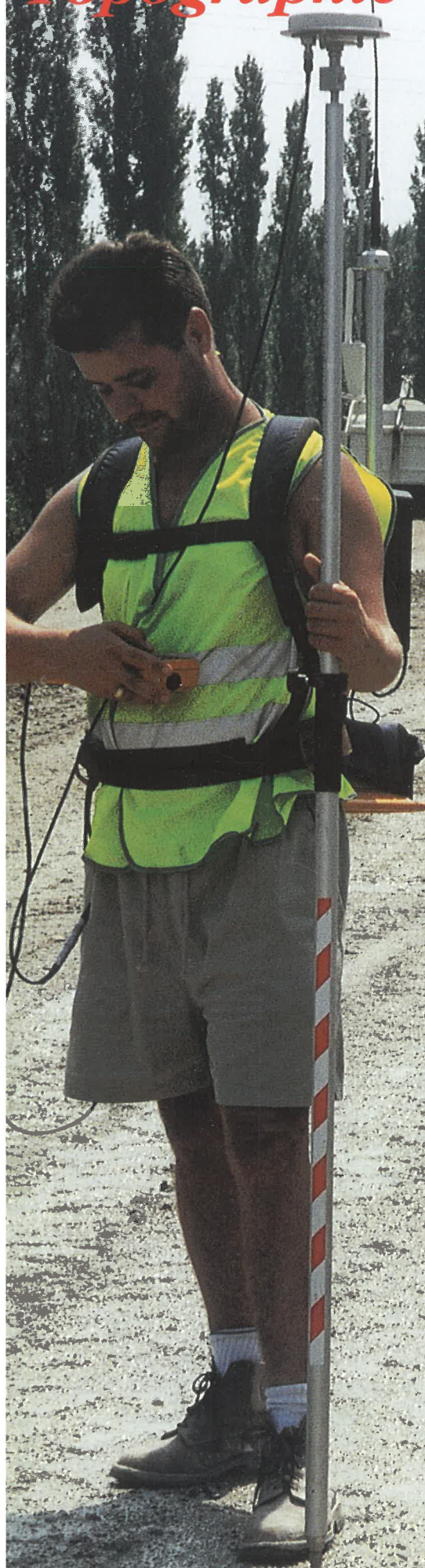


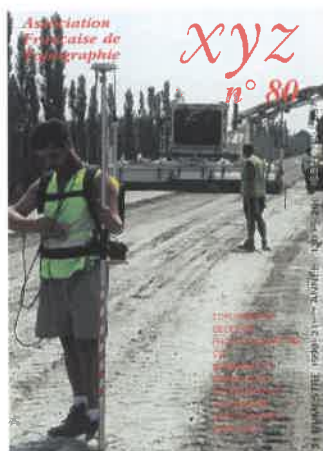
*Association
Française de
Topographie*

xyz
n° 80



TOPOGRAPHIE
GEODESIE
PHOTOGRAMMETRIE
SIG
GEOMATIQUE
METROLOGIE
HYDROGRAPHIE
TOPOMETRIE
CARTOGRAPHIE
GENIE CIVIL

3^e TRIMESTRE 1999 - 21^{ème} ANNÉE - 130 F - 20 € ISSN 0290-9057



Nature des sols, topographie, écologie, complexité du projet, confidentialité des travaux, des critères contraignants pour les topographes du Centre Technique Renault dans l'Eure. Le GPS était la seule solution, tout au moins la meilleure. Lire l'article de Michel Chevessier en page 59.

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION
André BAILLY

**DIRECTEUR DE LA RÉDACTION
ET DE LA PUBLICITÉ**
Robert CHEVALIER

COMITÉ DE RÉDACTION

- André BAILLY
Ingénieur ETP
- Jean BOURGOIN
Ingénieur Général Hydrographe ER
- Robert CHEVALIER
Géomètre-Expert DPLG
- Pierre GRUSSENMEYER
Maître de Conférences – ENSAIS
- Raymond D'HOLLANDER
Ingénieur Général Géographe-IGN
- Michel SAUTREAU
Directeur Div. honoraire Cadastre
- Robert VINCENT
Ingénieur ECP
- Dr Pascal WILLIS
Ingénieur en chef géographe-IGN

COMITÉ DE LECTURE

- MM. BAILLY, COMBES, FONTAINE,
LEVALLOIS, MEYER, MILLION,
PUYCOUYOUL, SCHAFFNER,
VINCENT.

MAQUETTE ET MONTAGE
Jack Biquand

ABONNEMENTS
Carine BALLAND
e-mail : aftopo@club-internet.fr

Trimestriel – Le numéro : 130 F / 20 €

Abonnement d'un an

France Europe (voie terrestre) : 480 F / 73 €

Étranger (avion, frais compris) : 500 F / 76 €

Les règlements payés par chèques payables
sur une banque située hors de France
doivent être majorés de 40 F / 6 €

L'AFT n'est pas responsable des opinions émises
dans les conférences qu'elle organise
ou les articles qu'elle publie.

Tous droits de reproduction ou d'adaptation
strictement réservés.

L'AFT est membre de la FIG
COMPOSITION CD GRAPH

1 allée des Vinaigriers

44300 Nantes – ☎ 02 40 50 02 35

IMPRIMERIE MODERNE USHA

Aurillac 15001


☎ 04 71 63 44 60 – fax 04 71 64 09 09

REVUE DE L'ASSOCIATION FRANÇAISE DE TOPOGRAPHIE

136 bis rue de Grenelle – 75700 PARIS 07 SP – ☎ 01 43 98 84 80 – fax 01 47 53 07 10

E-MAIL : aftopo@club-internet.fr • SITE INTERNET : <http://perso.club-internet.fr/aftopo>

Secrétariat : tous les jours de 9 h à 12 h et de 14 h à 17 h

L'AFT est membre de la FIG  ISSN 0290 – 9057 **1999 • 3^e trimestre**

n° 80 • s o m m a i r e

– Editorial	5
André Bailly	
– Info-Topo	7
– Géoïde et nivellement	
Jean-Jacques Levallois	16
– CNIG : les priorités géodésie et nivellement	30
– Sous-marins nucléaires français, auscultation du dispositif de mise à l'eau	
Louis Rochet, Thierry Escoffier, Alain Benoit, Ilario Prévitali	33
– Patrimoine de la ville : 300 km de carrières sous les rues de Paris	
Patricia Davis-Muffett	38
– Souplesse d'emploi des techniques de photogrammétrie numérique	
C. Donnerwirth, B. Dubois, J.-A. Quessette	42
– Base de données cadastrales pour un environnement micro-informatique	
Moha Elayachi, Elmoustapha Adnan, Lahcen Lachgar	46
– Valorisation et diffusion des données géographiques du canton de Genève	
Thierry Morand, Stéphane Couderq	51
– 2000 ou 2001 ?, une controverse inutile ?	
Jean Denègre	57
– Le chantier du Centre Technique Renault	
Michel Chevessier	59
– Achicourt, une ville où il fait bon vivre	
Philippe Kasperczyk	62
– A propos du calcul du point approché GPS, et de la correction d'aberration	
Claude Million	65
– Analyse statistique des formes quadratiques, la méthode des déterminants	
Steffen Schön, Hansjörg Kutlerer	70
– Travailler à l'export : quelques tuyaux	
Robert Chevalier	76
– Chomolungma, la première mesure date de 150 ans	82
– FIG : FIG working Week 1999	
Michel Mayoud	84
– Aménagement urbain foncier en Afrique francophone, colloque régional professionnel	86
– La page de Géomètres Sans Frontières	87
– AFT, section "Alsace-Moselle", visite du cadastre de Bâle-ville	
Olivier Reis, Pierre Grussenmeyer	88
– "Revenir à Arc et Senans", sur l'histoire de la cartographie	
Dominique Vinot	90
– Tramway à Lyon : le retour	
Dominique Vinot	91
– La page 4 x 4 : Isuzu "Trooper", un vrai 4 x 4	
Robert Chevalier	93
– Les livres	
Jack Biquand	94

Pour la recherche de nos annonceurs, consulter la page 74.

LOGICIEL DE TOPOGRAPHIE ET PROJETS VRD



la solution globale du géomètre

COVADIS, c'est la garantie pour votre cabinet d'un applicatif complet et performant :

- Calculs topométriques et codification du levé,
- Dessin topographique 2D/3D,
- Digitalisation et structuration topologique,
- Calculs de lotissements avec quantitatifs et métrés,
- Modélisation 3D avec profils et cubatures,
- Conception de projets VRD et routiers,
- Intégration dans le site et rendu photoréaliste.

COVADIS, c'est la compétence et le sérieux d'une équipe d'ingénieurs partageant quotidiennement vos exigences professionnelles.

COVADIS : le meilleur rendement à tous les régimes.

