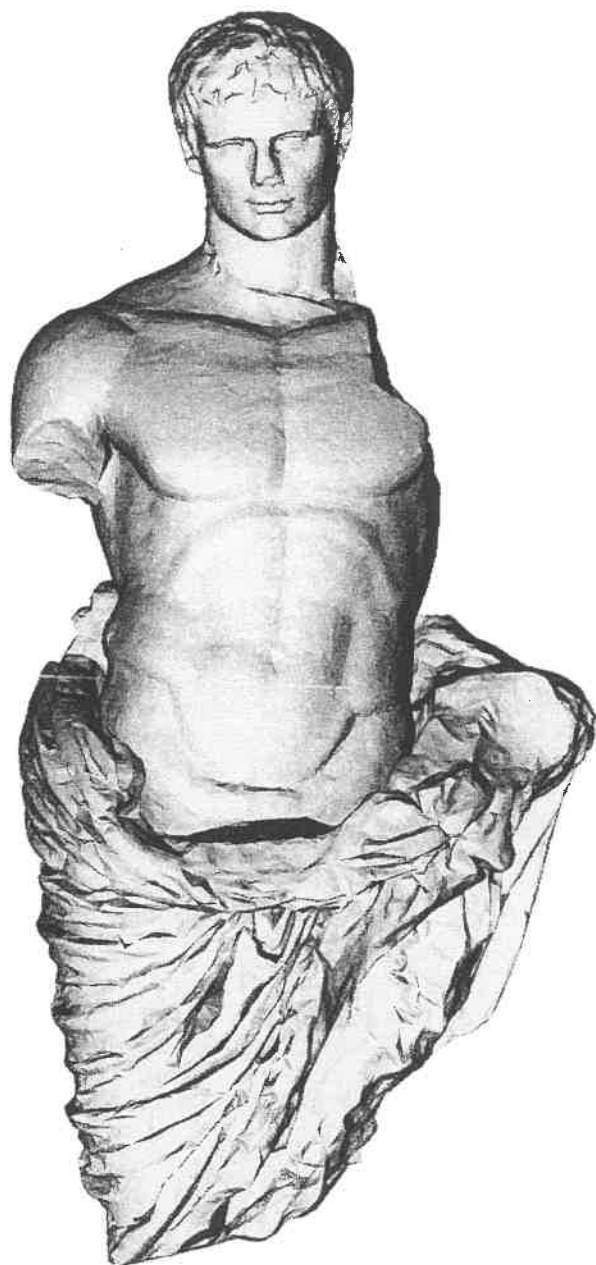
Le logiciel 3DIPSOS permet l'utilisation des grands nombres de points relevés (1.000.000 et plus) : il réalise les fonctions suivantes :

- Consolidation de plusieurs points de vue dans un référentiel unique.
- Segmentation du "nuage" de points global.
- Calcul des primitives correspondant à chaque forme élémentaire sélectionnée.
- Reconstruction de la scène relevée dans un format compatible CAO.

Le traitement est interactif et s'effectue sur station de travail SILICON GRAPHICS.

I. PRESENTATION

Le monde industriel éprouve le besoin de plus en plus général d'une information géométrique 3D complète et précise sur ses produits et installations tels qu'ils sont effectivement réalisés (modélisation 3D "TQC" Tel Que Construit), à bien distinguer de leur définition théorique (modèle CAO de conception) : pour les premiers, les systèmes de métrologie par contact (palpeurs) se sont beaucoup améliorés pour aboutir aux machines à mesurer tridimensionnelles (MMT) bien connues ; pour les secondes (et les produits de grandes dimensions), on assiste depuis 1970 au développement des procédés de photogrammétrie industrielle complétés par des logiciels 3D performants et aujourd'hui relayés par la vidéo-



Musée d'Arles - statue monumentale d'Auguste



grammétrie qui permet une numérisation plus facile.

Le système "SOISIC" a été conçu, et développé avec des concours financiers d'EDF et de l'ANVAR, pour repousser les limites actuelles de la photogrammétrie dans certains domaines d'applications tout en réduisant dans de fortes proportions les coûts de traitement, la phase de restitution étant éliminée : on peut le présenter comme un **"système de vision tridimensionnelle métrologique"**, ou encore de **"moulage optique"** qui se décompose en deux parties :

- Un dispositif mobile de saisie optique par balayage laser et triangulation (scanner laser tridimensionnel) comportant toutes les fonctions électroniques et informatiques temps réel, couplé avec un PC 486 portable permettant le pilotage du capteur, le calcul de triangulation en temps réel, le stockage des fichiers points et des traitements simples accessibles sur site.

- Un ensemble de logiciels spécifiques (3DIPSOS) permettant de traiter les gros fichiers de points tridimensionnels obtenus (1.000.000 et plus) sur station de travail pour constituer une base de données géométriques détaillée et précise et remonter en fonction des besoins à la modélisation mathématique TQC partielle ou totale et à tous les modes d'exploitation utiles de celle-ci.

II. SYSTEME DE SAISIE

Le système de saisie "SOISIC" assure le relevé de la scène étudiée en effectuant un balayage plan par faisceau laser de faible puissance défléchi par un miroir scanner (positions discrètes successives), le spot laser étant observé par une caméra linéaire (objectif photo + barette CCD) solidaire de la même plate-forme :

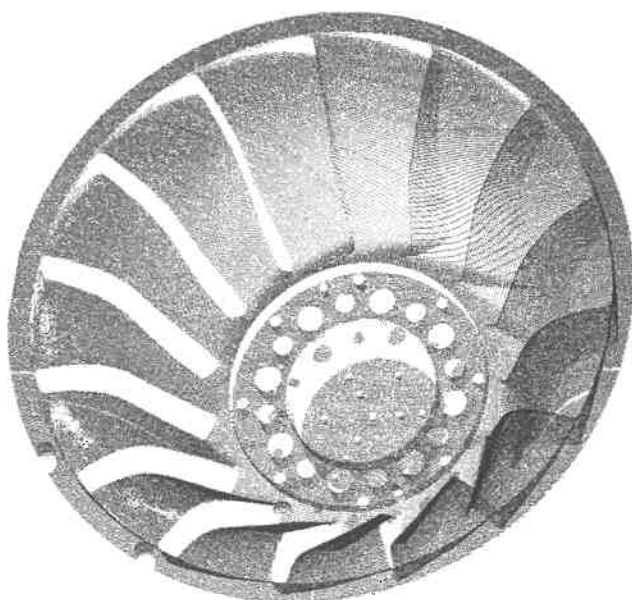
- L'angle d'émission (scanner) est mesuré en focalisant sur une barette CCD un rayon prélevé sur le faisceau principal et réfléchi également sur le miroir scanner.

- L'angle de réception est mesuré par la position de l'image du spot (fournie par la caméra linéaire) sur une autre CCD.

Il s'agit donc d'un dispositif de triangulation plane point par point entre la source laser et une seule caméra, le balayage ligne par ligne étant obtenu par rotation de la plate-forme en fin de ligne autour de l'axe miroir-caméra (balayage cylindrique par moteur pas-à-pas) et l'angle de site étant fourni par un codeur optique : la position d'un point dans l'espace est ainsi définie par trois angles que le PC portable de pilotage transforme en temps réel en coordonnées cartésiennes calculées dans le référentiel du capteur.

Ce dispositif, simple dans son principe, soulève des problèmes difficiles pour atteindre les précisions recherchées tout en couvrant un champ très important (nécessaire pour les modélisations d'environnements) ; il est aujourd'hui couvert par trois brevets dont deux internationaux.

L'ensemble a été analysé en détail au niveau des différentes fonctions (simulation généralisée sur ordina-



teur) afin d'optimiser la géométrie et d'obtenir un ensemble compact et facile à mettre en œuvre sur site en ambiance industrielle (l'application principale concernant les installations nucléaires) ; cette grande rigueur de mise en œuvre de la triangulation a permis d'utiliser une source laser de très faible puissance, afin d'obtenir un appareil léger et maniable et d'assurer des contraintes d'emploi et de sécurité minimales ; on notera les caractéristiques originales suivantes :

- Puissance laser très faible pour les distances accessibles.

- Balayage parfaitement plan (malgré les défauts des composants).

- Très grande profondeur de champ.

- Mesure approchée de la distance avant saisie de chaque point, focalisation automatique du faisceau (autofocus laser).

- Mesure de la luminosité retour avant saisie de chaque point, réglage correspondant de la durée du tir laser.

Deux prototypes industriels ont été mis en service en 1992 ; le capteur se présente comme un cylindre (diamètre 20 cm, longueur 95 cm) contenant les blocs émission et réception et l'ensemble électronique temps réel ; ses caractéristiques (matériel de série) sont les suivantes :

• Longueur de base	775 mm
• Diamètre plate-forme tournante	200 mm
• Longueur hors tout (bâti)	996 mm
• Poids (environ)	20 kg
• Longueur d'onde laser	675 nm
• Puissance diode laser	2 à 20 mw (choix opérateur)
• Puissance laser effectivement émise	1 à 8 mw
• Puissance électrique consommée (environ)	100 w
• Champ angulaire laser et caméra	38°
• Champ angulaire cylindrique	320°
• Profondeur de champ	2m —> 50m
• Cadence de saisie (environ)	100 pts/sec

On notera que la cadence de saisie de points tridimensionnels numérisés est sans commune mesure avec le travail de restitution en photogrammétrie, et que la dynamique de saisie permet de relever une grande variété de surfaces, obscures ou brillantes (du caoutchouc noir à l'incox poli).

Pour une utilisation optimum du champ cylindrique disponible, le capteur sera disposé horizontalement (saisie de scènes plus hautes que larges) ou verticalement (saisie de scènes larges ou d'environnements horizontaux pris de l'intérieur).

L'appareil est équipé d'une caméra vidéo couleur annexe donnant le point de vue de la caméra SOISIC et permettant à l'opérateur d'effectuer les opérations de cadrage sans être en vue directe de la scène (ombilical de 30 m et au delà si besoin) ; les images fournies par cette caméra peuvent être "plaquées" sur les surfaces

3D relevées afin de compléter l'habillage de la scène.

Une première série de capteurs est en fabrication et sera disponible courant 1995.

III. PRECISION

Comme pour tout système métrologique, les caractéristiques de dispersion sur le point élémentaire relevé et de distorsion du champ constituent les éléments essentiels de la performance: une étude théorique complète a été réalisée, permettant en particulier de relier les erreurs sur la mesure des coordonnées spatiales du point aux erreurs sur les angles relevés, donc aux caractéristiques de l'image du spot et aux performances des capteurs angulaires utilisés, ce qui a conduit à sélectionner et adapter ceux-ci pour ramener les écarts-types angulaires à quelques secondes d'arc (environ 10 μ rad.).

Nous rappellerons ici les formules simples donnant les écart-types partiels du procédé de triangulation sur les coordonnées du point élémentaire (dans l'axe du champ) en fonction des trois écart-types angulaires du dispositif de saisie :

$$\begin{aligned} \sigma x &= y/2 \sqrt{\sigma^2 \alpha + \sigma^2 \beta} & y &= \text{distance de saisie} \\ \sigma y &= y^2/2b \sqrt{\sigma^2 \alpha + \sigma^2 \beta} & \alpha, \beta &= \text{angles laser et caméra} \\ \sigma z &= y \sigma \theta & \theta &= \text{angle codeur optique} \end{aligned}$$

On voit que, dès que la distance de saisie devient nettement plus grande que la base de triangulation (cas le plus fréquent), le terme σy devient tout à fait dominant.

Cette priorité accordée à la réduction de la dispersion a nécessité l'utilisation de barrettes CCD très longues (5000 pixels, 35mm) complétées par une interpolation sub-pixel sur une image légèrement défocalisée (au moins 3 pixels pour permettre l'interpolation) ; la position de l'image sur la barrette est ainsi connue à moins de 0,5 μ près.

Les précisions angulaires nécessaires (voir ci-dessus) étant inaccessibles par construction, la précision intrinsèque du système est obtenue par un étalonnage initial en usine sur banc métrologique (mise en mémoire de deux tables d'équivalence lecture barrette-angle) qui prend en compte toutes les distorsions géométriques ou optiques, la principale qualité requise étant de ce fait la fiabilité (problème de correction des dérives thermiques en particulier).

Dans ces conditions, l'écart-type sur la position du point élémentaire saisi se situe à environ 0,6 mm à 5 m, cette valeur étant en théorie proportionnelle au carré de la distance du fait que la longueur de base est fixe, d'où les ordres de grandeur suivants : 0,6 mm à 5 m, 2,5 mm à 10 m, 10 mm à 20 m, 40 mm à 40 m.

Les études en cours laissent à penser que ces valeurs déjà excellentes sont loin de constituer une limite : l'analyse de certains effets parasites et leur meilleure maîtrise peuvent laisser espérer dans un avenir proche une dispersion de l'ordre de 0,2 mm à 5 m et une distorsion du champ du même ordre ; dans cette hypothèse, la précision du dispositif sera limitée

d'abord par celle de l'étalonnage qui sera à revoir avec des exigences plus sévères.

On voit que la précision obtenue au niveau du point élémentaire est actuellement du même ordre que celle de la photogrammétrie industrielle ; on peut ajouter que la grande densité de points accessibles induit une précision très supérieure au niveau de l'élément de surface modélisé (la précision s'améliore comme la racine carrée de la redondance ; une sphère définie par 400 points sera connue de manière 10 fois plus précise que la même sphère définie par 4 points).

IV. TRAITEMENT

Chaque saisie élémentaire (depuis un point de vue donné) peut fournir un nombre considérable de points tridimensionnels numérisés (de 50.000 à 500.000) : le traitement informatique peut prendre en compte les fichiers issus de différents points de vue de la même scène (de 2 à 5 en général) reliés par la saisie commune d'au moins trois sphères de consolidation (outillage annexe éventuel) ou d'objets géométriques (plans, cylindres,...) appartenant à la scène ; il s'effectue en temps différé sur station de travail (SILICON GRAPHICS) et comporte deux phases :

- Calcul des positions de chaque sphère (ou des objets retenus) dans chacun des référentiels primaires, puis fusion des fichiers primaires dans un référentiel unique par superposition des objets communs ; ce référentiel pourra être celui de l'installation si les repères correspondants existent.
- Segmentation de la scène en groupes de points élémentaires et traitement par calcul des formes correspondantes, simples (plans, sphères, cylindres) ou complexes (surfaces gauches), pour remonter aux formes paramétrées, donc au fichier "as built" utilisable par un système de CAO.

On a déjà vu que le nombre considérable de points traités induit de fortes redondances dans le calcul, d'où une précision sur les paramètres CAO obtenus largement améliorée par rapport à celle du point élémentaire saisi (c'est en particulier le cas pour les centres des sphères de consolidation).

L'ensemble des logiciels spécifiques correspondants à ces fonctions, baptisé 3DIPSOS, permet la consolidation et la visualisation de scènes importantes (1.000.000 de points et plus) ainsi que les opérations suivantes :

- Segmentation de la scène en nuages de points élémentaires.
- Définition de coupes sur des surfaces et lissage mathématique de ces coupes.
- Lissage mathématique de nuages de points sur des surfaces.
- Modélisation paramétrique de primitives simples : plan, sphère, cylindre, cône.
- Modélisation de tuyauteries (piping) avec définition des isométries.
- Représentation par réseau de facettes des surfaces gauches.

- Superposition des images vidéo couleur et des surfaces 3D.

Une définition plus élaborée des surfaces gauches relevées (par ex. carreaux de BEZIER) sera abordée prochainement ainsi que d'autres applicatifs spécifiques à différents "métiers" (automatisation partielle et création de macro-instructions permettant d'accroître la productivité).

V. APPLICATIONS

L'objectif initial du projet visait la modélisation de parties d'installations nucléaires, en particulier tuyauteries complexes, pour permettre par la suite des simulations d'interventions de maintenance ; le champ des applications envisageables apparaît en fait beaucoup plus large (en particulier du fait des distances accessibles) : nous évoquerons ici quelques applications récentes.

A) DOMAINE NUCLEAIRE

Plusieurs opérations de saisie et modélisation d'environnements nucléaires ont été réalisées sous l'égide d'EDF pour évaluer les possibilités du capteur et du logiciel sur différents types d'application: nous citerons plus particulièrement :

- CHOOZ B : relevés de deux environnements (tuyauteries complexes), respectivement 7x6x6m (avec sphères de consolidation) et 15x10x8m (sans aucun outillage annexe) ; le plus petit a été complètement modélisé (voir en fin d'article).

- BUGEY : un environnement complexe (en zone contrôlée) sur deux niveaux (30x10x15m, 2.000.000 pts) a été relevé et modélisé pour simuler l'opération projetée d'échange de deux gros échangeurs (manutention, démontages nécessaires, etc...).

- CRUAS : un environnement complexe et difficile d'accès (également en zone contrôlée) a été relevé (500.000 pts) et modélisé ; le modèle obtenu a servi de support à des tests de "réalité virtuelle" dans le cadre des recherches EDF, avec l'avantage qu'il s'agit ici d'un environnement "réel" et non imaginaire (on notera la différence entre saisie du réel et images de synthèse).

B) ECLAIRAGE PUBLIC

Plusieurs relevés ont été réalisés afin d'utiliser les modèles 3D obtenus dans des simulations d'éclairage public (réalisées avec des logiciels spécifiques) :

- PONT NEUF : relevé et modélisation de l'ensemble petite branche du Pont Neuf et Pointe du Vert Galant (150x80 m, 2.500.000 pts) pour choix entre les projets d'éclairage soumis à la Mairie de Paris.

- LOUVRE : relevé et modélisation d'un élément de façade de la Cour Napoléon pour tester les simulations sur colonnes et bas-reliefs.

- PLAISIR : relevé et modélisation de la Mairie de la ville de Plaisir.

C) GROTTES PRÉHISTORIQUES

Les possibilités de modélisation de grottes de grandes dimensions semblent très intéressantes, soit pour réaliser un modèle informatique de la grotte (visite virtuelle), soit pour préparer la réalisation d'une véritable copie destinée au public (type LASCAUX II) :

- LASCAUX : essais préliminaires visant à vérifier l'innocuité du laser utilisé sur les surfaces fragiles (lichens, peintures).

- COSQUER : relevé complet de la grotte (nov-déc 94) avec mise en œuvre du capteur par un plongeur et pilotage depuis l'extérieur (ombilical de 300m + liaison audio) : saisie de 5.000.000 de points, modélisation en cours pour visite virtuelle (voir émission Thalassa) et préparation possible de COSQUER II.

D) ARCHÉOLOGIE

Les possibilités de modélisation fine de statues et éléments architecturaux complexes ouvrent des possibilités nouvelles dans les domaines de la reconstruction (simulation de positionnement relatif ou d'accostage de différentes parties) et de la sauvegarde du patrimoine ; une expérience concluante a été réalisée :

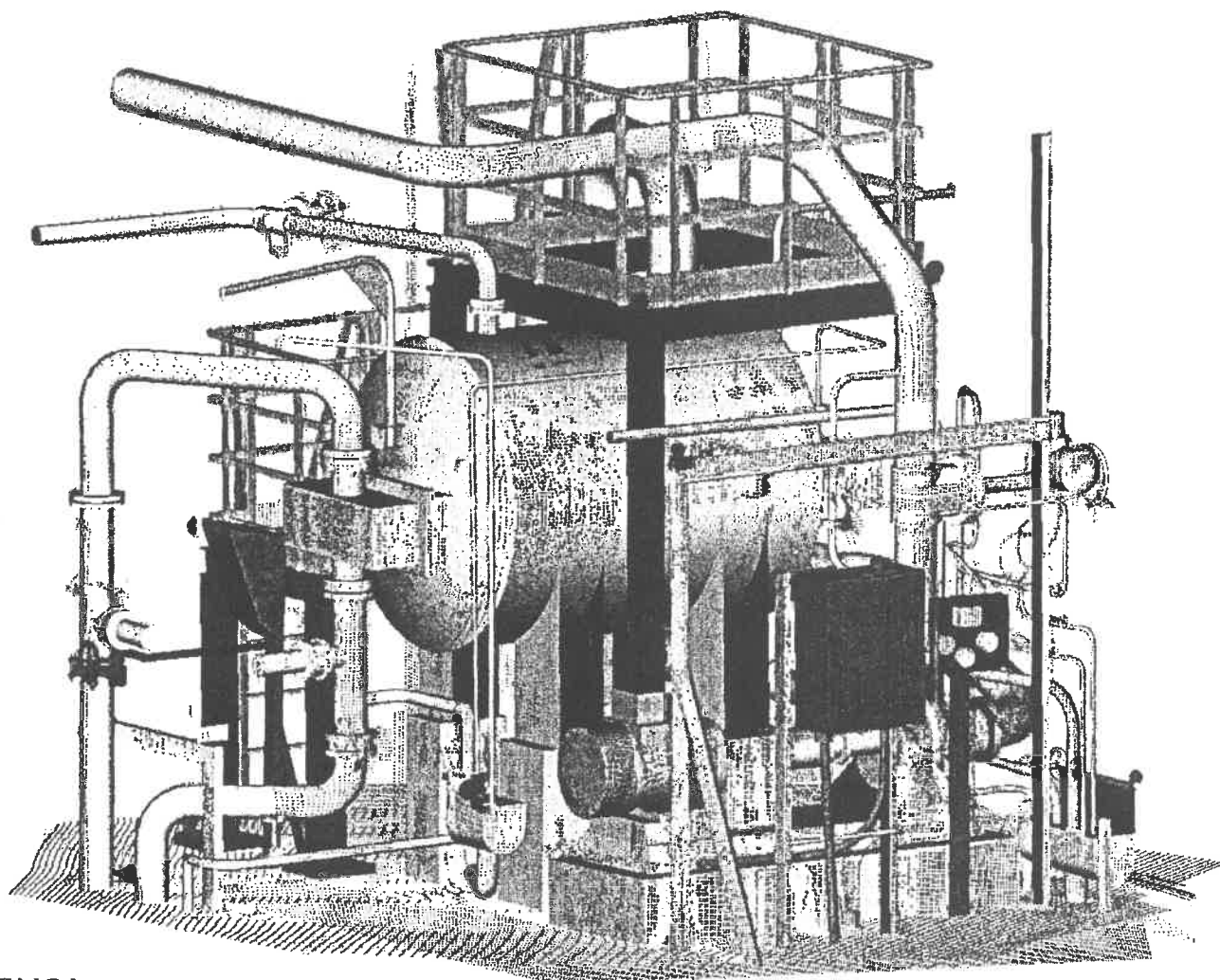
- AUGUSTE: la statue monumentale d'Auguste (en deux parties principales) qui est aujourd'hui exposée au Musée d'Arles a été relevée (1.200.000 pts) et modélisée, et les différents éléments positionnés virtuellement pour définir le socle. (illustration en début d'article).

VI. CONCLUSION

Une mise en œuvre très rigoureuse de la triangulation laser, couplée à un logiciel évolué bien adapté au traitement de gros "nuages" de points, a permis de réaliser un système de modélisation 3D complet et facile à mettre en œuvre, dont les applications potentielles s'avèrent multiples et dépassent largement le cadre EDF initialement envisagé.

Comme pour toute technique nouvelle encore en devenir, on peut s'attendre à des progrès rapides dans les années à venir, concernant ici la précision, la vitesse de saisie et la plage de distances accessibles, ceci permettant d'élargir le champ d'application des techniques 3D qui semblent promises à un bel avenir.

(Société MENSİ - Z.A. de la Fontaine du Vaisseau - 4 rue Edmond Michelet - 93360 Neuilly Plaisance - Tél. : 43 09 84 84)

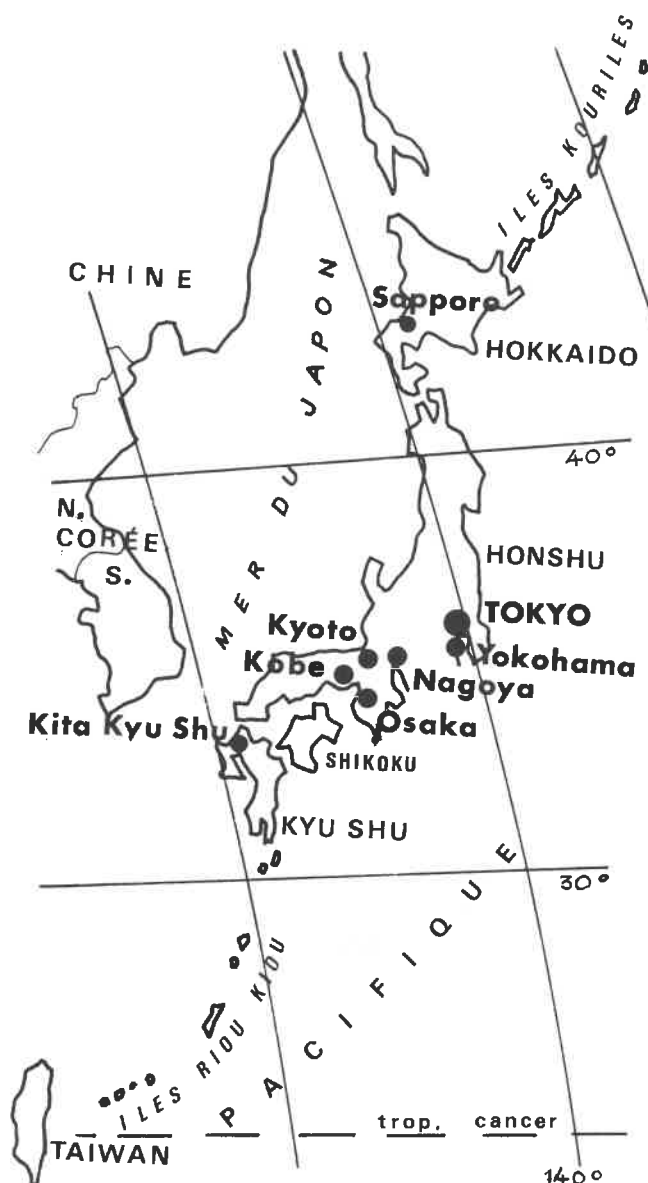


MENSİ

Concepts nippons d'aménagement

Pierre BIJOU

1ère partie



L'auteur

Ingénieur diplômé de l'Ecole Supérieure des géomètres et Topographes - Ingénieur européen (EUR - ING) - Titulaire du DEA de géographie et d'aménagement (Paris-Sorbonne). Membre du Conseil d'Administration de l'AFT.

"Il y a une grande incompréhension entre la France et le Japon. Du côté français, le Japon est méconnu, trop éloigné et une méfiance instinctive nous laisse sur la défensive. Du côté japonais, la France n'a pas vraiment l'image d'un pays technologique". C'est ainsi que J.N. Leconte résume les rapports franco-japonais dans la revue "France Japon Eco". Alors que les relations officielles entre le Japon et la France ne furent établies qu'en 1858, rares sont les résidents étrangers notamment européens dans un pays où la nationalité est difficile à acquérir.

Ce n'est pas la revue de presse française à l'usage des fonctionnaires et migrants désirant s'installer au Japon établie par les Affaires Etrangères (Coopération Scientifique, Technique et Educative) qui permet de mieux apprécier ce pays. Reprenant les phobies ambiantes de nos concitoyens, les Japonais, dont la présence est perçue comme une agression, y sont présentés le plus souvent quand ils s'aventurent en Europe.

Alors que le commerce extérieur français avec le Japon ne représente que quelques pourcents du total, les entreprises françaises se signalent par leurs investissements financiers. Les informations commerciales sont spécialement marquées par la financiarisation des rapports franco-japonais. Peu nombreux sont les articles faisant apparaître les sujets nippons dans les manifestations culturelles sous un angle un peu plus riant.

Certes, dans un Etat où l'anglais n'est que rarement parlé par les ressortissants, le barrage de la langue est une réalité. Malgré l'excellent accueil des représentants des centres de documentation japonais à Paris (Service culturel de l'Ambassade, Musée Guimet, Jetro et Clair), l'absence presque totale de textes en français rend difficile l'accès à l'information pour qui ne comprend ni le japonais ni l'anglais. De plus, la transposition de la terminologie fortement américanisée en usage à l'OCDE exige de l'attention. Par contre, les journaux nationaux aux sièges parisiens déjà proches des représentations nipponnes n'ont guère d'excuse à ne faire paraître aucune enquête réalisée sur territoire nippon, comme entre-dit de responsable de ce pays en poste en France.

Les photographies d'illustration ont été prises par Mme Sylvie GUICHARD-ANGUIS du CNRS chargée de cours à Paris Sorbonne. Elles présentent le regard sur le Japon de cette spécialiste familière de ce pays différent de ce qui peut transparaître à la lecture de l'article rédigé sur documentation par l'auteur.