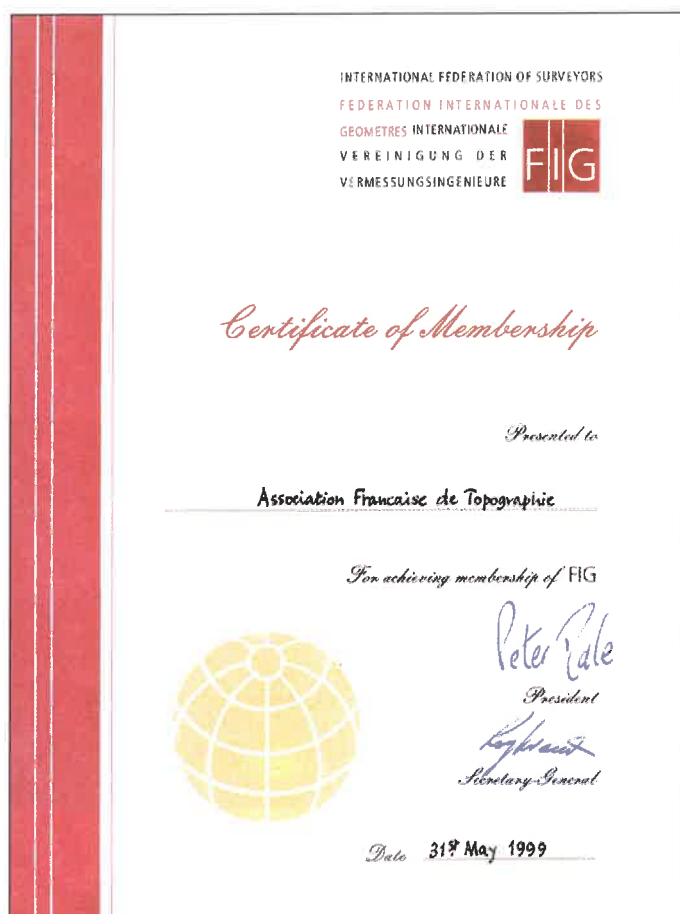


Autodesk.
Authorized Systems Center



Immeuble "La Vigie" - 20 quai Malbert
CP I - 29607 BREST cedex
Tél. 02 98 46 38 39 - Fax 02 98 46 46 64
Site Web: <http://www.geo-media.com>





l'aft a rendez- vous avec "l'histoire"

Éditorial

Une information importante pour les adhérents de l'AFT : Le 31 mai 1999, la FIG admet à part entière l'AFT.

Un peu d'histoire : en 1977 le président Roger SCHAFFNER participe au congrès de la FIG à Stockholm et à son retour, il propose de créer l'AFT et souhaite sa participation à la FIG. Après les contacts avec des présidents de la FIG : Jua TALVITIE, Earl JAMES, Peter DALE et en 1996 c'est la création du CFR-FIG (AFT-OGE) qui est décidée grâce à l'appui de l'AFIGEO et à son secrétaire général, Jean DENEIGRE.

Cette action est poursuivie par Michel MAYOUD pour aboutir, par des chemins tortueux, à cette décision du 10/05/99 et comme l'a dit le président Peter DALE les choses se font marche par marche (Step by Step).

À tous un grand merci.

L'AFT doit continuer à jouer un rôle essentiel notamment au sein des commissions FIG et des activités internationales en y tissant des relations fécondes et contribuer ainsi au rayonnement scientifique et technique de la France.



André Bailly
Président de l'AFT
Secrétaire Général du CFR-FIG



interopérabilité

PENSEZ-Y COMME ETANT LA CLE
DE VOS AFFAIRES



DU CANEVAS A
L'IMPLANTATION.

STATIONS TOTALES
TOUTES MARQUES.

GPS.



Imaginez ce que serait votre productivité si vous aviez un seul outil permettant d'organiser l'ensemble de vos travaux et de contrôler tous vos équipements, GPS et optique. • L'«interopérabilité» commence avec le TSC1, le carnet de terrain universel. Avec lui vous organisez dans un même projet les données de vos récepteurs GPS Trimble et de vos stations optiques quelle qu'en soit la marque. Vous changez instantanément de type d'instruments lorsque nécessaire. • Mais, l'«Interopérabilité» ne s'arrête pas lorsque vous quittez le terrain. Avec Trimble Survey Office™ vous utilisez le même logiciel de la préparation de mission - projet routier, modèle numérique de terrain - à l'exportation des données vers vos logiciels de DAO. • Contactez nous pour découvrir notre gamme topographique.

Les renseignements pour l'an 2000 et le changement de semaine GPS sont disponibles sur www.trimble.com

Trimble
ADDING VALUE TO GPS

Trimble Navigation France S.A
T: 02 99 26 31 81
F: 02 99 26 39 00
www.trimble.com

LE PONT
EQUIPEMENTS

Le Pont Equipments
T: 01 34 93 35 05
F: 01 34 93 35 09

© Copyright 1999, Trimble Navigation Limited. Tous droits réservés. Trimble avec le logo Trimble est une marque déposée de Trimble Navigation Limited enregistrée à l'Institut national américain de la propriété industrielle. Trimble Survey Office et TSC1 sont des marques déposées de Trimble Navigation Limited. Toutes les autres marques appartiennent à leurs propriétaires respectifs.

INFO

TOP

*actualités
bloc-notes
flashes*

Info-Topo est un choix d'informations émanant du comité de rédaction. Il fait l'objet d'un examen critique et la publication des textes sur les produits, les services et les événements de la profession ne présente aucun caractère publicitaire.

Intergraph : réorganisation

Depuis deux ans la société est organisée en trois divisions (logiciels et services). L'objectif de cette nouvelle organisation doit mettre en place une synergie entre les différentes solutions d'Intergraph pour répondre à la globalité des besoins et des attentes des industriels. Pour ce faire la société met en place une politique d'alliances stratégiques (Intel, Microsoft, Aspen Tech, Oracle, entre autres) et une politique de rachat pour compléter la gamme en vue d'une chaîne complète opérationnelle sur toutes les plates-formes Windows

Dans ce cadre la société annonce trois nouvelles nominations : **Yves Dréano**, président directeur général, **Philippe Marceau**, directeur général (division « Process and Power », **Bruno Simon**, directeur général (division gouvernement/utilities/transport/services).

Signalons d'autre part qu'Intergraph met gratuitement à la disposition des utilisateurs **GeoMedia Viewer**, un logiciel téléchargeable via le Web qui facilite l'accès aux informations géographiques. Vitrine de la technologie de la société, il permet aux utilisateurs de découvrir les possibilités qu'offre la gamme GeoMedia en matière de diffusion, d'analyse et de représentation des données géographiques.

(Intergraph-France, <http://www.intergraph.com/france>,
Tél. 01 30 64 14 20 - Fax 01 30 64 75 39
E-mail : ffouquet@symphonie-communication.fr)

L'AFT a vu et essayé...

Le nouveau « Blad Pro 3 D », système de contrôle automatique de nivellement en trois dimensions, issu de la première génération d'asservissement hydraulique des machines fonctionnant avec palpeurs ultrasons et/ou réceptions lasers. Compatible avec tous les systèmes Blade Pro récents, il fait appel à une station totale robotisée lui

indiquant en temps réel sa position dans l'espace et compare les informations reçues au projet initialement stocké dans l'ordinateur embarqué.

Notre collègue de l'AFT Francis Sicot a pu en faire l'expérience au cours d'une journée d'information organisée par la société **SpectraPrecision** le 25 mars dernier au Centre de Formation Émile Picot à Mallemort dans les Bouches-du-Rhône.



(Spectra Precision, Parc Hightec VI, 9 av. du Canada,
les Ullis 91966 Courtabœuf, CEDEX, Tél. 01 69 18 63 30
Fax 01 69 18 63 27 - E-mail : www.spectraprecision.com)

Bienvenue sur le site de l'Associ@tion Fr@nc@ise de Topogr@phie.



Cette page est en cours de construction.
Par conséquent, vos remarques
et suggestions sont les bienvenues.

**Le site Internet
de l'Association Française de TOPOGRAPHIE**

<http://perso.club-internet.fr/aftopo>

Dans le numéro 78, nous vous annonçons la préparation du site Internet de l'AFT.

Plusieurs rubriques sont désormais accessibles :

- les sommaires de la revue XYZ
- les activités de l'AFT
- les statuts et l'histoire de l'Association
- les liens vers les sites de constructeurs et d'organisations professionnelles en rapport avec la Topographie
- les nouveautés (congrès, manifestations...)
- un résumé des activités de l'AFT en anglais et en allemand

La rédaction remercie Jean Baptiste HENRY, étudiant à l'ENSAIS (Filière Topographie) pour sa contribution.

Si vous souhaitez participer au développement de ce site, veuillez contacter Pierre Grussenmeyer (Pierre.Grussenmeyer@ensais.u-strasbg.fr) ou le secrétariat de l'AFT (aftopo@club-internet.fr).

AFT ADHEREZ

L'Association Française de Topographie est le lieu géométrique où se rencontrent les grandes écoles de la nation et de la topographie, les organismes de la profession, et surtout ceux qui ont à connaître de la topographie, opérateurs et utilisateurs.

Vous y partagerez l'expérience et le savoir avec vos collègues de tous les secteurs, vous y trouverez un lieu d'échange et une connection avec vos besoins professionnels, vous y rencontrerez la solidarité du métier.

L'IGN et Géoconcept s'associent...

...pour créer une offre cartographique complète : Géo-route-AdressConcept. Ils proposent un catalogue de données cartographiques couvrant la France et l'Europe et destiné aux utilisateurs de SIG dans les domaines du transport et du géomarketing. Cette coédition est une nouvelle étape dans une tradition de collaboration qui, rappelons le, utilise Géoconcept pour créer les cartes IGN BDTOPO et GEOROUTE. Cette offre propose : la couverture des agglomérations de plus de 10 000 habitants (Géoroute), la couverture des agglomérations de plus de 30 000 habitants (source GéoSignal), la couverture du réseau routier interurbain (BDCarto), et l'assurance d'une mise à jour régulière alliée à une qualité optimale.

Géoroute-AdressConcept est disponible au prix moyen en licence monoposte par région de 55 000 FHT (dans une fourchette allant de 12 500 FHT pour la Corse à 130 000 FHT pour l'Île de France et 600 000 FHT pour la France entière).

(IGN 136 bis rue de Grenelle, Paris 7^e
Tél. 01 43 98 84 16 - Fax 01 43 98 82 83
GéoConcept Tél. 01 53 94 57 00
Fax 01 53 94 57 99 - <http://www.fgcom.fr>)

LUMIÈRE TECHNOLOGIE : 600 000 plans cadastraux en 18 mois

Lumière Technologie remporte l'appel d'offre de la DGI portant sur la numérisation des plans cadastraux. Elle équipera le service du cadastre avec 4 caméras JUMBOSCAN capables de scanner des documents de très grand format (jusqu'à 5 m x 2 m) à 300 dpi. C'est peut-être la solution d'un problème auquel nombre d'administrations se trouvent confrontées quand elles doivent impérativement opérer un transfert de documents sous un format informatique. Longtemps la recréation avec des outils de conception ou de publication assistée par ordinateur a représenté un travail gigantesque difficile à effectuer. Les systèmes développés par cette société semblent répondre parfaitement à cette problématique : grand format, très haute définition, très grande vitesse, très grande précision et des utilisations multiples.

(Lumière Technologie, 35 rue Mathurin Régnier,
75015 Paris, Tél. 01 40 56 98 33 - Fax 01 43 06 88 72)

Multiscopie, un outil MATRA

Pour l'analyse et la production de spatio-cartes à partir d'images aériennes et de satellites, de cartes scannées et d'autres formats du type vecteurs ou en provenance de SIG. De plus, les techniques de photo-interprétation, de traitement d'images et de cartographie utilisées autorisent un grand nombre d'applications. En synergie avec Multiscopie, le logiciel OPTIS de Matra Systèmes & Information permet la production, le traitement et la mise à jour de l'information géographique et cartographique en opérant la fusion de données hétérogènes dans un serveur d'information territorial. Il procède alors à l'extraction de l'information et au formatage puis à la gestion de la production et à l'administration du système. OPTIS génère ainsi de l'information de haut niveau pour les utilisateurs spécialisés et des produits dédiés pour l'aide à la décision.

Signalons également chez MATRA, « PRODIGEO », un outil qui réalise le géocodage et le mosaïquage d'images de télédétection et d'images aériennes pour produire des orthoimages et des spatio-cartes.

(MATRA, 6 rue Dewoitine, BP 14, 78 142 Vélizy CEDEX,
Tél. 01 34 63 72 10 - Fax 01 34 63 72 50)

« Joint Venture » Spectra Precision et Carl Zeiss

L'alliance entre les deux sociétés pour le marché de la topographie se concrétise cet été à l'heure où nous écrivons ces lignes et devrait donc être effective à la rentrée. Cette nouvelle société reprendra l'activité et la division topographie de Spectra Precision prendra en charge le marketing et la commercialisation des produits. La recherche & développement et la production des deux entreprises resteront à leurs endroits respectifs en Thuringe en Allemagne et à Danderyd en Suède. Ces deux partenaires semblent bien se compléter par leur philosophie clientèle, leur même esprit traditionnel, leur sens de la qualité et de l'innovation. Leur intention est ainsi d'accéder aux toutes premières places mondiales chez les fournisseurs de systèmes géodésiques et sur le marché de la mesure.

(Carl Zeiss Systèmes géodésiques, 60 route de
Sartrouville, 78 230 Le Pecq, Tél. 01 34 80 20 00
Spectra Precision, 9 av. du Canada, les Ulis 91 966
Courtabœuf CEDEX, Tél. 01 69 18 63 30).

ESRI : SIG tous azimuts

Catalogue de données : Le marché des données géographiques est en France complexe et disparate, et les offres multiples dans des structures toutes différentes. Cette situation complique le choix des utilisateurs. Nous décrivons plus haut dans ces colonnes l'offre cartographique de l'IGN et de Géoconcept associées pour l'occasion et qui proposent un catalogue de données cartographiques France et Europe pour les domaines du transport et du géomarketing (*géoroute-Adress-Concept*). ESRI propose un catalogue de données adapté au géomarketing, aux SIG et à la logistique qui se décline en 4 versions principales : *ArcRaster*, couverture des voies d'agglomérations de plus de 30 000 habitants, base de données des rues et routes de France (*ex. de prix : Bouches-du-Rhône, 15 000 F*). *ArcAdresses-Géoroute* : agglomérations de plus de 30 000 habitants, coédité par ESRI-France, l'IGN et GéoSignal, applications de géomarketing (*à partir de 3 000 F*). *ArcItinéraires* : qui intègre les réseaux routiers français et les agglomérations de plus de 30 000 habitants, coédité avec TELE ATLAS et GéoSignal, (*ex. de prix : Bouches-du-Rhône, 25 000 F*). *ArcTransport* : réseau routier européen.

Partenariat ESRI/SAP : la complémentarité entre les données fournies par les applications de gestion d'entreprises SAR : R3 et les informations géographiques apportées par ESRI offrent un ensemble de solutions dans le domaine du décisionnel. Une grande partie des bases de données existantes intègrent une localisation spatiale et sur cette base SAP et ESRI ont fondé leur partenariat stratégique et technologique. ESRI va développer pour SAP R/3 les interfaces qui concernent les produits « ARC/INFO, ArcView, SDE, MapObjects ».

Commercialisation de « Facility Carto » : pour l'intégration de solutions cartographiques dynamiques à des sites internet. ESRI commercialise ainsi l'offre de PLANFAX permettant si l'on dispose d'un site, d'y ajouter cette composante d'expérience et de savoir faire.

ESRI et ArcFM : Développé en collaboration avec Miner & Miner, ArcFM est une solution spécialement conçue pour la saisie, la gestion, la maintenance des réseaux électriques, de gaz, d'eau, d'assainissement et toutes gestions d'un réseau fixe. Il peut facilement s'intégrer aux différents systèmes d'information déjà en place.

GeoKiosk : outil de diffusion de l'information par la cartographie, il peut être mis à disposition du public dans des bornes pour l'informer sur les circuits de transport ou sur les règles de l'urbanisme. On peut y localiser avec précision des lignes électriques ou des canalisations. GeoKiosk est compatible avec les principaux formats et les projets peuvent être entièrement conçus et modifiés sans développement avec les outils d'intégration en s'appuyant directement sur les données existantes. (CD Rom de démonstration gratuit).

*ESRI France, 21 rue des Capucins, 92 190 Meudon
Tél. 01 46 23 60 60 - E-Mail : info@esifrance.fr
www.esifrance.fr
pour GeoKiosk : www.geokioskcom.com.)*

Le cadastre du Liban choisit Bentley

Pour moderniser son cadastre national, le Liban adoptera les technologies Bentley. Ces logiciels de geo-ingénierie vont ainsi remplacer l'ensemble des cartes encore sur papier. Ils incluent notamment MicroStation Geographics et MicroStation Descartes, à l'issue d'une évaluation qui a duré une année. Le processus de modernisation est dirigé par le groupe néerlandais ILIS/DHV et réalisé par une compagnie libanaise de Beyrouth, Transcad. Le travail devrait être exécuté en deux ou trois ans. (Bentley systems France, CNIT-BP 424-920536 Paris-la-Défense - Tél. 01 46 92 40 93 - www.bentley.com).

Accord mondial entre MapInfo et Oracle

A.D.D.E. distributeur exclusif de MapInfo en France, a signé avec Oracle Corp un partenariat technique et marketing pour déployer les analyses spatiales dans les applications d'intelligence économique, de datawarehouse et de commerce électronique. Cet accord couvre à la fois l'intégration de technologies MapInfo dans les modules spatiaux des bases de données Oracle, et l'utilisation transparente par tous les logiciels de MapInfo de données issues de bases Oracle. Au-delà de cet accord technique, cette alliance offre la première plate forme complète intégrant l'analyse spatiale aux applications de gestion.