UN ARCHIPEL MONTAGNEUX

Situé en hémisphère septentrional, l'archipel nippon composé de 3922 îles s'étendant sur plus de 3000 km est peuplé de 123 millions d'habitants (1991). Il se développe de l'île de Formose (Okinawa 24° N et 123° E) à celle de Sakhaline (Hokkaido : 46° N et 146° E). La partie principale qui comprend les îles de Kyushu, Shikoku, Honshu et Hokkaido se situe entre les 31 et 46èmes parallèles, positions géographiques des villes d'Agadir (Maroc) et de Rochefort (France).

Utilisation du sol - 1983 - en km²
superficie totale : 377 708 km²

zones urbaines	14 800	marécages	2 600
routes	1 200	forêts	248 200
agriculture	61 100		



Omniprésente sauf dans la plaine de Kanto, la montagne couvre 70 % du Japon. Les volcans, dont 60 sont actifs sur 800 dans le Monde, sont les sommets les plus élevés comme le FUJI culminant à 3 776 m. Cette topographie montagneuse conditionne tout l'aménagement du territoire. Le pied des massifs montagneux délimite l'urbanisation. Les villes ne peuvent s'étendre qu'en terrasses par édification de remblais et de déblais. Constituée de zones de plus en plus vides d'habitants avec un fort exode rural depuis 1950, la montagne de préférence à la mer, accueille des lieux de détente : stations touristiques et climatiques ou thermal. Les côtes maritimes sont couramment aménagées en polders.

La forêt dont les essences de peuplement varient fortement en fonction des conditions climatiques, couvre 60 % de l'espace et les terres cultivées 14,9 %. Après 1945, la réforme agricole créa 2 millions de propriétaires, le plus souvent riziculteurs, ayant en moyenne 1 ha, alors que 4 sont nécessaires pour faire vivre un agriculteur. Si l'agriculture n'est plus subventionnée, la libération des terrains cultivés en zones urbaines découlera de l'ouverture du marché agricole consécutifs aux accords du GATT. L'aspect peu attractif de la campagne japonaise n'a pas favorisé le développement du tourisme vert.

UNE SOCIÉTÉ URBAINE

Depuis 1868, la population de l'archipel a triplé. La densité de la population japonaise, avec 332 habitants/km² proche de celle des Pays-Bas à 385 hab/km², y est trois fois supérieure à celle de la France. Les Japonais, de plus en plus âgés avec 13 % de plus de 65 ans, comptent un nombre croissant de célibataires. L'urbanisation donnée en zones urbaines de plus de 50 000 habitants atteint un taux de 60 à 70 % pour le Japon (70 millions) contre 50 % pour la France (27 millions). Forte en 50 ans, elle s'est accélérée ces 40 dernières années. La population urbaine est passée de 18% en 1920 à 76% en 1975. Par voie de conséquence, sur 3 200

collectivités territoriales, 1 200 ont vu leur population diminuer.

Edo, appellation historique de la capitale, regroupait déjà un million d'âmes dès le XVIème Siècle. En 1700, l'ordre d'importance de population de capitales était Tokyo, Londres et Osaka. Celle de Tokyo est passée de 1,1 million en 1721, à 3,7 en 1920 et déjà 6,6 en 1939, pour atteindre 11,7 millions en 1991 avec une densité de 14 000 âmes/km². Actuellement, la région de Tokyo (Département de Kanto) avec 38 millions d'habitants représente 30 % de la population du Japon contre 18 % à l'Île-de-France dans notre pays.

Les villes, où le paysage urbain évolue très vite, ont tendance à augmenter en hauteur. Réglementairement, la hauteur maximale des immeubles de Tokyo a été limitée à 60 m, ce qui les ferait entrer en France dans la législation sur les IGH. Les citoyens nippons sont consommateurs d'architecture, qui aura été influencée par le Bauhaus et Le Corbusier. La durée de vie d'une construction est de 30 ans alors que la destruction de constructions récentes en France reste un phénomène lié à la rénovation des banlieues datant des années 60. Richard Bliach, architecte installé depuis 13 ans à Tokyo, parle d'architecture festive et d'architecture de poteau, dans un pays où les locaux d'entreprise sont dépourvus de cloisons. La course à l'innovation, qui entraîne une remise en cause permanente, ne garantit aucun succès durable au concepteur.

Aucune opposition n'existe entre territoire utilisable et utilisé ni entre foncier et population. Les marinas sont acceptées. Le littoral n'a pas encore fait l'objet d'équipement lourd, spécificité explicable par la brièveté des séjours (2 jours au maximum dans un pays où les salariés n'ont droit qu'à une semaine de congé par an) pendant la période usuelle de bain (1er juillet au 15 août) et l'absence culturelle de dimension ludique de l'enfance. La législation de 1987 organisant la protection du littoral a concordé avec l'effondrement de la bulle financière. L'aménagement touristique initialement axé sur le luxe a été réorienté vers un équipement plus léger plus adapté aux besoins des vacanciers.

Le Japonais est devenu fondamentalement un citadin. Contrairement aux Français, il n'est pas attiré par l'espace non urbain où il redoute les conséquences des conditions climatiques. Maintenant, c'est un droit au paysage reçu comme support d'émotion qui apparaît avec la revendication d'un milieu protégé toujours sous la menace d'un projet d'aménagement. Des parcs naturels ont été créés. Un premier type (les parcs nationaux de France) regroupe ceux (28) qui ont été désignés par le directeur de l'agence de l'environnement. Les parcs de 2ème type (54) ont été créés sur proposition des départements. Ceux du 3ème type (300 - l'équivalent des parcs régionaux français) ont été délimités et désignés par le département.

LE CITOYEN ET L'ADMINISTRATION LOCALE

L'Etat est divisé en 8 provinces, circonscriptions administratives n'ayant pas été érigées en Collectivités Locales, 47 départements dont 4 à statut spécial, et

3 245 communes dont 11 villes désignées par décret. Le système actuel est issu des réformes de 1871 (An 4 de Meiji) où furent abolis les fiefs et créés les Départements et celle de 1880 relative aux Communes. Ces réformes furent contemporaines de leurs homologues françaises. La Commune est le fondement de la démocratie locale. L'intercommunalité est réalisée au niveau du Département. Indépendamment, des syndicats intercommunaux peuvent être créés pour la gestion de services publics communs.

Nagoaka



Le système territorial regroupe des entités de tailles très différentes. La population des communes varie de 300 à 3 000 000 habitants (800 000 à 3 000 000 pour les Villes désignées) Pour 1,5 à 1 400 km² et celle des départements de 200 à 80 000 km² pour 600 000 à 3 000 000 d'habitants. Les tailles moyennes sont nettement plus élevées qu'en France.

ETAT NATIONAL	FRANCE	JAPON
Département	100 dépts	47 dépts
Surface moyenne	5 490	8 038
Popul. moyenne	581 000	2 617 000
Commune	36 763	3 245
Surface moyenne	15	116
Population moyenne	1 580	37 905

La notion française de représentant d'Etat : Préfet et Sous-préfet n'existe pas. Il convient de faire bien attention à la terminologie transposée qui peut prêter à confusion. Les termes de Préfet et Préfecture remplacent parfois Gouverneur et Département. Etat fortement centralisé avant 1946, son organisation administrative a fortement évolué à cette date par adoption après-guerre d'une décentralisation reproduisant le modèle américain. La loi d'autonomie locale a fait entrer le Japon dans l'Ere de la Province (chiho no jida). Depuis cette date, par adaptation du système présidentiel américain, l'exécutif local, Maire ou Gouverneur de Département, est élu au suffrage universel direct pour 4 ans.

La loi sur l'autonomie locale a attribué des compétences générales aux collectivités territoriales : ordre public, sécurité, santé, bien être des habitants et des touristes ainsi que gestion de l'aménagement des terrains, conservation des sites historiques et culturels, construction et règlement d'urbanisme, politique urbaine. Les 11 cités désignées disposent de pouvoirs similaires aux Départements en matière d'urbanisme, d'ajustement de terrains, de fixation de normes de constructions et d'autres domaines. Néanmoins, le foi-

sonnement de lois répartissant des compétences nouvelles aux Collectivités Territoriales, complique pour le lecteur la différenciation des compétences propres de l'exécutif local et compétence déconcentrée de l'Etat. Le Gouverneur élu au suffrage direct, bénéficie de certains pouvoirs déconcentrés du Gouvernement.

L'autonomie locale est surtout apparente encore plus que formelle. Elle est fortement encadrée par les règles comptables. Les recettes fiscales dont le taux est fixé par le Gouvernement représentent 42 % les dotations d'Etat pourtant bien réparties selon les habitants (16%) et les emprunts doivent être autorisés par l'Etat. La réduction des ressources propres, remplacées par des subventions de l'Etat limite les capacités d'action des Collectivités Territoriales. Le recours habituel au détachement, camouflé en "démission", de fonctionnaires du Ministère de l'Intérieur auprès des collectivités locales et le fait que nombre d'Elus Territoriaux sont issus de cette administration renforce le contrôle de l'Autorité centrale.

PLANIFICATION FACE AU DÉVELOPPEMENT URBAIN

Dès 1888, une ordonnance sur le réaménagement de la ville de Tokyo fut publiée. Elle introduisit la planification urbaine et une action sur les réseaux. La loi sur l'urbanisme et les constructions urbaines de 1919 fut appliquée aux 6 plus grandes villes. Récemment, les pouvoirs publics ont cherché à orienter le développement urbain vers les villes nouvelles.

La loi sur l'urbanisme, promulguée en 1968 presque à la même date que la LOF française, avait pour objectifs : le développement équilibré du pays, l'utilisation rationnelle du sol, l'établissement d'une vie urbaine saine et culturelle, le développement du bien-être public. Ce texte fonde également les pouvoirs des autorités départementales et communales en matière d'élaboration de plan d'urbanisme et institue des procédures de participation du public aux prises de décision (notre enquête publique). Contrairement à notre tradition jacobine, les Départements ont autorité sur les Communes en matière de planification. Alors que les projets d'intérêt général (PIG), les servitudes d'utilité publique (SUP) et règles nationales d'urbanisme sont apparus en France, le contrôle direct de l'Etat subsiste au Japon.

Les plans d'urbanisme sont hiérarchisés : commune, puis zone métropolitaine, plan départemental et plan national. Par comparaison avec la France, sauf adoption des nouvelles dispositions d'aménagement proposées récemment, seules les régions d'Ile-de-France et de Corse ont un schéma directeur qui n'a pas d'équivalent national. Les plans nationaux français ne concernent que les infrastructures de transports : fer, route et aéro-dromes.

Les plans départementaux d'occupation des sols, font figurer au 1/50 000, la zone urbaine, la zone agricole, la zone forestière, les zones de parcs naturels et les zones de protection de la nature. Ces plans sont chapeautés par le plan national d'occupation des sols de l'Agence Nationale d'Aménagement du Territoire et ceux réalisés en application de la loi sur l'urbanisme.



Kobe

L'unité territoriale est la zone d'urbanisme, équivalent français du groupement d'urbanisme selon l'ancienne procédure étatique du plan d'occupation des sols (POS). La zone n'est pas nécessairement mono-communale et ne coïncide pas obligatoirement avec les limites administratives. La délimitation des zones d'urbanisme est faite par le Gouverneur après consultation des Communes et approbation du Ministre de la Construction. Tous les 5 ans, l'Elu départemental est tenu d'examiner l'état et l'évolution des zones d'urbanisme dont il approuve les plans sur proposition des Communes.

Constitue une zone d'urbanisme, toute zone construite ayant une population de plus de 10 000 habitants, ou à environnement industriel, ainsi que les terrains réservés à l'extension métropolitaine. Les zones d'urbanisme sont subdivisées en zones de développement d'urbanisme (ZDU) et en zones d'urbanisation réglementée (ZUR) où l'urbanisation sera freinée. Après approbation du Ministre de la Construction et négociation avec le Ministre de l'Agriculture, ZDU et ZUR sont notifiées par le Gouverneur. Dès 1984, 349 zones d'urbanisme avaient été créées sur 874 communes représentant 3/4 de la population japonaise. Sur 324 communes y avaient été délimitées pour 1/4 de ZUR et 3/4 de ZDU.

Sont incluses en ZDU, les Villes existantes de plus de 50 000 habitants et d'une densité supérieure à 40 habitants par ha, ainsi que les zones à développer dans les 10 ans. Sont exclus les espaces à catastrophe naturelle prévisible, les très bonnes terres agricoles et les paysages naturels exceptionnels.

Dans les ZDU, le plan d'urbanisme affecte par zone le sol, selon 8 catégories principales d'utilisation du sol définies par la loi. Le zonage est réalisé par les Communes, sauf cas de grandes villes à statut spécial, où le Gouverneur est compétent. A chaque zone correspond un règlement, portant sur : la desserte des bâtiments, le coefficient d'emprise au sol, la hauteur maximale des constructions. Contrairement au POS français, le règlement ne s'intéresse ni à l'aspect extérieur des constructions ni au traitement des abords et au stationnement.

L'agriculture a été encouragée par la loi sur l'amélioration des zones de développement agricole. Dans ces secteurs, des zones d'exploitation agricole ont été créées où l'affectation à un autre usage est limité, mais avec dérogation légale possible. Malheureusement, le taux de transfert constaté de l'agriculture à l'habitat est important. Comme les ZDU et ZUR sont insuffisamment différenciées, le développement urbain n'est pas stabilisé.

PROMOTEUR ET UTILISATION DU SOL

Le contrôle de l'utilisation du sol passe par un permis d'aménagement d'un terrain et non de construire un bâtiment accordé à un pétitionnaire promoteur. Ce permis comporte dispositions d'urbanisme et de construction, ce qui n'est plus le cas normal en France.

L'approbation d'un permis d'aménager doit servir la réalisation d'un certain nombre d'objectifs : prévenir la formation d'un environnement urbain indésirable, respecter les normes de qualité, éviter le développement urbain en tache d'huile. Donné par le Gouverneur en conformité avec les plans d'urbanisme, le permis est obligatoire, excepté en ZDU pour tout projet portant sur une surface inférieure à 1 000 m², sauf abaissement arrêté départemental, si la zone d'urbanisme n'est pas divisée en ZDU et ZUR pour des projets portant sur une surface inférieure à 3 000 m², en ZDU, pour les constructions à destination agricole, sylvicole, de pêche et logements y associés, pour les constructions destinées à la mise en place d'équipements publics.