*(A.D.D.E., 17 rue Louise Michel, BP 29
92 301 Levallois-Perret-cedex, Tél. 01 41 05 37 05
E-Mail : adde@adde.fr - Web : www.adde.fr)*

Spectra Precision : nouveau réflecteur actif RMT 360°

Pour terminer son programme de réflecteur RMT, la firme crée un petit réflecteur 360° très pratique, qui ne pèse que 250 grammes avec un diamètre de 5 cm. Il est

bien sûr actif, équipé de diodes lumineuses que l'instrument identifie ce qui revêt une importance particulière au cours des mesures robotisées quand la prise de mesure est commandée à partir du RMT. Le prisme suit très bien le RMT même en présence de branches ou de feuilles, sa portée va jusqu'à 500 m en visibilité normale. En plus, la couronne de prismes peut être utilisée séparément pour la prise de mesures conventionnelles.



*(Spectra Precision,
voir coordonnées
dans ces colonnes).*

DSNP : trois nouveaux partenariats

La société étoffe sa palette de produits proposés en complément à ses systèmes GPS de précision, en concluant trois nouveaux accords de distribution avec des éditeurs européens de logiciels spécialisés : Grontmij Geogroep aux Pays-Bas, 3D System en Finlande et Terrasat en Allemagne. D'autre part, DSNP enregistre de nouveaux succès pour sa gamme SCORPIO dédiée aux applications topo, en effet, un cabinet de GE de Belfort

(70 collaborateurs) vient d'acquiescer deux systèmes complets SCORPIO 6002 SK/MK équipés de logiciels 3S PACK et KISS. Pour des travaux très divers il semble que ces équipements soient retenus pour leur robustesse et le haut niveau d'intégration allié à leur convivialité.

(DSNP, BP433 44 474 Carquefou CEDEX France,
Tél. : (33) 2 40 30 59 00 <http://www.dsnp.com>).

Un logiciel TP : MENSURA WINDOWS

Destiné aux professionnels de la topo, du VRD et des TP, ce logiciel de calculs a été entièrement réécrit sous Windows. Sur le marché depuis quinze ans, il compte aujourd'hui 600 licences en différents modules : topographie, terrassement, métré, assainissement, projet routier. Conçu par la société COBRA INTEGRA FINANCE, il permet la récupération de tous les formats de carnets de terrain, des données GPS, le traitement des calculs topo, une interaction avec les fonctions VRD et des traitements graphiques évolués.

(C.I.F., forum d'Orvault, BP 75, Orvault CEDEX
Tél. 02 40 16 92 60 - Fax 02 40 94 84 74
Web : www.mensura.net)

NMG change d'adresse

Société positionnée sur le marché des systèmes d'informations techniques à composante graphique, NMG est une fédération de moyens qui proposent un savoir faire et des compétences en termes de solutions comme « Network Management Solutions sa-NMS », de données comme « Network Mapping Facilities sa-NMF », et d'outils comme « Network Management Tools sa-NMT ».

Créée avec 3 personnes en 1996, son 200^e collaborateur vient de fêter son arrivée et le groupe projette pour la fin de l'année d'atteindre 300 collaborateurs et un chiffre d'affaire de 10 MF. Pas étonnant qu'ils se sentent à l'étroit et qu'ils déménagent !

Nouvelle adresse :

264 rue de Garibaldi - Le Madura - 69488 Lyon CEDEX 03
Tél. et courrier électronique sans changement :
+ 33 4 7284 7900, + 33 4 7284 7919
E-Mail : nmg@nmg.fr

Intergraph : nouvelles versions des produits

Trois outils Intergraph dont les nouvelles versions devaient apporter aux utilisateurs de MicroStation une large solution pour qualité et productivité, grâce à la rapidité et la convivialité qui offrent de hautes performances pour l'affichage, le traitement et l'analyse de l'image.

Image Viewer 7.1 :

Image Viewer permet l'affichage, le tracé et la manipulation simple des images pour un coût modéré. Il peut lire un grand nombre de formats natifs tels que TIFF, jpeg, bmp, etc. Les utilisateurs n'ont pas besoin de convertir les fichiers, ils peuvent les visualiser directement et exploiter les informations de géo-référencement.

I/RASC 7.0 :

I/RASC offre les mêmes fonctionnalités de base qu'Image Viewer complétées par de puissantes fonctions de traitement d'images, d'amélioration de la radiométrie, d'édition, d'extraction, de géo-référencement, de mosaïque, etc. Il permet aux utilisateurs d'afficher et de mani-

puler facilement des images et des cartes scannées tout en travaillant avec d'autres applications MicroStation telles que MGE ou InRoads.

La nouvelle version de cet outil de traitement des images intègre désormais les modules MCSO et GRID Generation, qui étaient jusqu'à présent vendus séparément. L'utilisateur peut ainsi définir et utiliser des systèmes de coordonnées tout en bénéficiant automatiquement des éléments cartographiques correspondants : grilles, carroyages, marques et étiquettes en marge.

MCSO offre plus de 45 systèmes de projections cartographiques différents, permettant à l'utilisateur de travailler dans un véritable contexte géographique avec des coordonnées terrain réelles.

De plus, I/RASC dispose de nouvelles commandes de dessin de pixels ainsi que d'un nouveau traducteur Landsat TM.

Image Analyst 7.1 :

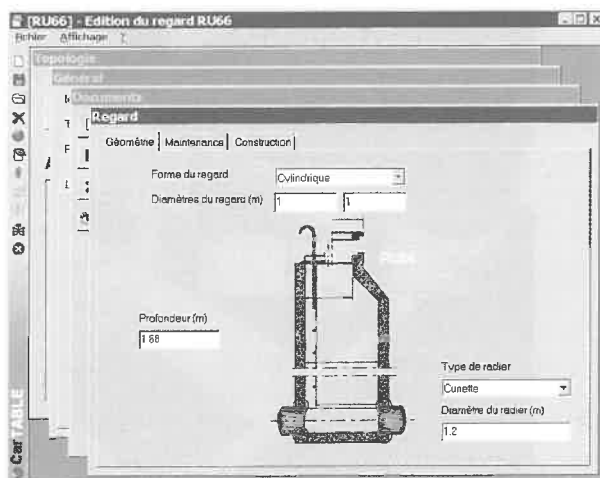
Cet outil d'analyse des images comprend toutes les nouvelles fonctionnalités d'Image Viewer et I/RASC. Cette version apporte également des fonctions avancées de classification d'images supervisées et non supervisées, d'analyse multispectrale ainsi qu'une nouvelle commande de transformation de projection.

(Intergraph - Tél. 01 30 64 14 20 - Fax 01 30 64 75 39
E-mail : ffouquet@symphony.communication.fr)

CarTable 2

La société iMédia propose un SIG dédié à l'assainissement. Cet outil d'aide à la décision s'interface sur AutoCAD et MicroStation. Baptisé CarTABLE, ce système d'informations géographiques fonctionne sous Windows 95 et NT. Il permet la création et la mise à jour du réseau d'assainissement. Le carnet de terrain est un terminal portable qui permet de saisir ou de mettre à jour des objets de la base de données directement sur le terrain. Après avoir saisi les informations nécessaires, il suffit de le reconnecter au SIG qui permet automatiquement la mise à jour de la base de données.

À noter que ce SIG est capable d'incorporer des données provenant des inspections télévisées réalisées par le logiciel Tube Report. Il permet d'associer les données issues d'autres prestations typiques du monde de l'assainissement comme les tests d'étanchéité à l'eau, à l'air et à la fumée ou encore les contrôles de conformité de branchements d'assainissement autonome et les tests de compactage.



SIG à St Brieuc

Invitée par la mairie et la société ESRI, l'AFT était présente en la personne de Jean Fleury à la présentation de l'utilisation des SIG dans la ville. La société ESRI est très présente en Bretagne avec ce produit qui semble bien convenir à ce type de ville moyenne, bien qu'il nécessite quand même une solide équipe informatique pour les applications locales et aussi des partenaires financiers. La base à St Brieuc, comme ailleurs (Rennes, Quimper, Vannes...), est le cadastre numérisé, complètement réalisé à St Brieuc. Un orthophotoplan couvre également l'ensemble et apporte le complément photographique. Une des premières applications a été la réalisation du plan de la ville, avec, en prolongement, un système de « géokiosk » constitué de bornes réparties dans la ville et permettant de se situer et de s'orienter en faisant apparaître les informations sur écran. Le service rendu par le SIG permet de multiples applications, avec une mise à jour rapide et efficace, l'utilité pour tous les services exploitant le plan de la ville est probant (voirie, propriété, enseignement, espaces verts, POS, cadastre, réseaux aériens et souterrains, travaux urbains et leur impact sur le bruit, la vue, etc.) Avec une municipalité et un maire très « moteur », le SIG devient incontournable et devait être utilisable sur internet au deuxième semestre de cette année. La présentation du SIG, des premières réalisations, et des projets étaient l'objet d'une journée spécifique le 23 juin dernier.