Un permis en ZUR peut être accordé si 2 conditions sont respectées, mais de nombreuses dérogations et sans contrôle sont accordées. Il peut être également accordé au promoteur présentant une demande de permis à grande échelle (20 ha réductibles par arrêté du Gouverneur), s'il fournit l'infrastructure.

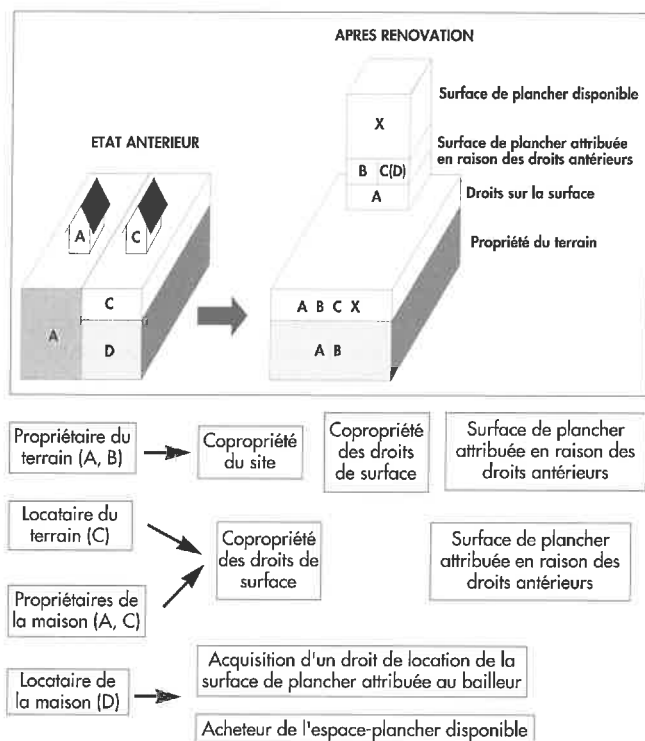
REMEMBREMENT TECHNIQUE GÉNÉRALE D'AMÉNAGEMENT

Au Japon, la notion d'aménagement global est difficile à mettre en œuvre sans maîtrise foncière. La propriété du sol est marquée par son morcellement extrême. L'architecture individuelle prime sur l'aménagement d'ensemble.

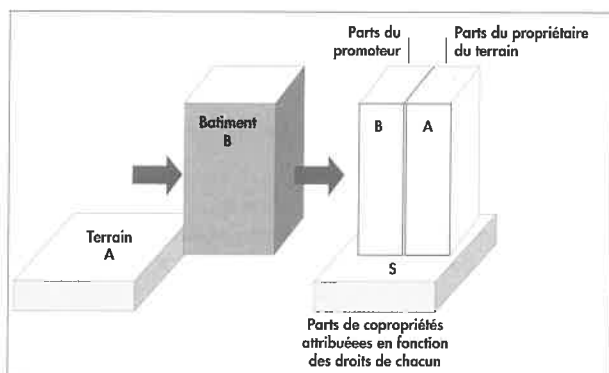
La complexité de la réglementation sur l'aménagement urbain est marquée par l'accumulation des textes : loi relative aux normes de construction, au rajustement des terrains viabilisés et à l'amélioration des zones résidentielles.

Le remembrement urbain constitue la principale procédure d'aménagement. En 1923, après le tremblement de terre, il fut appliqué à Kanto. Cette technique d'origine allemande adaptée par les japonais primitivement conçue pour le remembrement des terres arables subsiste encore actuellement en RFA tant sous forme de remembrement urbain (Umlegung) qu'en redressement de limites (Grenzregelung). La loi nippone de 1954 l'a transposé au réajustement des terrains viabilisés. Une prolifération sous forme de lotissements géométriques des zones pavillonnaires très peu différenciées a été la conséquence des regroupements systématiques opérés.

Depuis 1969 le réaménagement urbain a introduit la participation des propriétaires, une utilisation plus intensive du sol et un système de conversion des titres. Chaque propriétaire ou détenteur d'un titre de propriété sur le terrain se voit attribué, après démolition de l'ancien bâtiment et reconstruction, une part de plancher proportionnelle à son apport. Ainsi, l'habitant peut théoriquement rester dans son quartier. L'échange équi-



valent des titres peut se pratiquer entre propriétaire et promoteur. Le droit d'expropriation est applicable depuis 1968. L'accord des propriétaires est obligatoire pour les opérations urbaines, où la majorité des 2/3 requise a été abaissée à 51 %.



$$\text{Part du propriétaire} = \frac{A}{A+B} \times S$$

$$\text{Part du promoteur} = S \times \frac{B}{A+B}$$

A : Prix total du terrain

B : Coût total de la construction

C : Surface de plancher totale du grand immeuble

L'initiative du remembrement urbain est publique ou privée. Il est réalisé pour moitié par des associations de réajustement de terrains viabilisés, équivalent de l'association foncière urbaine (AFU) française, et pour l'autre moitié par les Communes, les Départements et les sociétés publiques. Le secteur public s'intéresse aux zones construites denses.

Le système dit de réajustement des terrains viabilisés a été appliqué à 5 700 ha/an en 1984 où 1/3 des ter-

rains situés en ZDU étaient concernés. La surface la plus efficace semble être 35 ha. Les surfaces traitées varient d'une moyenne de 150 ha pour une opération publique au cours d'une procédure de 9 ans, à 20 ha pour une opération privée sur 5 ans. La Société pour l'Aménagement Urbain et le Logement a réalisé une opération de 1 300 ha à Yokohama. Des remboursements de cette importance portent sur des zones périphériques. La longueur des procédures, défaut de cette technique, décourage : 18 400 ha remembrés et équipés restaient inutilisés en 1984.

Les projets de remembrement bénéficient de subventions portant sur l'élaboration, la mise en œuvre du projet, notamment le déplacement de bâtiments existants. Les subventions peuvent servir à l'achat du nouveau logement et proviennent parfois du budget des routes.

Foncièrement imprégné d'individualisme et de dynamique de changement, le Japon n'a pas de politique d'aménagement forte comme en France.

(A suivre)

Sélection d'articles techniques publiés par l'auteur

- *Aspects de la commande de produits topographiques par l'Administration* - Revue "ESGT" n° 113 - Juin 1989 - Pages 25 à 31
- *Plans d'occupation des sols et alignement* - Etudes foncières - n° 47 - Juin 1990 - Pages 8 à 13 - (cf Code de l'Urbanisme - Dalloz - Bibliographie sous article R 123-32-1)
- *Contraintes urbanistiques aux abords des aéroports* - Revue "XYZ" n° 45 - 1990 - Pages 37 à 48
- *Aspects réglementaires de l'imbrication de l'artisanat à l'urbanisme* - "GEOTOP" n° 123 - Décembre 1991 - Pages 5 à 10
- *Spécifications techniques des équipements des aéroports* - Revue "GEOTOP" n° 126 - Octobre 1992 - Pages 19 à 23
- *Limitations administratives des droits fonciers = aspects constitutionnels* = "L'actualité juridique = propriété immobilière" - n° 1993/6 du 10 juin 1993 - Pages 422 à 424
- *La géodésie au service de l'exploitation des aéroports* - Revue "XYZ" n° 56 - 3ème trimestre 1993 - Pages 17 à 21

Matérialisation dans Paris du tracé du Méridien de l'Observatoire en **HOMMAGE à François ARAGO** **(1786 - 1853)**

Par Bernard TAILLEZ et Robert VINCENT

Dominique-François ARAGO est né en 1786, à Estagel en Roussillon, petit village situé à proximité du méridien de Paris !... Il eut 5 frères :

- Jean (1788-1836), Général au Mexique,
- Jacques (1790-1854), Littérateur et voyageur célèbre,
- Victor (1792-1867), Officier d'artillerie,
- Joseph (1796-1860), Officier au service du Mexique,
- Étienne (1802-1892) [12] Journaliste, écrivain qui eut un rôle politique important en 1848, proscrit de 1849 à 1859, créateur du timbre-poste, Maire de Paris de Septembre à Novembre 1870, avant la Commune de Paris.

Il eut également une sœur aînée, Rose (1782-1832) et une cadette, Marguerite (1798-1859).

Son père, François-Bonaventure ARAGO, était le maire de cette petite commune depuis 3 ans, quand MÉCHAIN s'y installa en 1792 pour ses travaux de mesure de l'arc de méridien. Estagel est en effet près du dernier sommet de la chaîne méridienne avant le Canigou. Le jeune François n'avait alors que 6 ans. En admirant les instruments et observant les méthodes, a-t-il alors goûté à la potion magique, géodésique, astronomique, ... ?

PREMIER HOMMAGE DE PARIS À ARAGO

Un siècle plus tard, en 1893, en bordure du nouveau boulevard qui venait d'être percé dans le 14^{ème} arrondissement de Paris et qui avait reçu dès 1864 le nom de François ARAGO, une statue à sa mémoire fut édifée par souscription nationale sur le trottoir Sud, élargi à cet endroit par une petite place triangulaire, à l'angle de la rue du Faubourg Saint-Jacques.

On pourrait seulement voir là une volonté des édiles du siècle dernier de rappeler le rôle politique d'Arago qui fut député et ministre. Mais lorsqu'on remarque que les quatre faces du socle en pierres furent orientées suivant les quatre points cardinaux et que son axe fut implanté très exactement sur le méridien, juste en face du portail Sud des jardins de l'Observatoire de Paris, il apparaît qu'il s'agissait d'honorer au moins autant le savant, le physicien, l'astronome et le géodésien, en associant le méridien à son souvenir.

Malheureusement, cette statue fut fondue en 1942, pendant la Seconde Guerre mondiale et il n'en reste aujourd'hui que le socle nu de 5 mètres de hauteur.

Ce qui ne manque pas de saveur, c'est que la place qui avait accueilli la statue, reçut en 1981, le nom de



"Place de l'île de Sein". La petite île de Sein avait été décorée de la Croix de la Libération le 1^{er} Janvier 1946 pour commémorer le comportement exemplaire de ses cent trente-trois hommes âgés de 14 à 51 ans, constituant toute sa population mâle. Pour répondre à l' "Appel du 18 Juin", ils quittèrent en effet leur île entre le 23 et le 26

Juin 1940, pour rejoindre la France Libre. En les accueillant à Londres, le Général de Gaulle, qui n'avait réuni alors que 400 combattants autour de lui, put leur dire : "J'ai devant moi le quart de la France !".

Quand on sait le patriotisme sourcilieux d'ARAGO, on peut espérer que la dénomination de cette place a calmé ses mânes, après l'affront de la destruction de sa statue pendant l'occupation allemande.

Deux exemples tirés des compléments à l' "Histoire de ma jeunesse" [1] de François ARAGO lui-même, nous donneront une idée de sa sensibilité patriotique :

À la chute de l'Empire, il fut douloureusement affecté par l'invasion de la France et s'enferma dans l'Observatoire. Son ami, Monsieur de HUMBOLDT, fit de vains efforts pour qu'il acceptât d'être présenté au Roi de Prusse. Un soir, une chaise de poste déposa cet ami accompagné d'un voyageur en casquette, afin de saluer le savant avant son départ pour Berlin. ARAGO fit asseoir le voyageur sur une banquette, s'entretint affectueusement avec M. de HUMBOLDT pendant une heure, puis se sépara de ses deux visiteurs. Aussitôt après leur départ, il se mit à rire : "Cet excellent ami, dit-il, croit sans doute que je n'ai pas reconnu le Roi de Prusse !".

La deuxième anecdote est rapportée par M. QUETELLET, de Bruxelles, qui avait accompagné ARAGO à Londres où des amis anglais leur avaient proposé la visite du pont de Waterloo estimé, par eux, un chef d'œuvre du génie anglais. ARAGO refusa obstinément l'invitation en raison de l'évocation du nom de ce pont. Il lui fut alors proposé une descente de la Tamise, ce qui

amena le savant français sous le pont qu'il ne voulait pas voir. "Que dites-vous de notre pont ?" lui demandèrent les Anglais. "Votre pont a une arche de trop ; tout au moins cette arche, pour être à sa place, devrait être reportée à Berlin !" répondit ARAGO, faisant allusion au rôle déterminant de Blücher à Waterloo.

HOMMAGE MODERNE À FRANÇOIS ARAGO

En 1986, Simone DUMONT, rédactrice en chef de la revue "Astronomie", s'émeut de l'absence à Paris de toute trace d'hommage public à ARAGO, hormis toutefois son nom donné à un boulevard.

Une association est fondée pour l'érection d'un monument à cet effet, par M. J.-C. PECKER, Membre de l'Académie des Sciences, et Mme Solange GRILLOT, astronome. Cette association regroupe des représentants de l'Académie des Sciences, de l'École Polytechnique, de l'Observatoire de Paris, du Bureau des Longitudes, du C.N.R.S. et de son Institut d'Astrophysique. Elle sollicite l'appui du Ministère de la Culture et de la Ville de Paris qui organisent alors un concours.

Le projet du Néerlandais JAN DIBBETS est retenu. L'artiste prévoit, au lieu d'ériger une nouvelle statue, d'apposer au sol des médaillons en bronze portant le nom d'ARAGO, sur tout le tracé fictif du Méridien dans sa traversée de Paris, entre les boulevards périphériques Nord et Sud.

ARAGO n'est pourtant pas à l'origine du Méridien de Paris.

LE MÉRIDIEEN DE PARIS

Il est utile de rapporter chronologiquement l'évolution des choix relatifs au méridien origine ou premier méridien [2].

PTOLÉMÉE avait adopté un méridien origine situé à l'Ouest des Colonnes d'Hercule, à 60° de celui d'Alexandrie.

Le 1er Juillet 1634, LOUIS XIII prit une ordonnance faisant obligation d'utiliser le méridien de l'Île de Fer, la plus occidentale des îles de l'Archipel des Canaries.

En vue d'établir un observatoire [3], COLBERT, au nom du roi, acheta le 7 juin 1667, un terrain situé au Sud du Paris d'alors, sur la ligne de crête entre la montagne Sainte-Geneviève et Montsouris, au lieu-dit "Le Grand Regard".



La matérialisation sur le sol du Méridien dans le jardin de l'observatoire

Ce nom, que l'on pourrait croire prédestiné pour accueillir un observatoire, rappelle, en fait, le rôle d'un grand bâtiment, toujours existant, regard et réservoir de l'aqueduc

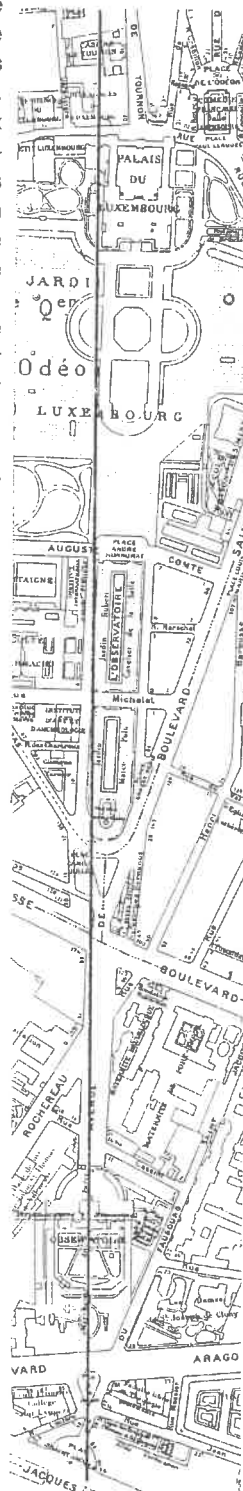
d'Arcueil qui amenait les eaux au Palais et aux jardins de Marie de Médicis, le Luxembourg actuel.

L'architecte Claude PERRAULT fut chargé de construire l'Observatoire. L'orientation Nord-Sud de l'axe de symétrie de l'édifice fut réalisée le 21 Juin 1667, jour du solstice d'été, par les astronomes de l'Académie des Sciences. Les observations furent faites par LE MARDY, en présence de AUZOUT, FRENICLE, PICARD, BUOT et RICHER, à l'aide du sextant de l'Académie et de celui apporté par PICARD. Cette opération, élevée au rang de cérémonie, a été commémorée par la frappe d'une médaille. La méridienne passant par l'axe de symétrie Nord-Sud du bâtiment, devint "Le Méridien de l'Observatoire". L'architecte Claude PERRAULT parle d'une ligne méridienne de 17 toises (33 m environ) dans l'étage. Effectivement, il existe deux lignes méridiennes à l'Observatoire, une ligne métallique très courte sur le seuil donnant sur la terrasse Sud, et une grande méridienne dans le sol de la salle de l'étage qui a reçu ce nom. Cette méridienne fut construite par Jacques CASSINI (II) pour remplacer celle construite par son père Jean-Dominique, en 1680.

Nous verrons qu'un pilier géodésique a été construit ultérieurement sur la terrasse de l'Observatoire.

L'urbanisation de la ville eut tôt fait de rattraper et de dépasser l'Observatoire. Toutefois, elle nous a laissé la splendide avenue de l'Observatoire, créée en 1795 par un décret de la Convention. Beaucoup de Parisiens pensent que cette avenue est tracée sur le méridien. En fait, son axe rejoint le centre de la porte Nord du bâtiment de l'Observatoire et le centre du portail Sud du Palais du Luxembourg et, par une curiosité topographique, cette ligne est presque Sud-Nord. Son azimut est d'un peu moins de 3 grades, comme les promeneurs peuvent maintenant s'en rendre compte en recherchant les nouveaux médaillons Arago de Jan Dibbets !

Ci-contre : Le Méridien entre le socle de la statue d'Arago sur la place de l'Île de Sein, l'Observatoire, l'avenue de l'Observatoire, le jardin et le Palais du Luxembourg. (Extrait du Plan de la Ville de Paris à 1/5 000, réduit à 1/10 000)



L'abbé Jean PICARD entreprit, de 1668 à 1671, la mesure d'un arc de méridien par triangulation entre Sourdon près d'Amiens, et Malvoisine près de La Ferté-Alais, mais sans utiliser de sommet principal près de Paris. La "ligne méridienne" qui figure sur la "seconde planche" hors texte de sa "Mesure de la Terre" [4] [5], est celle de Sourdon (sommet Nord de sa chaîne de triangles). Pendant ces années-là, l'Observatoire de Paris était en construction. PICARD tint à "ajouter à tous ces calculs la juste position des tours de Notre-Dame de Paris et de l'Observatoire". C'est ainsi que les sommets secondaires sont créés : P (Montmartre), S (Notre-Dame de Paris) et Z (Observatoire). Le 14 Août 1675, PICARD fit planter un gros pilier de bois à Montmartre, donnant le "Vrai Nord" aux astronomes de l'Observatoire.

Ce pilier devait donner naissance à la "Mire du Nord", située aujourd'hui tout près du Moulin de la Galette, dans les jardins d'un immeuble de l'avenue Junot. Au sud, une "mire de l'Observatoire" portant la date de 1806, existe au Parc de Montsouris, près du boulevard Jourdan, mais elle n'est pas tout à fait située sur le méridien, puisqu'à 35 mètres à l'Est.

Si le Méridien de l'Observatoire remonte à la construction de l'édifice, on peut dire que le Méridien de Paris, qui en est le prolongement jusqu'au pilier de Montmartre, a été matérialisé aussitôt par l'abbé PICARD.

Dès lors, on put voir apparaître l'une ou l'autre de ces dénominations sur un document cartographique. Le premier en date fut la "CARTE DE FRANCE Corrigée par ordre du Roy, sur les Observations de Mrs de l'Académie des Sciences". Sur cette carte, figurent la ligne et la mention : "Méridien de Paris". Elle était due essentiellement aux travaux sur les côtes de France de PICARD et LA HIRE, en liaison avec J-D. CASSINI à l'Observatoire de Paris, de 1679 à 1682. Elle fut présentée par LA HIRE à l'Académie des Sciences en 1682 et éditée plus tardivement en 1693. Mais cette carte est célèbre pour une autre raison : Son dessin était superposé à la Carte de Sanson, regardée jusqu'alors comme la plus exacte. Le repli vers l'intérieur des terres du tracé "corrigé" des côtes, était tel que Louis XIV qui avait accordé le financement des travaux, en plaisanta, trouvant bien ingrats MM. de l'Académie qui lui enlevaient ainsi une partie de ses États [5] (chapitre XVIII).

LES PLANS DE PARIS

Plusieurs plans de Paris furent exécutés par divers auteurs : JOUVIN de ROCHEFORT (1672), BULLET et BLONDEL (1676), Nicolas DEFER (1696), Guillaume de l'ISLE (1716), Jean DELAGRIVE (1728), ROUSSEL (1731), Louis de BRETEZ auteur du plan dit de TURGOT (1734-1739), Robert de VAUGONDY (1760), DEHARMES (1763), JAILLOT (1775). La plupart de ces plans ont été orientés au Nord mais, d'après Mme Jeanne PRONTEAU [6], le tracé du méridien sur les plans est tardif et apparaît la première fois sur le "Nouveau plan de Paris et de ses faubourgs, dressé sur la Méridienne de l'Observatoire..." par M. l'abbé DELAGRIVE", en 1728. ROUSSEL, en 1731, trace la ligne et la dénomme "ligne du Méridien", de même que Jean de la GRIVE (sic) sur

son plan des Environs de Paris... de 1740 où l'on voit le "Pilier Méridien" de Montmartre.

Edme VERNIQUET (1728-1804) [6], commissaire général de la voirie, leva des plans de rues pour son propre compte, dès 1775. Le roi LOUIS XVI prit une ordonnance le 10 Avril 1783, prescrivant l'exécution d'un nouveau plan de Paris. L'article 3 imposait le levé des plans... avec le tracé de la Méridienne de Paris. VERNIQUET fit une soumission en Octobre 1785 et se vit confier les travaux. Sa première préoccupation fut donc de tracer cette ligne et sa perpendiculaire. C'est ce qui apparaît sur le plan de l'Observatoire Royal, par VERNIQUET, figurant la "Méridienne de Paris" et la "Perpendiculaire sur la Méridienne". L'intersection des deux lignes est appelée "Point de départ des méridiennes et perpendiculaires de la France". On assiste là à une intention d'extension de fonction de la méridienne qui se veut d'abord celle de l'Observatoire, puis de Paris et enfin de la France. Sur ce plan, on peut voir également le point de station situé sur le bâtiment, à 15 toises 5 pieds au Nord de l'intersection précédente. Edme VERNIQUET fut contemporain de la jeunesse d'ARAGO.

ARAGO ET LA MESURE D'ARC DE MÉRIDIE

La chaîne de triangles de PICARD, reliée à l'Observatoire de Paris, fut reprise et prolongée, à partir de 1683 vers le Nord par LA HIRE, un de ces disciples, et vers le Sud par J-D. CASSINI (I) puis par Jacques CASSINI (II) jusqu'en 1718. Le Méridien origine de PARIS traversa alors toute la France de Dunkerque au mont Canigou [5].

Une révision de cette chaîne méridienne fut réalisée de 1739 à 1740 par César-François CASSINI de THURY, dit aussi CASSINI III, et l'abbé Nicolas-Louis de LA CAILLE.

Par décret de 1791, la Constituante demanda à l'Académie des Sciences de faire mesurer un arc de Méridien entre Dunkerque et Barcelone. C'est DELAMBRE, du Nord jusqu'à Rodez, et MÉCHAIN pour le Sud, qui en furent chargés entre 1792 et 1798. C'est alors que le Bureau des Longitudes décida en 1804, la prolongation de l'arc par la liaison des Baléares, afin de mieux centrer l'arc de méridien mesuré, à égale distance du pôle et de l'Équateur. Cette opération avait été confiée à MÉCHAIN. Malheureusement, il décéda cette année-là.

François ARAGO était entré à l'École Polytechnique en 1803, à l'âge de 17 ans ; à la sortie de l'École, il devint secrétaire au Bureau des Longitudes. Il fut alors chargé avec BIOT de poursuivre le travail de MÉCHAIN, en reliant aux Baléares les triangles de la méridienne de France déjà observés. Les observations furent exécutées à partir de 1806 mais, à la suite de tribulations inouïes relatées par ARAGO lui-même dans l'"Histoire de ma jeunesse" [1], elles ne furent remises au Bureau des Longitudes qu'en 1809 [7], année où il fut admis à l'Académie des Sciences à l'âge de 23 ans. Il fut ensuite nommé par NAPOLÉON, sur proposition de MONGE, professeur d'analyse géométrique et de géodésie à l'École Polytechnique, puis dirigea l'Observatoire de

Paris où il donna des cours célèbres. Il fut aussi un physicien éminent qui collabora avec Augustin FRESNEL, Léon FOUCAULT, Jacques DAGUERRE et André-Marie AMPERE.

Un autre aspect de sa forte personnalité fut son rôle d'homme public. Il siégea comme député des Pyrénées-Orientales de 1830 à 1848 et fut ministre de la guerre et de la marine en 1848. En tant que tel, il signa l'abolition, préparée par son ami Victor Schœlcher, de l'esclavage dans les colonies. Elu député à l'Assemblée législative en Mai 1849, il quitta la vie politique après le coup d'état du 2 Décembre 1851, mais conserva ses fonctions et fut même dispensé du serment à Napoléon III.

Voici, en résumé, l'activité de François ARAGO. Aussi, prendre le prétexte du Méridien de Paris pour l'honorer, paraît un peu excessif, et cet homme remarquable et intègre eut probablement refusé cette forme d'honneur. Cependant, essayer de mettre en valeur le Méridien de Paris est une action positive à la mémoire des scientifiques français qui l'ont créé.

TOPOMÉTRIE DE LA VILLE DE PARIS

Les Services Techniques de la Documentation Foncière, qui gèrent le Plan de Paris, sont chargés de l'exécution des travaux, de l'établissement et de la conservation les documents topographiques ou cartographiques actuels ou passés, concernant la Ville de Paris [8]. Il est intéressant d'en faire sommairement l'historique pour essayer de comprendre la façon dont a été réalisé le positionnement des médaillons ARAGO de Jan Dibbets.

Un système de coordonnées cartésiennes fut envisagé en topométrie urbaine pour la première fois en 1767, par le sieur RITTMANN, Ingénieur Géographe du Roy. RITTMANN fut chargé d'établir le plan des fiefs du parloir aux Bourgeois appartenant à la Ville de Paris. Il réalisa le plan à l'échelle du 1/1330, en utilisant pour axes de coordonnées le méridien de Paris et sa perpendiculaire; ce qui lui permit de tracer sur le plan (visible aux Archives Nationales) un quadrillage "formant des carreaux de cent toises quarrées, par lesquels on aperçoit d'un seul coup d'œil l'emplacement de chaque objet et sa distance au vrai méridien de Paris".

Cette idée fut à nouveau reprise à la fin du 19ème siècle. En 1883, l'assemblée des géomètres de France préconisa la réfection totale du Cadastre, en utilisant le système des coordonnées cartésiennes.

Cette réforme prévoyait la création du grand livre foncier dans lequel chaque immeuble serait désigné par les coordonnées de ses sommets.

Au cours du Congrès de la Fédération Internationale des Géomètres tenu à Rome en 1938, les géomètres français déploraient, faute de repères planimétriques identiques aux repères de nivellement (dans les villes), de ne pouvoir donner suite à la circulaire du Ministre de la Justice du 19 Septembre 1934, selon laquelle tous les plans devaient être rattachés à des éléments stables du terrain. Il leur fallait ce dont dispose aujourd'hui la Ville de Paris : les "repères-coordonnés" sur lesquels nous reviendrons.

Avant de parvenir à ce stade, des travaux de triangulation furent nécessaires. Ils s'appuyèrent sur la Méridienne de l'Observatoire de Paris. Malheureusement, la perpendiculaire à cette méridienne ne fut jamais matérialisée, si bien qu'il est toujours difficile de savoir, lors de l'examen d'une ancienne triangulation, la position adoptée exactement pour ce second axe.

La première triangulation parisienne fut réalisée en 1783, par les observations de l'abbé de La CAILLE et les calculs de DELAMBRE. Elle aboutit à la détermination de 148 points. Verniquet entreprit en 1789 et réalisa en 1791 une seconde triangulation qui permit de définir plus précisément la position de 60 monuments de la capitale.

En 1829, une troisième triangulation de 36 points pour les levers de corps de rues, fut réalisée par JACOBET, et en 1896, le Service du Plan de Paris en effectua une quatrième de 298 points dont beaucoup disparurent, notamment ceux situés sur les fortifications ceinturant Paris.

LES REPERES-COORDONNES

Du fait de cette disparition, à partir de 1942, le Service du Plan de Paris entreprit la réalisation d'une polygonation périphérique rattachée aux polygonations transversales qui avaient subsisté, permettant de couvrir la Ville de Paris d'un réseau de repères-coordonnés.