ESRI France, 21 rue des Capucins, 92 190 Meudon
Tél. 01 46 23 60 60 - E-Mail : info@esifrance.fr
www.esrifrance.fr
pour GeoKiosk : www.geokiosk.com.)

Les journées de l'arpentage romain

Les premières journées de l'arpentage romain se sont déroulées à Marseille du 19 au 23 mai dernier, sous l'égide de notre collègue Patrick-Joachim Rubini, auteur dans notre dernier numéro d'XYZ (79) de l'article « archéologie expérimentale et arpentage antique ». Cette manifestation qui comportait une démonstration de la « groma », a été contrariée par un fort mistral. D'autres séances sont prévues dans différentes régions de France et nous ne manquerons pas de vous en avvertir dans ces colonnes.



TopoSat déménage à Paris

Le 1er octobre la société TopoSat prendra racine dans la capitale, quittant la ville de Hyères dans le Var. Prestataire de services en positionnement GPS depuis 1990, consultant en topographie auprès d'administrations nationales et internationales, organisme de formation, sa nouvelle adresse est : 47 rue Servan, 75011 Paris, téléphones et fax en préparation, mais on peut d'ores et déjà consulter son site web : www.toposat.fr ou le mail : info@toposat.fr.

Microflex Windows CE (DAP Technologie)

Appareil robuste destiné aux métiers industriels (étanchéité, chutes, température...), le Microflex CE5240 est doté d'un écran graphique, d'une saisie vocale, et d'interface infrarouge (IrDA), PCMCIA ou RS232. Un nouveau système d'exploitation, Windows CE, offre une flexibilité de fonctionnement (langages JAVA, Visual C++ et Visual Basic).



DAP Technologies

6, place du Village des Barbanniers
92632 Gennevilliers Cedex
Tél. 01 41 21 95 95 – Fax 01 41 21 95 65
E mail : salesparis@paris.daptech.com – www.daptech.com)

Les ateliers de travail de l'OEEPE

Cette année, l'OEEPE a organisé sous les auspices de la SFPT et de l'IGN son atelier de travail sur l'automatisation de la Production en Photogrammétrie Numérique dans les locaux de l'ENSG à Champs-sur-Marne du 21 au 24 juin.

Suivie par tous les photogrammètres d'Europe, cette rencontre a permis de faire le point sur l'état des techniques et de comparer les points de vue des différents acteurs de la photogrammétrie : chercheurs, enseignants, constructeurs, utilisateurs institutionnels et utilisateurs privés.

Les sessions de travail, très denses, se sont intéressées à toutes les étapes de la production numérique pour en analyser les performances actuelles et futures : Caméra numérique, Scanner, Production automatique de MNT, Aérotriangulation automatique, Orthophoto, Management et Logistique d'un projet numérique.

Le détail des présentations et des discussions fera comme de coutume l'objet d'une publication officielle de l'OEEPE.

Pour compléter les sessions, une exposition de matériels présentait les dernières nouveautés en photogrammétrie numérique, parfois limitée à un nouveau nom, souvent très intéressantes. On a pu ainsi remarquer la présence de Z/I Imaging, LH-Systems, ESRI mais, signe des temps, ce sont les petits systèmes tout numérique sur PC comme POIVILLIERS E (IGN), DVP (Canada), VirtuoZo (USA) et PHOTOMOD/PHOTOSPOT (CHS) qui ont attiré le plus de visiteurs.

OCE : des solutions modernes de reprographie

Du 15 au 17 septembre 1999 OCE-France, le copieur-imprimeur bien connu, a exposé lors de « **REPRO 99** » des solutions de reprographie numériques, petits et grands formats, monochromes et couleurs ainsi que l'ensemble de ses services, le tout résolument tourné vers l'offre logiciel. En plus de son stand traditionnel, OCE était également présent au sein du village GED auprès de ses partenaires SD, FiletNet, Lascom et GDM. Parmi les nouveautés présentées notons : Océ 8445/65, imprimantes de production en environnement central et réseau, Océ 3165 version 3.1 avec de nouvelles fonctionnalités pour le copieur/imprimante numérique, Océ 3145 copieur imprimante numérique moyen volume, Océ 3121, système multifonction moyen volume doté d'un scanner, Océ CS5050/70 imprimantes et solutions d'impression couleurs grands formats et Océ CS4050 scanner et solution de copie.

(OCE-FRANCE, 32 av. du Pavé Neuf,
93882 Noisy le Grand Cedex, tél. 01 45 92 50 00)

OGE, Élections à la Fédération et au Conseil Supérieur de l'ordre

André Radier élu à la présidence de l'Ordre, GE DPLG, diplômé de l'IT, 56 ans; Lattès (Hérault). Guy François, premier vice-président, GE DPLG, diplômé de l'IT, 62 ans, l'Isle-Jourdain (Gers). Guy Bléard, vice-président, GE DPLG, diplômé de l'IT, 57 ans, Boulogne-sur-Mer et Alain Gaudet, vice-président, ingénieur ENSAIS, 53 ans, Clermont-Ferrand. Dominique Lenoir, réélu trésorier, GE DPLG, diplômé de l'IT, 54 ans, Lorient. Jean-Yves Bourguignon, élu secrétaire, GE, DPLG, diplômé de l'IT, 45 ans, Peyraud (Ardèche).

Philippe François est réélu président de la fédération, GE, DPLG, diplômé de l'IT, 58 ans, Montauban, président de la fédération régionale de Toulouse. Au bureau de son comité directeur de la fédération : Pierre Bloy, vice-président, 57 ans, GE, DPLG, diplômé de l'IT, Paris. Serge Garrigou, vice-président, 43 ans, GE, DPLG, diplômé de l'IT, Le Havre. Gérard Bourgogne, réélu trésorier, 55 ans, GE, DPLG, diplômé de l'IT, Douai. Dominique Desmet, 50 ans, secrétaire, GE, DPLG, diplômé de l'IT.

L'ARMADA DU SIÈCLE, le livre Guinness des records et un certain TCR1103

L'été à Rouen a été l'été de « l'armada du siècle ». Parmi les nombreuses animations qui fleurissaient l'évé-

nement, il n'y eut pas que les splendides et immenses toiles des navires. D'autres toiles, de projections d'images celles-là, présentaient au public un gigantisme d'écran digne d'être admiré comme un record... Pour cela, Maître Georges Golliot, huissier de justice à Rouen, s'était déplacé pour officialiser les mesures réalisées par Jean-François Poileux, géomètre-Expert de la même bonne ville. Les points de mesure étaient bien sûr inaccessibles et sans réflecteur pour la visée. La Station Totale TCR1103 à laser visible a été choisie par notre confrère pour répondre à toutes ces exigences. *Résultats des courses, l'écran mesurait : L = 122,74 m, H = 58,67 m, Diagonale = 136,04 m. Tous les éléments d'un record!... qui, bien sûr, doit être maintenant homologué pour figurer au livre Guinness des records. Ce qui ne fait guère de doute, nous vous tiendrons au courant dans ces pages.*

Mesurer les performances athlétiques avec précision.

La Fédération Internationale d'Athlétisme a décidé de faire appel aux procédés optoélectroniques pour mesurer les épreuves sportives des meetings.

Comme en topographie, la mesure optoélectronique a définitivement détrôné celle du ruban de mesures et est de l'ordre du millimètre et son transfert électronique rend cette méthode fiable et rapide. LEICA s'illustre particulièrement en la matière avec sa gamme de tachéomètres TPS1100 qui mesure au moyen d'un faisceau infrarouge et détermine les angles vertical et horizontal en visant une cible que le juge a préalablement placée à l'endroit où l'athlète ou l'objet ont touché le sol. Le logiciel intégré dans l'appareil livre le résultat en moins d'une seconde et en moins de trois secondes pour les grandes distances (javelot, marteau, etc.).

Sur l'écran de l'instrument le résultat est affiché, sur simple pression de touche il est communiqué au juge qui les transmet à l'affichage, à la télévision et aux instances officielles. Toute erreur de transfert et de mesure est exclue puisque la procédure est entièrement électronique et automatique. Chaque étape est certifiée et l'on peut affirmer aujourd'hui que la qualité totale est intégrée dans le domaine de la mesure des performances sportives.

(Leica Geosystems, Parc du St Laurent,
54 rte de Sartrouville, bâtiment « Le Québec »
78232 Le Pecq cedex.
Tél. 01 30 09 17 00 - Fax 01 30 09 17 01
E mail : www.leica.com

Séminaire international sur les SIG et la TELEDETECTION

Organisé par le CNIG algérien, un séminaire international aura lieu à Alger du 15 au 17 novembre 1999 pour promouvoir l'emploi des SIG et mettre en place une stratégie de développement et de généralisation de ces outils. Dans l'Algérie qui se propulse vers le modernisme, se profile ici un carrefour où peuvent se rencontrer ingénieurs, techniciens, utilisateurs et producteurs. Seront abordés les concepts et méthodes, l'acquisition et l'intégration des données, la problématique de développement et l'application, les perspectives d'utilisation. L'appel à communication est lancé, pour tous renseignements ou informations contacter le secrétariat du séminaire :

CNIG-AL-SIG'99, s/c INCT, 123 rue de Tripoli,
BP 430 Hussein Dey 16040 Alger.
Tél. 312 (2) 233699, e mail : cnig@onssiege.ons.dz



Station totale DTM500

La série DTM500 de Nikon est composée de 3 stations totales idéales pour tous les travaux topographiques en travaux publics, bâtiment et génie civil.

La série DTM500 dispose d'un clavier alpha-numérique double, idéal pour la saisie des données. Une mémoire interne de 5000 points permet le stockage des points XYZ en lever ou implantation. Le lumi-guide en série sur tous les modèles assiste le porte prisme pour des implantations rapides.

De plus, les stations DTM500 sont traitées tout temps, sont équipées des fameuses optiques ED de Nikon et disposent d'une autonomie de batterie de 10 heures et demie en fonctionnement continu. La prise en main de la station totale et de son logiciel en français se fait en une demi-journée.

Nikon France S.A. - 191, rue du Marché Rollay
94504 Champigny-sur-Marne - Tél. 01 45 16 45 16
Fax 01 45 16 00 33

Deux français élus à l'AIG

L'Association Internationale de Géodésie a élu deux collègues français à sa direction dans son assemblée générale du 21 juillet dernier qui s'est tenue à Birmingham, Claude Boucher président de la commission 10 et Pascal Willis secrétaire de la section 21. Le président élu de l'association est l'italien Fernando Sanso, ses deux vice-présidents étant le suisse Gerhard Beutler et le brésilien Denizar Blitzkow.

SUR NOTRE AGENDA

9/11-09-99	COAST - GIS 99 « Gestion intégrée du littoral » - Brest - Tél. IFREMER 02 98 22 43 10
23/24-09-99	47 ^e semaine photogrammétrique - Stuttgart (D) Tél. 49 (711) 1213201 - Fax 49 (711) 1213297
30-09 au 03-10 99	Festival international de géographie - St Dié des Vosges, « Vous avez dit nature ?, géographie de la nature, nature de la géographie » Tél. 33 (3) 2952 6678 - Fax 33 (3) 2956 0931
29/30-09-99	Conférence des utilisateurs ESRI Paris - Maison de la Mutualité - Tél. 01 46 23 60 60
30-09 au 01-10-99	Technique spatiales pour la gestion des risques majeurs - Paris - Tél. 01 45 56 73 60
15/17-09-99	Repro-expo 99, porte de Versailles, Paris.
30-09-99	ENSG, Cité Descartes, Marne la Vallée, « Forum Technique GPS, toute la journée.
5/7-10-99	Conférence des utilisateurs Trimble - San José - USA - Tél. 1 (408) 481 8940
7/8/9-10-99	Salon de la copropriété - Porte de Versailles - Paris - Tél. 01 53 63 17 17 - Fax 01 40 49 04 91
13/14-10-99	Forum Bentley - Carrousel du Louvre - Paris - Tél. 01 53 17 11 40 - Fax 01 53 17 11 45
14/14-10-99	La 3 ^e dimension dans les SIG et la mensuration officielle - Information géographique des conduites souterraines - ETM Zurich (CH) - Tél. 01 633 3055 - Fax 01 633 1101
25-04 au 31-10	à ARC et SENANS,
21-12-99 au 04-2000	à la CITÉ DES SCIENCES DE PARIS LA VILETTE : « Dessiner le monde, de l'aquarelle au pixel » ou l'histoire de la cartographie.
29-06 au 03-10-99	« Le dessus des cartes, un atlas parisien », Pavillon de l'Arsenal, Paris.
15/17-09-99	6 ^{ème} salon des solutions informatiques et des services pour la qualité et le réaménagement. Paris, Porte de Versailles. Tél. 01 53 17 11 40.
08/13-11-99	BATIMAT, Porte de Versailles, Paris.
16/21-05-2000	INTERMAT, Paris-Nord, Villepinte.

Jean GATEAUD nous quitte

Un ami, un homme de cœur et de valeur, notre collègue ingénieur géographe de l'IGN Jean Gateaud nous quitte ce 3 août à 80 ans, c'est l'âge, mais c'est trop tôt pour nous ! Pour ceux qui le connaissent, en France d'abord, et sur toute la planète où il a fait fleurir les amitiés pour lui et pour son pays, l'automne prochain va naître avec un vide.

Pour son pays, déjà, il avait rejoint la résistance à l'occupation étrangère, à Alger, puis à Londres, alors qu'il était tout frais émoulu de l'ENSG en 1942. Géodésien il fût. Mais les meilleures graines il va les semer aux quatre coins du monde où il dirigera les centres IGN, où il sera partout un remarquable négociateur, ce qui lui vaudra, outre la reconnaissance de son pays et de l'IGN, celle de nombreux et hauts responsables techniques et politiques des pays francophones.

Salut Gateaud, on t'aimait bien.

ANNONCES

• 80-3 (1) – Recrutement à NMG

Network Management Group lance le recrutement de 35 ingénieurs de haut niveau spécialisés dans les technologies SIG.

- 5 commerciaux seniors et juniors pour Paris, Lyon, Mulhouse, Montpellier.
- 5 chefs de projets à Paris, Lyon et Montpellier (4 années d'expérience).
- 25 développeurs et ingénieurs consultants pour les sites français de NMG, Avignon, Lyon, Marseille, Montpellier, Mulhouse, Nantes et St Étienne.

Le pôle « information géographique » de NMG couvre toutes les étapes liées à l'élaboration d'un SIG et à son exploitation. La société réalise 40 % de son chiffre d'affaire à l'export et compte actuellement 300 collaborateurs en France, en Europe, en Afrique et en Amérique du Nord. NMG a également développé des compétences complémentaires à travers ses pôles « télécoms » et « GED & Workflow ». Elle cible les collectivités locales, les réseaux, l'industrie, la défense, et les Services. *Network Management Group S.A. – NMG Le Madura – 264 rue Garibaldi – 69488 Lyon CEDEX 3-1 – E-mail : e.berck.nmg.fr – Site : www.nmg.fr*

• 80-3 (2) – École Spéciale des TP (ESTP)

Recherche un ingénieur généraliste. Il aura la responsabilité d'un laboratoire de topographie et des enseignements afférents (cours et travaux pratiques). Dans le cadre de ses activités il développera des actions de recherche appliquée avec les entreprises du secteur. Il encadrera un ou deux techniciens(nes) de laboratoire et six à dix professeurs à temps partiel. Expérience pédagogique et de recherche demandée, connaissance d'une langue étrangère souhaitée ainsi qu'une expérience dans un cabinet de géomètre. *Adresser lettre, CV, photo et prétentions à : ESTP – Régis Vallée – 57 boulevard St Germain – 75240 Paris CEDEX 05.*

• 80-3 (3) – J.-H. Technicien topographe

3 ans d'expérience (géodésie, topographie, informatique), faculté des sciences math et physique, BTS de Géomètre-Topographe, expérience d'opérateur-topographe pour le TGV Sud-Est (GIE, tunnel de Marseille) et travaux dans le BTP. Anglais et espagnol étudiés, stage DAO AUTOCAD. Intéressé par les missions à l'étranger et le BTP. Très disponible et ouvert sur un parcours professionnel quel qu'il soit. *Écrire à la revue ou tél. : 0561582350 et 0681955399.*

• 80-3 (4) – J.-F. DESS de cartographie (Paris 1)

Maîtrise de géographie. Solides connaissances dans le traitement des données, les représentations graphiques et maîtrise des outils informatiques (SIG et logiciels de dessin). Langues anglaise et allemande. Plusieurs expériences professionnelles : ministère de l'Éducation Nationale (atlas sur la vie étudiante), SNCF (cartographie des réseaux de transports des Vosges), vacation à l'IRD (ex ORSTOM), interprétation de photos aériennes, numérisation et cartographie thématique. *Écrire à la revue ou tél. 01 46 68 20 47.*

• 80-3 (5) – J.-H. Géomètre-topographe

Très motivé. Titulaire d'un BT Géomètre-topographe avec expérience de chantier, maîtrise d'Autocad 12-13-14 et Microstation, emploi GPS système « TOPCON ». Cherche emploi dans cabinet GE, BE ou TP. Région Pays de Loire et Bretagne. *Écrire à la revue.*

A propos du raccordement des Observatoires de Paris et de Greenwich

La revue XYZ, numéro 79 du 2^e trimestre 1999, a publié, page 79, une note de bas de page qui a dû rendre perplexe certains de nos lecteurs. D'autres, dans la perspective de l'éclipse, n'y ont pas prêté attention. D'autres encore auront trouvé, pour la longueur d'une base, une curieuse anomalie entre sa longueur en *feet*, celle en *mètres* et celle qu'ils auraient pu calculer sur la foi de la note de bas de page associée... il aurait fallu lire : le *foot* anglais, comme le *pied* français de 12 *pouces*, comprend 12 *inches*. L'*inch* vaut 2,54 cm, tandis que le *pouce*, comme le *Zoll* allemand, vaut 2,72 cm. De là, le *foot*, puis les *feet*, puis les *mètres*...