La constitution de ce réseau de repères est principalement due à l'action conjuguée de deux hommes : Jean HUGUENIN, licencié es-sciences, Ingénieur général, Chef des Services Techniques de Topographie et d'Urbanisme de la Ville de Paris, et Henri LAFOSSE, Ingénieur Géomètre en chef, concepteur et réalisateur d'un matériel de mesure des longueurs.

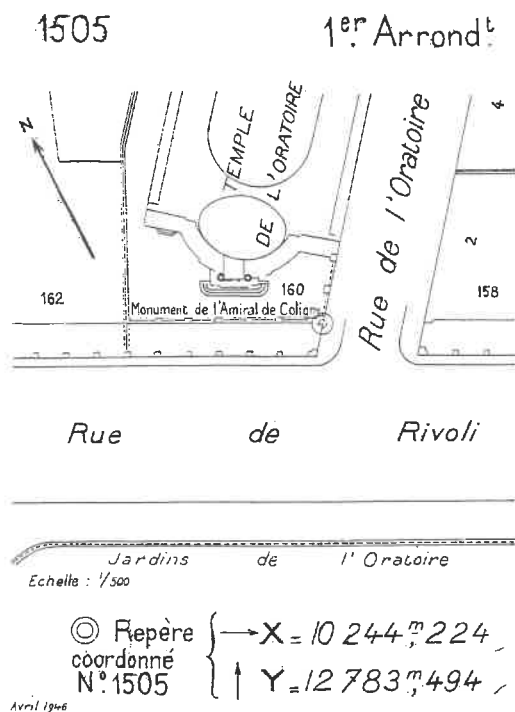
La Ville de Paris disposa ainsi de plus de 2000 repères-coordonnés, répartis dans toute la ville et les Bois de Boulogne et de Vincennes.

L'Institut Géographique National détermina néanmoins la position précise de 22 points géodésiques dont les résultats furent comparés à ceux obtenus par le service topographique de la Ville. La moyenne des écarts était de 4 cm seulement.



Le plus souvent, pour une bonne conservation, les repères-coordonnés sont définis par l'arête verticale du détail d'une construction et ne sont pas alors stationnables. Ils font chacun l'objet d'une fiche signalétique, comportant :

- le numéro du repère,



- un extrait du plan à 1/500 de la Ville de Paris, à titre de croquis de situation,

- une photographie sur laquelle sont indiquées, à l'aide d'un cercle, la nature et la hauteur du repère adopté,

- les coordonnées X et Y, dans le système "Ville de Paris 1944" en mètres et millimètres.

Il y a lieu de remarquer que ce sont des points purement planimétriques. En effet, le nivellement fait l'objet de repères de nivellement de la Ville de Paris, dont l'altitude est restée dans le système N.G.F. Lallemand, principalement pour des contraintes d'urbanisme.

SYSTEME DE COORDONNÉES VILLE DE PARIS

Nous avons vu dans l'historique que les systèmes de coordonnées successifs utilisés pour la topométrie de la Ville de Paris, furent liés, depuis le début, au Méridien de Paris passant par l'axe de l'Observatoire.

La définition contenue dans la notice de la Ville en vigueur actuellement, indique : "Le système Ville de Paris 1943 est défini par deux axes rectangulaires situés dans le plan tangent à l'ellipsoïde au pied de la verticale du pilier géodésique de l'Observatoire de Paris affecté des coordonnées :

$$X = 10\,000 \text{ m et } Y = 10\,006,890 \text{ m,}$$

l'axe des Y étant parallèle au méridien de l'Observatoire de Paris".

Cette définition contient tous les éléments utiles. Il s'agit d'un plan qui est tangent à l'ellipsoïde de référence utilisé par la géodésie française (Clarke 1880), en un point précis qui est la verticale du pilier géodésique situé sur le toit en terrasse de l'Observatoire.

La distance de 6,890 m en Y correspond à la distance du pilier géodésique au mur méridional de l'Observatoire, afin que celui-ci garde la valeur

$Y = 10\,000 \text{ m}$ qu'il avait dans une définition antérieure.

La référence au pilier définit la méridienne passant par ce point précis, et non par les traits méridien dont il a été question plus haut.

La référence à l'ellipsoïde suppose une réduction des mesures linéaires au niveau de la mer. Il n'y a pas d'autre altération des longueurs ainsi réduites et pas de correction angulaire.

Les positions des points de triangulation, de polygonalement et des repères-coordonnés, sont ainsi définies par leurs distances, réduites au niveau de la mer, aux deux axes.

En toute rigueur, le système "Ville de Paris" n'est donc pas une projection conforme mais, compte tenu de la petitesse relative de la Ville, cela est sans conséquence pratique.

COMPARAISON AVEC LA GÉODÉSIE FRANÇAISE

La Nouvelle Triangulation de la France (N.T.) est calculée en projection Lambert.

Le système de projection Lambert France a été mis en application par le Service Géographique de l'Armée en 1922, et rendu officiel par l'arrêté interministériel du 20 Mai 1948, donc postérieurement à l'adoption par les services de la Ville de Paris, d'un système particulier.

Il permet de représenter l'ellipsoïde de référence (Clarke 1880) sur une surface plane, en conservant les angles et en limitant les déformations linéaires. C'est un système de projection "conforme" [9] [10]. Pour réduire les altérations linéaires, la France a été divisée en 3 zones. La Ville de Paris est située dans la zone Lambert I, appelée aussi zone Lambert Nord, dont :

- l'axe des X est tangent au parallèle 55 grades et est coté (Constante Y) : $Y = 200 \text{ km}$ (ou maintenant $1\,200 \text{ km}$),

- l'axe des Y est le méridien de Paris et est coté (Constante X) : $X = 600 \text{ km}$.

Pour Paris, le coefficient d'altération linéaire " k_r " [10] varie de - 52 mm par km sur le boulevard périphérique Sud, à - 69 mm par km sur le périphérique Nord.

En 1976, l'I.G.N. recalcula 26 points géodésiques couvrant le territoire de Paris. La puissance de calcul des ordinateurs permit de mettre au point une nouvelle formule de transformation rendant possible de passer du système Lambert de la Nouvelle Triangulation de la France (N.T.) au système "Ville de Paris" et réciproquement. A cet effet, il fut établi les formules de transformation dites "I.G.N. 76", qui sont des fonctions harmoniques [9] valables dans les deux sens, limitées au 3ème degré en raison de la petitesse de la surface concernée et comportant 10 paramètres dotés chacun d'une valeur propre à chaque sens :

$$X_0, Y_0, U_0, V_0, U_1, V_1, U_2, V_2, U_3, V_3.$$

En posant :

Coordonnées dans le système initial : $X_1, Y_1,$

Coordonnées dans le système final : $X_2, Y_2,$

$$X = (X_1 - X_0) \cdot 10^{-6} \text{ et } Y = (Y_1 - Y_0) \cdot 10^{-6}$$

les formules de transformation sont :

$$X_2 = U_0 + U_1 X - V_1 Y + U_2 (X^2 - Y^2) - 2V_2 XY + U_3 (X^3 - 3XY^2) - V_3 (3X^2 Y - Y^3)$$

$$Y_2 = V_0 + V_1 X + U_1 Y + V_2 (X^2 - Y^2) + 2U_2 XY + V_3 (X^3 - 3XY^2) + U_3 (3X^2 Y - Y^3)$$

Coefficients à appliquer pour la transformation :

Ville de Paris → Lambert I :

$$\begin{aligned} X_0 &= 9\,510\,440 \text{ m} & Y_0 &= 11\,516\,960 \text{ m} \\ U_0 &= 599\,510\,596 & V_0 &= 127\,724\,043 \\ U_1 &= 999\,935\,758 & V_1 &= -4,991 \\ U_2 &= 611,314 & V_2 &= 531,607 \\ U_3 &= 100\,478,468 & V_3 &= -49\,050,152 \end{aligned}$$

Lambert I → Ville de Paris:

$$\begin{aligned} X_0 &= 599\,510\,550 \text{ m} & Y_0 &= 127\,724\,090 \text{ m} \\ U_0 &= 9\,510,394 & V_0 &= 11\,517,007 \\ U_1 &= 1\,000\,064,246 & V_1 &= 4,991 \\ U_2 &= -611,383 & V_2 &= -531,728 \\ U_3 &= -100\,507,535 & V_3 &= 49\,060,666 \end{aligned}$$

On peut appliquer la formule, à titre d'exercice, au pilié de l'Observatoire (vérifiez dans les 2 sens !):

$$X_{V.de P^*} = 10\,000,000 \quad Y_{V.de P^*} = 10\,006,890$$

$$X_{Lambert} = 600\,000,116 \quad Y_{Lambert} = 126\,214,066$$

On remarque :

- une différence d'échelle entre les deux systèmes qui est, en première approximation, de 64 mm par km (coefficient U1), essentiellement due à la réduction à la projection Lambert qui, au point de coordonnées X0, Y0, est de - 59 mm par km;

mais aussi, et cela est plus inattendu, à l'Observatoire, les axes des Y des deux systèmes présentent :

- une différence en abscisse de 116 mm,
- une différence d'orientation qui est, en première approximation, de 5 mm par km (coefficient V1), soit environ 0,3 milligrade ou une seconde de degré d'arc. Elle représente la valeur de l'azimut de l'axe des Y du système Ville de Paris sur la Projection Lambert I.

Quoi qu'il en soit, ces différences sont minimes et restent parfaitement admissibles.

La conversion des coordonnées des 2000 repères-coordonnés de la Ville de Paris dans le système Lambert I, devenait une réalité. Un répertoire de ces repères a été publié, avec les coordonnées dans les deux systèmes "Ville de Paris" et "Lambert I".

LES MÉDAILLONS ARAGO

Les médaillons prévus par JAN DIBBETS sont des disques en bronze de 12 cm de diamètre, portant en relief le nom d'ARAGO et les initiales N et S des deux points cardinaux pour leur orientation.

Ils ont été implantés au nombre de 135, aux endroits suivants - Encadré tiré du Bulletin de la Société Astronomique de France (Volume 108, page 335, Décembre 1994) [11]:

REPertoire DES REPERES COORDONNES
Transformation Ville de Paris → Lambert
avec la Formule IGN 76

Repère	X vp44	Y vp44	X Lambert I	Y Lambert I	File 1/500
1458	10381.042	11342.439	600381.142	127549.529	259
1459	10274.419	11163.797	600274.525	127370.899	280 Bis
1460	10302.636	11140.412	600302.740	127347.515	281
1461	10196.885	10936.782	600196.994	127143.898	280 Bis
1462	10207.548	10868.140	600207.656	127075.261	280 Bis
1463	10202.393	10638.468	600202.500	126845.603	302 Bis
1464	10183.711	10589.331	600183.819	126796.469	302 Bis
1465	10088.276	10316.578	600088.389	126523.834	324 Bis
1466	10121.777	10346.212	600121.888	126553.366	324 Bis
1467	10216.006	10265.511	600216.110	126472.669	324 Bis
1468	10247.377	10254.573	600247.479	126461.732	324 Bis
1469	10120.083	10037.061	600120.192	126244.234	324 Bis
1470	10101.608	9958.684	600101.718	126165.862	345 Bis
1471	10031.176	9784.125	600031.289	125991.315	345 Bis
1474	9894.169	9502.867	599894.289	125710.075	363
1475	9781.091	9205.184	599781.216	125412.412	363
1476	9756.104	9151.573	599756.230	125358.805	378
1477	9719.030	9063.148	599719.158	125270.385	377 Bis
1478	9667.905	9041.895	599668.036	125249.134	377 Bis
1479	9302.944	9117.056	599303.098	125324.293	377
1480	9271.010	9034.269	599271.166	125241.511	377
1481	9634.210	8768.584	599634.341	124975.841	388 Bis
1482	9605.107	8706.836	599605.239	124914.097	388 Bis
1483	6585.900	14304.371	596586.274	130511.283	107
1484	6677.682	14337.719	596678.049	130544.628	107
1485	6941.796	14162.812	596944.142	130369.731	107 Bis
1486	6963.645	14153.241	596963.990	130360.160	107 Bis
1487	7330.400	13944.501	597330.717	130151.433	128 Bis
1488	7345.149	13937.543	597345.465	130144.475	128 Bis
1489	7660.013	13785.873	597660.305	129992.814	129
1490	7758.809	13816.355	597759.095	130023.293	129
1491	8004.030	13697.593	598004.298	129904.538	129 Bis
1492	7978.179	13632.078	597978.448	129839.027	129 Bis
1493	8298.730	13411.680	598298.976	129618.643	150
1494	8382.206	13366.207	598382.446	129573.173	150 Bis
1495	8767.064	13273.846	598767.277	129480.816	151
1496	8779.912	13300.435	598780.124	129507.403	151
1497	9042.429	13353.524	599042.623	129560.488	151 Bis
1498	9057.273	13361.991	599057.466	129568.954	151 Bis
1499	9316.296	13234.539	599316.472	129441.510	152
1500	9336.613	13224.558	599336.787	129431.530	152
1501	9660.125	13065.823	599660.277	129272.804	172 Bis
1502	9697.813	13047.319	599697.963	129254.302	172 Bis
1503	9972.067	12912.751	599972.198	129119.742	173
1504	9991.294	12879.709	599991.424	129086.702	173
1505	10244.224	12783.494	600244.337	128990.493	194 Bis
1506	10252.874	12774.979	600252.987	128981.978	194 Bis
1507	10622.453	12593.694	600622.542	128800.704	195 Bis
1508	10618.826	12571.181	600618.915	128778.193	195 Bis
1509	10789.568	12485.371	600789.646	128692.388	195 Bis

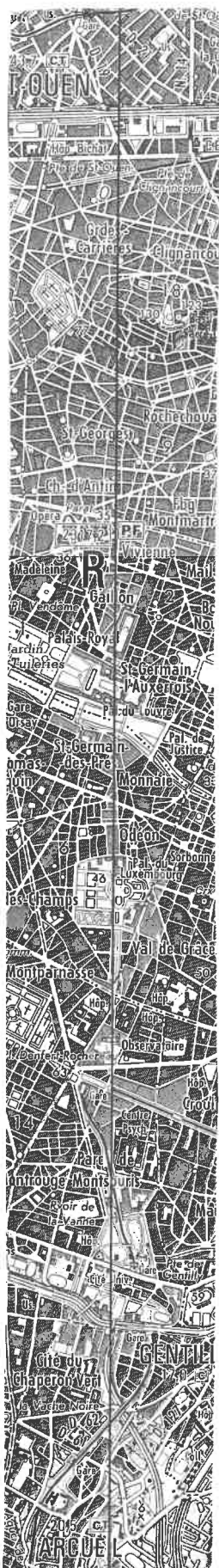


Localisation des médaillons
du Nord au Sud le long du
Méridien de Paris

- 18ème arrondissement
Avenue de la Porte de
Montmartre
Avenue Junot
Mire du Nord
Rue Lepic
- 10ème arrondissement
Boulevard de Clichy
Rue Duperré
Rue Pigalle
Rue de Châteaudun
Rue de la Victoire
Boulevard Haussmann
Rue Taitbout
Boulevard des Italiens
- 2ème arrondissement
Rue du 4 Septembre
Rue Saint-Augustin
- 1er arrondissement
Passages, péristyles et
place du Palais Royal
Musée du Louvre, intérieur
et extérieur
- 6ème arrondissement
Place de l'Institut
Rue de Seine
Rue des Beaux-Arts
Boulevard Saint-Germain
Rue de Vaugirard
Jardin du Luxembourg
Rue Auguste Comte
Avenue de l'Observatoire
Rue Michelet
Jardin Marco Polo
Place Camille Jullian
- 14ème arrondissement
Avenue de l'Observatoire
Jardin de l'Observatoire
Boulevard Arago
Place de l'Île de Sein
Rue du Fg Saint-Jacques
Place Saint-Jacques
Parc Montsouris
Boulevard Jourdan
Cité Universitaire

*Le Méridien à travers Paris,
du Nord au Sud
(Extrait Carte IGN à 1/50 000)*

Carte N° 2314
© IGN - Paris 1995
Autorisation N° 90-5045

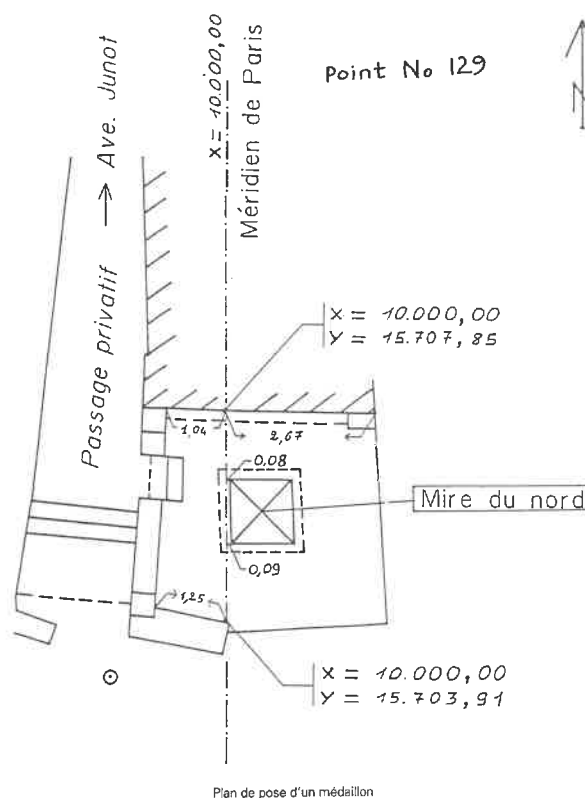


MISE EN PLACE DES MÉDAILLONS

Pour définir sur le terrain la position de ces 135 médaillons afin qu'ils soient exactement sur le méridien de Paris, les Services du Plan de Paris ont appliqué les principes et employé les moyens suivants:

Le méridien de Paris apparaît dans le Plan de Paris, sous la forme d'une ligne droite dont tous les points ont pour abscisse : $X = 10\,000\text{ m}$.

À partir des repères-coordonnés, les services de Topométrie de la Ville ont donc déterminé un certain nombre de points de détails naturels dont les abscisses "encadrent" cette valeur, avec la distance de chaque point au passage de cet axe, distance mesurée en général le long d'une façade d'immeuble. Pour chaque médaillon, un plan de pose, avec des cotes centimétriques, a été établi à l'échelle de 1/100.



De ce fait, on s'est référé au méridien défini par la Ville de Paris, et non pas à celui de la géodésie.

Un bureau d'étude a ensuite été chargé de mettre en place les médaillons sur les alignements réunissant ces passages du méridien, en choisissant les emplacements pour éviter les chaussées et situer les médaillons de préférence sur des trajets piétons - trottoirs, allées en bitume dans les jardins publics - aux endroits où la conservation s'avère la moins difficile.

Un médaillon a été scellé sur la façade Sud du socle de l'ancienne statue d'Arago, avec la mention :

HOMMAGE À ARAGO 135 MÉDAILLONS SUR L'AXE
NORD SUD DU MERIDIEN DE PARIS JAN DIBBETS
COMMANDE PUBLIQUE DE L'ÉTAT ET DE LA VILLE DE
PARIS 1994

Les services de la voirie sont intervenus pour le choix des emplacements et assureront la conservation ultérieure des médaillons.

CONCLUSION

Pour conclure, rappelons les extraits de la présentation par l'artiste (M. Jan DIBBETS) : "... Un monument imaginaire sur le tracé d'une ligne imaginaire... Il serait vain de redonner au socle, la fonction de piédestal qu'il avait au 19ème siècle en le surmontant à nouveau d'une statue.... En attirant l'attention sur son génie et son œuvre, on lui fera plus d'honneur qu'en érigeant simplement une statue à sa mémoire."

Si nous manifestons notre satisfaction pour l'heureuse initiative de rappeler matériellement à un large public, l'existence du Méridien de Paris, il nous paraît imparfait de laisser à penser au profane que c'est l'œuvre de François ARAGO. Sur ce thème, les Cassini, Delambre, Méchain dont les noms ne sont honorés que par de modestes rues des environs de l'Observatoire, auraient tout autant mérité de voir leur nom, de temps en temps, figurer sur un médaillon du Méridien, sans parler de l'abbé Picard ou de La Caille.

BIBLIOGRAPHIE

[1] - "Histoire de ma jeunesse" par François ARAGO. Éditions Ch. Bourgeois.

[2] - Historique du problème du Méridien origine en France - par Mme Lucie LAGARDE - Revue d'histoire des sciences - 1979.

[3] - Histoire de l'Observatoire de Paris. par C.WOLF - Gauthier Villars 1902.

[4] - Mesure de la Terre par Jean PICARD, 1671.

[5] - Mesurer la Terre ; 300 ans de géodésie française - par Jean-Jacques LEVALLOIS, A.F.T. 1988.

[6] - Edme VERNIQUET par Jeanne PRONTEAU - Paris 1986.

[7] - Recueil d'Observations géodésiques, astronomiques et physiques exécutées en Espagne, France, Angleterre, Écosse par MM. BIOT et ARAGO, publié par la Vve COURCIER, libraire pour les sciences, rue du Jardinot n° 12 à PARIS, 1821.

[8] - Documentation technique et historique des Services de la Documentation Foncière, gérant le Plan de Paris, 17 boulevard Morland, Paris;

[9] - Représentation conforme et adaptations par Jean-Jacques LEVALLOIS (20 pages), Revue XYZ n° 64, 3ème trimestre 1995, publiée par l'A.F.T. (à paraître).

[10] - Lexique Topographique - (chapitres 5 et 10) A.F.T. 1992-95.

[11] - Article et discours de M. PÉCKER, Revue "L'Astronomie" Décembre 94, publiée par la Société Astronomique de France.

[12] - Étienne ARAGO par Muriel TOULOTTE - avec biographie par Lucie LAUGIER, nièce de François ARAGO. Éditions de l'Olivier, Perpignan, 1993.



Arago (Observatoire de Paris).

G.P.S.

ALGADE :
55 60 50 46

CANEVAS & POLYGONATION
TRAVAUX CADASTRAUX & S.I.G.
GEOPHYSIQUE
RADIO NAVIGATION & BALISAGE
MICRO TRIANGULATION

Algade (groupe Cogema)

met à votre service cinq
années d'expérience en G.P.S..
Aujourd'hui sa maîtrise du
système lui permet de
proposer de nombreuses
applications qui répondent
nécessairement à votre besoin.
Sur un simple appel,
un technicien G.P.S.
vous ouvre de nouveaux
horizons . . .



ALGADE

Topographie / Aménagement de site

RN 20 - B.P. 46

87250 Bessines-sur- Gartempe

Tél. 55 60 50 46 / Fax 55 60 50 59



L'ANNÉE HUMANAIRE



Nous ne résistons pas au plaisir de diffuser in extenso des nouvelles de notre mission BOLIVIE, repartie en Janvier 1995, qui traduisent les questions et les doutes de Françoise et Thierry MICHALOT ainsi que leur condition de vie tout en témoignant de leur confiance

dans le résultat de leur action.

C'est Françoise Michalot qui parle : "Depuis notre retour, nous avons réalisé deux séjours dans le "Campo", à Talula et Pisaquiri, l'objectif premier étant de déterminer sur laquelle des deux communautés nous irions vivre. La décision n'a pas été facile étant donné le nombre de facteurs qui entrent en jeu (nécessités de la communauté, mais aussi nos possibilités d'adaptation avec un enfant en bas âge, etc...). Talula offre plus de facilités, mais nous avons cependant opté pour Pisaquiri où nous ressentons davantage de nécessités, et une communauté plus délaissée. La communication n'est pas aisée : pour s'y rendre, il faut prendre un camion de Potosi durant 3 heures, puis marcher sur un sentier escarpé et montagneux durant 6 heures 1/2 !... Le problème le plus important est celui du ravitaillement : il faut tout amener de Potosi. Avec ATEC (Association Technique pour laquelle Thierry MICHALOT intervient), nous réfléchissons sur la possibilité de nous acheter un âne.

Notre travail prévu est réfléchi avec l'équipe d'ATEC et les membres de la Communauté de Pisaquiri. Ce week end, toute l'équipe d'ATEC va se réunir pour en parler et réfléchir sur l'avenir de l'Association.

Thierry, qui sera beaucoup moins présent au bureau en ville, doit passer le relais pour l'étude des projets, recherche de financements,... Cela ne va pas de soi, car on comptait beaucoup sur lui. Mais il faut qu'ATEC commence dès maintenant à apprendre à voler de ses propres ailes. Nous, les volontaires étrangers, ne sommes que de passage et ne devons pas prendre trop de responsabilités. Nous devons plutôt apprendre à faire prendre les responsabilités et accompagner.

Le travail de Thierry sur Pisaquiri sera de réaliser le suivi du projet de production maraîchère... De quelle manière ? Avant tout en travaillant avec les paysans, en participant à leurs activités, en vivant avec eux pour mieux comprendre et mieux conseiller. D'un projet de production, ATEC veut parvenir à un projet global de développement. Thierry travaille sur tout la zone autour de Pisaquiri, soit 5 communautés.

Pour ma part, engagée cette année comme animatrice socio-culturelle au sein d'ATEC, je m'attacherai plutôt à l'aspect éducatif (enfants - femmes). Pour l'instant, je réalise plutôt un travail d'infirmière, distribuant les soins de première urgence. Il n'y a aucune structure sanitaire, ni personnel, outre un sanatorio, qui vaccine les enfants et cela sur une zone très vaste. Inutile de dire que dans de telles conditions, un simple bobo qui s'infecte peut devenir gangrène et entraîner la mort.

Pour le moment, nous nous heurtons aux difficultés de la langue. Le quetchua n'est pas aisé et nous demande beaucoup d'efforts. Mais c'est une condition obligatoire pour vivre dans cette zone.

Pour terminer, quelques nouvelles des projets en route ou réalisés.

- La Communauté de Salto Punta boit de l'eau potable au robinet et fait la jalousie des communautés voisines.

- Pisaquiri travaille dur pour que s'achève son projet d'eau potable.

- Thierry fait l'étude de 3 autres projets d'eau potable (Itinoka, Tapajchi, Toravi). Certains en vendent. Les Tomates rougissent.

- On mange des salades, des choux et des carottes à Talula et Pisaquiri.

- On repique des arbustes, mais l'enthousiasme est moins grand que pour les légumes.

- Un projet de récupération de terres et protection de l'école de Talula est en route.



Beaucoup de perspectives ; mais il faut une grande dose d'optimisme pour croire au développement de cette zone complètement délaissée."

Pour acheter l'âne... et du matériel éventuellement et pour que ce genre d'actions puisse durer,

Pensez à eux - envoyer vos dons à :

Géomètre Sans Frontières

Maison des Professions Libérales
285, Av. Alfred Nobel
34000 MONTPELLIER

Pour que la nouvelle année soit bonne

JSInfo

offre aux possesseurs de

TOPOJIS-ETENDU et d'**ASCODES-PASCAL** (*)

une promotion-évolution vers son nouveau produit :

J I S C A D

**L'APPLICATIF GEOMETRE
INTUITIF**

Tarif promotionnel : 149 000 F HT

(Incluant : Plate-forme matériel et progiciel, Applicatif, Installation)

CARACTERISTIQUES GENERALES DE JISCAD :

- Ergonomie Window
- Plate-forme professionnelle
- Outils performants
- Fiabilité éprouvée
- Utilisation intuitive
- Possibilité d'annuler les dernières opérations
- Aide en ligne sur chaque fonction
- Manuel d'autoformation pour prise en main rapide
- Applicatif couvrant l'ensemble des besoins du cabinet
- Système utilisable pour tous

+ MAINTENANCE ET ASSISTANCE JSInfo

JISCAD, TOUT SIMPLEMENT

La facilité d'utilisation du produit le destine à être mis **entre toutes les mains**

(*) Offre également applicable, sur justificatif, aux possesseurs de produits équivalents.

L'ART-LES LIVRES

■ 101 POEMES DANS LE MÉTRO

Pendant un an, au hasard des trajets dans le métro parisien, sur les quais, dans les voitures, les voyageurs ont pu littéralement toucher la poésie. Elle était placardée dans les stations, affichée dans les voitures, lue parfois dans les couloirs. Par cette action dénommée "des rimes en vers et bleu", la RATP faisait descendre le poème dans le public, à la place qu'il ne devrait jamais quitter.

La centaine de poèmes ainsi "exposés" est réunie dans un petit volume par ceux qui les ont choisis : Gérard Cartier et Francis Combes. Le divorce est si patent entre la poésie et l'édition, voire le public, que le fait vaut d'être signalé. Le choix est éclectique et englobe une longue période de l'histoire de l'humanité, depuis les vers en sanskrits du Mahabharata (-3000 ans) jusqu'aux inédits contemporains d'Eugène Guillevic, dans une ronde autour du monde à cheval sur les continents.