Suzanne Débarbat

Géοide & Nivellement

par Jean-Jacques LEVALLOIS

Le géοide, jadis chasse gardée de quelques spécialistes, est devenu depuis le développement de la géodésie spatiale et l'immense succès du GPS, la propriété de tous les topographes.

Cependant, tous les utilisateurs du terme l'emploient trop souvent sans trop en connaître les méthodes de détermination, leurs difficultés – théoriques et pratiques – leur précision.

Le présent exposé se propose de leur apporter quelques indications nécessaires en les mettant en garde contre trop d'optimisme, leur faire connaître à quoi tendent depuis quarante ans les efforts des géodésiens spécialistes, et "qu'il n'y a pas de problèmes qui sont résolus et d'autres qui ne le sont pas; il y a des problèmes plus ou moins résolus" (Henri Poincaré).

Le choix du niveau moyen de la mer comme origine des altitudes du nivellement, remonte officiellement en France au milieu du XIX^e siècle; en fait, l'idée était déjà dans l'air dès l'époque de la méridienne de Jacques Cassini qui intitule dans le "Traité de la Grandeur et de la Figure de la Terre" [1] son chapitre X : "Observation de la hauteur de diverses montagnes d'Auvergne, du Languedoc et des Pyrénées avec quelques observations de la hauteur du baromètre et de la bassesse apparente de l'horizon de la mer faites sur quelques-unes de ces montagnes."

Il y précise que "les opérations géométriques qui se font sur une plaine au niveau de la mer sont simples et propres à être employées pour déterminer la grandeur de la Terre, mais celles qui se font sur des lieux élevés ont besoin d'être réduites par la connaissance de la hauteur de ces lieux..." et évoque immédiatement ses travaux en Catalogne "en un lieu élevé d'environ 9 pieds sur la surface de la mer, nous observâmes la hauteur apparente du Canigou sur l'horizon artificiel."

Picard avait déjà évalué à 44 toises au-dessus "du niveau de la mer" l'emplacement de la tour de la salle orientale de l'Observatoire où se trouvait le baromètre. Il l'avait probablement calculée en comparant la longueur de la colonne du baromètre au niveau de la mer et à l'Observatoire, connaissant le gradient de hauteur du baromètre à Paris (cf. Pascal – expérience de la Tour Saint Jacques).

En fait, Pascal écrit déjà dans [2] "... toute la mer est précisément du même niveau, c'est-à-dire également distante du centre de la terre en tous ses points : car les liquides ne peuvent reposer autrement puisque les points qui seraient plus haut couleraient en bas...". C'est exactement ce qui dira plus tard Clairaut dans [3] "... un fluide ne saurait être en repos à moins que la surface ne soit de niveau, c'est-à-dire perpendiculaire à la ligne à plomb, parce qu'alors chaque goutte n'a plus de pente à couler d'un côté que de l'autre... toute la question de la forme de la terre est donc fondée sur la loi selon laquelle la force de pesanteur agit".

En d'autres termes la notion de la mer "surface" de niveau "origine" est en route. Les mesures géodésiques du XVIII^e siècle se proposent d'en rechercher la forme géométrique générale. On sait déjà que ce n'est pas une sphère et on recherche quel ellipsoïde de révolution conviendrait le mieux à la figure de la Terre.

Les célèbres expéditions de l'Académie Royale des Sciences en Laponie et au Pérou confirment cet aplatis-

sement à la fois par la méthode des arcs et par la méthode pendulaire : l'arc de 1° d'amplitude aux hautes latitudes est plus grand qu'à l'équateur et la valeur de la pesanteur g , y est également supérieure. Dès 1742, Clairaut précise même qu'il existe une équation fondamentale liant l'aplatissement terrestre : $\alpha = (a - b)/a$, à la variation relative de la pesanteur $\beta = (g_p - g_e)/g$, et à l'intensité relative de la force centrifuge équatoriale à la pesanteur $m = \omega^2 a/g$.

Ses équations sont résumées ci-dessous :

$$\alpha = \frac{3}{2} j_2 + \frac{1}{2} m$$

$$\beta = 2\alpha - \frac{9}{2} j_2 + m$$

$$\alpha + \beta = \frac{5}{2} m$$

où j_2 , que nous retrouverons plus loin, est égal au rapport

$$\frac{(C - A)}{Ma^2} \quad C, A \text{ moments d'inertie.}$$

La notion de potentiel de la pesanteur et ses propriétés seront dégagées par Lagrange et surtout Laplace à la fin du XVIII^e siècle. Le mot géοide n'est pas encore inventé (il fera beaucoup pour la mémoire de Listing).

POTENTIEL DE LA PESANTEUR

Au risque de lasser le lecteur, rappelons quelques théorèmes de mécanique qu'il pourra d'ailleurs sauter, quitte à y revenir si ses souvenirs s'estompent.

En un point de la surface terrestre, la pesanteur g est la force qui s'exerce sur une masse unité et l'attire vers "le bas".

Par définition, cette force est verticale (fil à plomb); elle est la résultante de deux forces, l'attraction (universelle) des masses terrestres et la force centrifuge.

a/ Il existe une fonction W appelée potentiel de la pesanteur dont g est la dérivée dW/dn , dn désignant la verticale locale.

Cette fonction est de la forme :

$$W = G \int \frac{dm}{r} + \frac{1}{2} \omega^2 (x^2 + y^2)$$

où :

- G est la constante de l'attraction universelle;
- $\omega^2 x$ la force axifuge en P ;
- r la distance PM ;
- dm la masse attirante en M ;
- x, y, z les coordonnées de P dans le système terrestre pôle, méridiens.

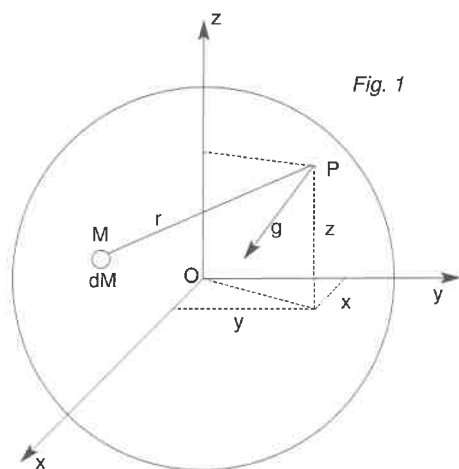


Fig. 1

b/ Si on attribue au potentiel une valeur numérique donnée W_0 , on définit une surface équipotentielle (ou de niveau) normale à toutes les verticales, et une seule. Deux surfaces de niveau, même très voisines, n'ont aucun point commun, elles s'enveloppent.

c/ L'intégrale $G \int dm/r$, c'est-à-dire le terme gravifique du potentiel W ,

– à l'extérieur des corps attirants, est une fonction **harmonique**. Elle vérifie l'équation aux dérivées partielles :

$$\Delta W = \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} = 0$$

– à l'intérieur des corps attirants, elle vérifie une équation différentielle dite équation de Poisson :

$$\Delta W = \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} = 4\pi G\mu$$

où μ est la densité de matière au point M considéré.

d/ On rappelle les théorèmes de Newton sur le potentiel gravifique de sphères constituées de couches attirantes concentriques :

- leur attraction est égale à celle de la masse totale concentrée au centre de la sphère, le potentiel est égal à GM/R .
- dans une cavité sphérique centrale, le potentiel est constant, l'attraction y est donc nulle.

GÉOÏDE

Par définition, le géoïde est la surface équipotentielle de la pesanteur qui coïncide au mieux avec le "niveau moyen" des mers. [4]

On aurait pu le définir également par un point origine précis – un repère de marégraphe par exemple – ou par une valeur numérique W_0 de ce potentiel au point origine. Ces trois définitions ne sont pas identiques, la première laisse entendre que le géoïde actuel n'est pas éternel, ce que démontrent la géologie ou même les variations à long terme du niveau moyen de la mer sur les côtes. Tout ceci implique qu'un très gros effort soit entrepris au point de vue expérimental géodésique et océanographique.

SYSTÈME DE RÉFÉRENCE 1980

L'Association Internationale de Géodésie a adopté en 1980, un modèle Terre de structure mathématique, qui résume un certain nombre de propriétés du corps terrestre par un petit nombre de valeurs expérimentales (Référence 1980).

C'est un ellipsoïde de révolution, sa surface est une surface équipotentielle de sa propre pesanteur (les deux conditions sont compatibles). Quatre constantes suffisent à la définir :

- 1° rayon équatorial : 6378 137 mètres
- 2° constante géocentrique gravitationnelle :
 $GM = 3986\,005 \cdot 10^8 \text{ M}^2 \text{ S}^{-2}$
- 3° facteur dynamique d'ellipsicité (sans la déformation permanente de marée) :
 $j_2 = 108\,263 \times 10^{-8}$
- 4° vitesse de rotation terrestre :
 $\omega = 7\,292\,115 \times 10^{-11} \text{ radians par seconde}$

Cet ellipsoïde est orienté dans l'espace par son petit axe, parallèle à l'origine conventionnelle internationale, son méridien origine est parallèle au méridien origine du Bureau International de l'Heure (BIH).