On ne raconte pas des poèmes. On n'en fait pas d'histoire non plus. Comme les gouttes de la pluie, on les écoute :

d'Arthur Rimbaud :

Je m'en allais les mains dans mes poches crevées ;
.... mon unique culotte avait un large trou.

de Yannis Ritsos :

Maigre, mal rasé, misérable,
il a dans ses poches
deux oiseaux volés.
Aussi dès qu'il tourne le coin de la rue
il vole.

de Louis Aragon :

C'est une chose étrange à la fin que le monde
Un jour je m'en irai sans en avoir tout dit.

....

Rien ne passe après tout, si ce n'est le passant.

de Ryōkan (moine japonais 1931)

Le voleur m'a tout pris
Hormis la lune
qui était à ma fenêtre.

Et Eugène Guillevic

Iris,
Vous me désespérez
Mais je vivrai
comme vivent les hommes
qui essaient eux-aussi
de fleurir.

Lisez ce livre comme une bollée d'eau fraîche.

(Le temps des cerises - 6 av Ed Vaillant - 93500 Pantin 85 F)

■ QUELLE AUTOMOBILE DANS LA VILLE ? CLAUDE LAMURE

L'intensité de l'usage de l'automobile en agglomération croît partout. Les exigences de qualité de vie demandent des solutions. Des réalisations montrent que le rôle de l'automobile pour les déplacements urbains peut être fortement réduit, mais il paraît plus réaliste de s'attacher à l'évolution des véhicules plutôt que de trop croire à une ville sans voiture.

Les qualités demandées à un tel véhicule sont étudiées et les présentations de voitures "concept" spécifiquement urbaines et très petites remplacent les présentations de voitures de rêve.

L'auteur Claude Lamure, polytechnicien et Ingénieur Général des Ponts et Chaussées a consacré 25 ans de sa vie aux questions de véhicules et de circulation. Il est membre du Comité des programmes du PIR-Ville, organisme du CNRS chargé de recherches sur la ville.

(aux Presses des Ponts et Chaussées - 49 rue de l'Université - 75007 Paris)

■ DANS "SURVEYING WORLD" (SW) : LES RÉGIMES FONCIERS EN AFRIQUE EX-FRANÇAISE (ROGER SCHAFFNER)

Sollicité par ses amis de la R.I.C.S. pour produire un article dans la revue "Surveying World" (SW) de Juillet 1994, dont le thème général concernait l'Afrique, le Président Schaffner (Président de l'AFT 1986-1990) a proposé : "Les régimes fonciers en Afrique ex-française".

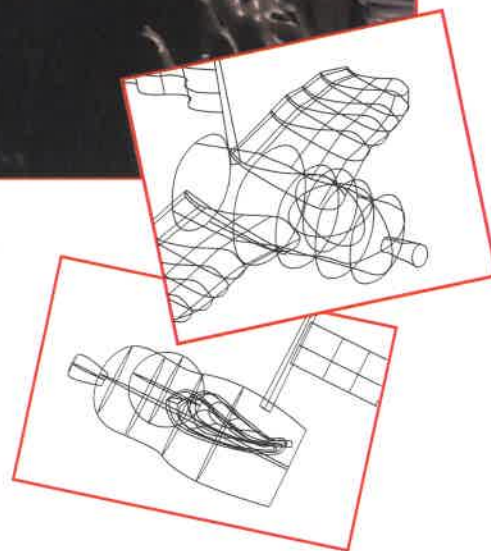
Cet article retrace d'abord les conditions d'accession de la France à la puissance coloniale et les raisons de ses interventions sur le continent africain.

Suivent alors les dispositions légales prises en matière d'organisation de la possession des sols, en vue d'obtenir l'effort maximum de la part des usagers et promouvoir ainsi la mise en valeur de ces contrées et aussi pour empêcher les inévitables aventuriers de spéculer avec les ressources naturelles de celles-ci.

On voit donc apparaître les notions de propriété publique et privée, de domaine public et de domaine de l'Etat et l'éminence de ce dernier sans lequel il n'y a pas d'accès à la propriété privée définitive et inattaquable, c'est-à-dire garantie par l'Etat.

Malgré une opposition quasi générale des autorités locales à cette notion de "Domaine de l'Etat (Français)", les "colonies" furent organisées jusqu'à l'indépendance

*Un jour...
des extraterrestres...
heureusement, Rollei...
photogrammétrie...
reconstitution... preuves !!!*



Rollei
Metric Service



La mémoire de l'existant !

de 1960 sous les régimes fonciers : de la coutume, de la concession domaniale, du droit hypothécaire ou du Titre Foncier par l'immatriculation.

Bien entendu, à partir de 1960 l'Etat (français) devient l'Etat de chaque nouveau pays, et bien souvent le Code Civil français reste en vigueur ainsi que toutes les dispositions légales qui en découlent. Par la suite les efforts des jeunes Républiques ont surtout porté sur la mise et le maintien en ordre de l'octroi des concessions domaniales ainsi que sur la pérennité des droits coutumiers et leur reconnaissance par les pouvoirs publics.

Certaines tentatives de collectivisation des terres ont échoué, surtout par manque de textes d'application. En tout état de cause, il faut reconnaître que tous ces pays, les uns plus que les autres, ont pris des mesures drastiques pour combattre l'oisiveté et encourager des mises en valeur de terres, en faisant retourner au Domaine de l'Etat, sans indemnité et pour être redistribuées, toutes celles non exploitées ou abandonnées.

L'auteur mentionne aussi les travaux topographiques entrepris pour l'immatriculation des terrains, l'aménagement des villes et des centres d'intérêts, la création des lotissements, etc...

Il passe sous silence ce que l'on pourrait appeler "le cadastre", par manque de renseignements fiables à ce sujet. Etant lui-même l'initiateur de celui de Côte d'Ivoire, il n'a depuis sa création pas eu de nouvelles sur son état d'avancement ou actuel pour porter un jugement. Il serait donc très heureux de lire quelque chose à ce sujet, écrit par quelqu'un qui a participé à son montage. Tout ce que l'on peut dire ou croire, c'est qu'il est pour la plupart des pays à l'état embryonnaire et que sa conception devrait en être complètement repensée, compte tenu de la diversité des régimes en présence.

L'auteur remercie particulièrement : MM. André Houssein, de l'Université d'Antananarivo pour ses sources sur Madagascar ; Constantin Bah, Géomètre-Expert à Cotonou (appelé par inadvertance Benjamin) pour le Bénin ainsi que M. Etienne Mabilia-Taty, Directeur des Etudes à la Direction du Cadastre et de la Topographie de Brazzaville, qui confirme les difficultés rencontrées pour le montage d'un cadastre dans ces pays et qui fait appel à une coopération plus étroite entre les spécialistes et responsables pour confronter les idées et trouver la solution idéale en cette matière.

Enfin, par un curieux hasard, au moment de la rédaction de cet article, sont parus ceux de "Géomètres sans Frontières" dans les n°58 et 59 d'XYZ, illustrant bien, par des exemples-types, l'évolution de l'esprit des régimes fonciers après l'Indépendance. Avant celle-ci, l'immatriculation des terrains concédés aux Missions religieuses se faisaient sans difficultés, à la condition qu'y soient installés durablement des églises, des dispensaires, des léproseries, des écoles et autres équipements sociaux ou culturels. Pour finir l'auteur termine son article par un conseil de "Vieux Frère" aux populations de tous ces pays, pour qu'elles préservent leur précieuse terre contre tous les abus possibles en leur demandant de s'inspirer de la fable de Jean de la

Fontaine "Le laboureur et ses enfants".

(Revue SW de juillet 1994, GITC bv P.O. Box 112, 8530 AC Lemmer - The Netherlands)

■ FORMES ET MOUVEMENTS DE LA TERRE. SATELLITES ET GÉODÉSIE

Format 24 x 19 - 158 pages. 126 figures

Auteurs : Mme Anny Cazenave et M. Kurt Feigl

Éditions du CNRS. Paris 1994-ISBN 2-271-05233-5

Éditeur : Belin Paris 1994-ISBN 2-7011-1713-5

Commandes par l'intermédiaire de Libraires. 145 F.

Le Global Positioning System, alias GPS, est bien connu de nos lecteurs. Précis, rapide, mondialement homogène, il supplante désormais les méthodes de triangulation, s'applique à tous les types de navigation, terrestre, marine, aérienne. C'est un des fleurons de la géodésie spatiale.

Ce n'est point le seul : au fur et à mesure des progrès de la trajectographie se révèlent aux chercheurs des faits scientifiques du plus haut intérêt, éclairant la géophysique, la tectonique, l'océanographie, etc..

Les journaux quotidiens en publient parfois quelques aperçus dans leur chronique scientifique, mais il n'existait pas d'exposé d'ensemble jusqu'à ce jour.

Le Livre de Madame A. Cazenave et M. K. Feigl vient à point pour combler cette lacune.

Nous reviendrons plus loin sur la personnalité des auteurs.

Le livre comprend :

- Une préface signée X. Le Pichon, Membre de l'Académie des Sciences, Professeur au Collège de France
- Une courte introduction
- Onze chapitres dont nous indiquons les titres :
 - 1 - Les débuts de la géodésie spatiale
 - 2 - La Terre. Une dynamique complexe en évolution permanente
 - 3 - Le champ de gravité terrestre
 - 4 - Le champ de gravité et la terre profonde
 - 5 - Le comportement non rigide aux frontières des plaques
 - 6 - Déformations dans les régions actives
 - 7 - La rotation de la terre
 - 8 - Variations temporelles du champ de gravité
 - 9 - Les marées
 - 10 - Altimétrie spatiale et circulation océanique
 - 11 - Vénus, planète sœur de la terre

- Glossaire - bibliographie

De très nombreuses figures (en couleur) et diagrammes, placés à proximité du texte correspondant illustrent le discours. Outre le développement des applications, de courts aperçus scientifiques, soigneusement encadrés, précisent certains points en décrivant un phénomène à mettre en évidence ou un dispositif technique.

NOUVEAUTE

Les "Plus" du *Super PLANIX α*



A la fois **Digitaliseur** et **Planimètre électronique**
Le Super PLANIX α est un produit simple, convivial, utilisable par tous.

- **Autonome**

Il est immédiatement opérationnel. Un ordinateur PC n'est pas indispensable pour son emploi.

- **Petit et compact**

Il est facilement transportable d'un bureau à l'autre.

- **Résultats sur imprimante**

Son imprimante affiche les résultats de la digitalisation, les calculs de surfaces, longueurs, arcs de cercle...

Modes de mesure

1. Ligne/Surface : Coordonnées X, Y

Côtés
Longueurs
Surfaces
Centre
Rayon



2. Triangle : Coordonnées X, Y

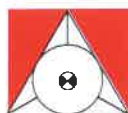
Base
Hauteur
Surface



Câbles RS 232 C

- **Transfert sur PC**

Facile à réaliser par la liaison RS 232C et un programme de transfert.



MESURES & SYSTEMES

6, Rue des Jardins. 60500 CHANTILLY - FRANCE.
Tél. : 44 57 27 97. Fax : 44 57 46 58.

Coupon-réponse

☐ Je souhaite une documentation

☐ Je souhaite une démonstration

Nom

Adresse

Tél. Fax

A titre d'exemple, résumons le contenu du chapitre n°2 : Une très courte introduction accompagnée d'un diagramme décrit la structure radiale de la Terre-lithosphère, manteau supérieur, manteau inférieur, noyau externe, graine.

On passe alors à :

- quelques rappels de sismologie, tomographie sismique, zones chaudes et froides
- convection dans le manteau et les problèmes qui s'y posent
- la grandiose conception de la tectonique des plaques, définition des plaques, frontières, structures, mouvements et leurs mécanismes, estimation des vitesses relatives, leur évaluation par la géologie, par la géodésie spatiale (systèmes Doris et autres).

En tout 20 pages, 18 cartes ou diagrammes pour ce seul chapitre. Les autres à l'avenant.

Ce livre se lit facilement. Il est très clair, bien écrit, bien illustré. Il ne comporte aucun développement mathématique.

Mais, cette facilité de lecture, aidée par une belle impression, par la séduction de belles illustrations, ne doit pas faire illusion; Il doit être lu, relu et médité si l'on veut en extraire la "substantifique moelle". Ce n'est pas un roman.

Il me paraît devoir toucher un vaste public cultivé : professionnels de topographie, de géodésie, géomètres, professeurs de sciences, étudiants dont il pourrait éveiller la vocation.

Les lecteurs d'X Y Z y trouveront sûrement plaisir et fruit.

Les auteurs travaillent à Toulouse au Centre National d'Études Spatiales (CNES) au sein du Groupe de recherches de géodésie spatiale (GRGS), organisation réunissant les compétences géodésiques de divers établissements.

Madame Anny Cazenave, adepte de la première heure, y dirige le département "Géophysique et Océanographie spatiale". C'est une savante de stature internationale, connue mondialement.

Prenez la bibliographie de ce livre, notez ses publications, vous aurez une idée de l'éventail de ses compétences qui portent essentiellement sur le champ de gravité, ses variations et les faits tectoniques, qu'il met en évidence. Elle vient d'être élue membre correspondant de l'Académie des Sciences (1994).

Monsieur Kurt Feigl a été étudiant pendant 5 ans au M.I.T. (Massachusetts Institute of Technology) en géophysique et géodésie spatiale. Il est alors venu en France et a fait un an de stage d'étude à l'Institut de physique du Globe de Paris. Il travaille au GRGS dans le service de Madame Cazenave (voir bibliographie) et a adopté la double nationalité américaine et française.

Leur livre recollecte les résultats des efforts de dizaines de géodésiens et géophysiciens du monde entier et fait le point de l'état actuel des recherches. Sa lecture vous passionnera.

J.J. Levallois

REPertoire DES ANNONCEURS N° 63

TOPCON-SLOM	1 ^{re} CV
GEOTRONICS	2 ^e CV
SETAM-INFORMATIQUE	3 ^e CV
FAYNOT	4 ^e CV
<hr/>	
AERIAL	24
ALGADE	73
BSPLINE	8
BURNAT	33
CARL ZEISS	6
DIEUTEGARD	43
IETI	40
JS. INFO	75
KOBOR	44
LEICA	2
MESURES ET SYSTEMES	79
NIKON	4
ROLLEI	77
TRIMBLE	1