Le World Geodetic System 1984 qui est à la base du GPS ne diffère pratiquement pas de la Référence 1980.

Le rayon équatorial se tire des mesures géodésiques de longueur, (triangulation, Laser spatial, etc.)

La constante gravitationnelle GM se déduit par les équations de la mécanique céleste, du mouvement observé des sondes spatiales à une certaine distance de la Terre.

j_2 est le terme qui intervient dans les équations de Clairaut exprimant la relation entre pesanteur, aplatissement terrestre et force centrifuge.

On trouvera dans les traités didactiques ou dans le Journal of Geodesy (alias Bulletin géodésique) les équations permettant de déduire tout le reste : cf. [5]

Il est bien évident que l'expression mathématique du potentiel terrestre W diffère du potentiel U de la référence et ce sont précisément les discordances des deux modèles qui seront utilisées pour déterminer le géoïde, ils ont seulement une valeur théorique commune $W_0 = U_0$ au niveau géoïde.

SYSTÈMES D'ALTITUDES. QUASI-GÉOÏDE

La référence altimétrique au niveau de la mer, n'a pas une signification équipotentielle très précise : on sait depuis longtemps qu'elle peut en différer de l'ordre du mètre. La nivelle de l'appareil niveleur se met en équilibre dans le plan tangent à la surface équipotentielle, d'où la dualité célèbre : altitude, potentiel. Une surface d'égale altitude n'est pas une surface équipotentielle, le géoïde mis à part, si on le définit comme "la surface de niveau zéro". Il faut donc sacrifier soit la notion de distance verticale, soit celle de repos des fluides.

On arrive cependant à réconcilier les deux aspects en adoptant un système d'altitudes.

Procédons à un nivellement géométrique de précision en mesurant à la fois la dénivelée des deux mires et la valeur de g à l'appareil (à la hauteur de la fiole!). Soit dh la dénivelée, la différence de potentiel entre les deux mires est égale à $g \times dh = dW$.

On peut donc mesurer la différence de potentiel entre deux repères de nivellement au sens quasi rigoureux. Le potentiel de la station nouvelle sera $W = W_0 + \sum gdh$.

On définira un résultat homogène à une altitude en divisant ce potentiel par une quantité homogène à g .

Généralisant à l'ensemble du réseau de nivellement, on appellera système d'altitude celui qui définit cette alti-

tude par l'expression $H = \sum gdh/g_m$, g_m étant une valeur de g convenablement choisie. Autrement dit l'altitude devient un nombre conventionnel (qui variera d'un système à l'autre en un point donné) mais qui en définitive, remplit à peu près toutes les conditions requises pour l'altitude.

Ces systèmes sont nombreux, seuls quelques-uns sont utilisés :

a/ altitude orthométrique :

$$H = \sum gdh/g_m$$

Elle est définie comme la distance verticale H du point considéré au géoïde. Elle aurait droit à tous les suffrages, malheureusement elle ne peut pas être calculée rigoureusement parce qu'on ne connaît g qu'approximativement le long de la verticale intérieure à la terre. On peut se contenter d'hypothèses approchées mais l'impossibilité théorique subsiste, une précision de l'ordre du centimètre paraît une limite de sa définition.

b/ altitude dynamique :

$$H = \sum gdh/\gamma_0$$

où γ_0 est une valeur théorique unique de la pesanteur théorique, au point considéré.

c/ altitude normale

(adoptée par l'IGN pour le réseau 1969) :

$$H = \sum gdh/\gamma_m$$

γ_m étant la pesanteur moyenne théorique à l'air libre du point considéré, dans le modèle de référence.

Remarquons que ces types d'altitude peuvent s'exprimer sous la forme :

$$\gamma H = \sum gdh$$

potentiel $U =$ potentiel W

γH étant la différence de potentiel d'un modèle Terre théorique. On appelle quasi-géoïde la surface d'altitude zéro du système d'altitudes considéré.

Ces altitudes sont en fait une manière de numérotiser les surfaces de niveau réelles dans le système de potentiel de référence.

Le quasi-géoïde des altitudes orthométriques serait le géoïde vrai. Si l'on exprime l'altitude d'un même point dans deux systèmes différents H_1 et H_2 , on aura :

$$H_1/H_2 = \gamma_2/\gamma_1$$

Ceci pourrait créer entre les quasi-géoïdes correspondants, des différences de quelques mètres au plus sur les plus hautes montagnes...

L'essentiel est de savoir ce que l'on fait.

DÉTERMINATION DU GÉOÏDE

C'est un des problèmes fondamentaux de la géodésie actuelle. L'Association Internationale de Géodésie y consacre les travaux d'une Commission Internationale et d'un Service International, [6] dans un vaste programme en vue d'établir un géoïde mondial.

Nous nous proposons ci-dessous de donner un aperçu des méthodes de calcul utilisées.

1°) Méthode astrogéodésique

On se propose de calculer une portion du géoïde dans une région donnée (la France par exemple) en comparant les coordonnées astronomiques d'un point soit (φ_A, λ_A) à des coordonnées géodésiques (φ_G, λ_G) exprimées dans un système de référence géodésique donné, par exemple triangulation nationale (même ancienne) mais homogène.

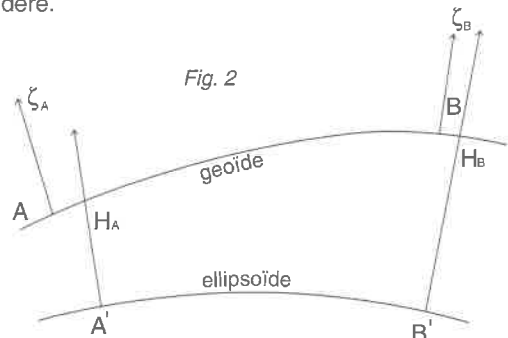
C'est la méthode qui a été appliquée avant l'apparition du GPS lequel fournit une méthode beaucoup plus rapide et plus précise pour parvenir au même but comme on le verra plus loin.

Si on appelle "déviations de la verticale" les discordances respectives entre latitude et longitude astronomique et géodésique.

$$\text{On a : } \xi = (\varphi_A - \varphi_G) \quad \eta = (\lambda_A - \lambda_G) \cos \varphi$$

(A astronomique = géoïde ; G géodésique = ellipsoïde).

Ce sont de petits angles, de quelques secondes sexagésimales, que font entre elles en un point donné, les directions des verticales respectives au géoïde et à l'ellipsoïde, donc des plans tangents à ces surfaces au point considéré.



La méthode la plus simple consiste à traiter l'ensemble de ces angles comme des angles de pente d'un nivellement indirect. La dénivelée entre deux points voisins A, B selon le côté AB sera :

$$H_B - H_A = -AB \cdot (\zeta_A + \zeta_B)/2$$

$$\text{où : } \zeta_A = \xi_A \cos \alpha + \eta_A \sin \alpha$$

$$\zeta_B = \xi_B \cos \alpha' + \eta_B \sin \alpha'$$

$$\alpha = \text{azimut AB} \quad \alpha' = \text{azimut BA}$$

Les inconnues sont H_A et H_B et tout le reste est connu avec une approximation suffisante. On écrit toutes ces relations entre couples de points A, B les plus proches, on procède à la compensation d'ensemble en se fixant la cote du géoïde en un seul point initial.

C'est de cette manière qu'on a construit un géoïde Européen, tiré des valeurs de la déviation de verticale collectées par G. Bomford, géodésien anglais, sur le réseau géodésique "Europe 1950". La dernière édition date de 1978 [7]. La France y participait par un réseau de 480 points de déviation de la verticale, observés en une douzaine d'années par la méthode des hauteurs égales sur tout son territoire. (1958-1970).

Le support de ce géoïde est l'ellipsoïde de Hayford (1924) sur lequel fut calculée la compensation européenne. On trouvera un peu plus loin une comparaison du résultat avec des travaux modernes.

2°) Méthode gravimétrique

Anomalies de la pesanteur – Géoïde gravimétrique

On appelle anomalie de la pesanteur en un point, la différence numérique entre la valeur g mesurée et la valeur γ que lui attribuerait le modèle géodésique de référence à la même altitude H .

$$\Delta g = g - \gamma$$

Cette anomalie peut-être positive ou négative et on sait que les géodésiens les dénomment suivant le modèle de comparaison :

- anomalies à l'air libre
- anomalies de Bouguer
- anomalies de Rudski
- anomalies isostatiques...

Les prospecteurs ont multiplié les mesures de g développées; associées à la géologie elles fournissent des indications précieuses et les réseaux gravimétriques se sont multipliés. De leur côté les géodésiens ne pouvaient négliger la mesure d'un paramètre aussi important dont ils avaient déjà fait largement usage au XVIII^e siècle. Un Bureau Gravimétrique International fut créé au sein de l'Association Internationale de Géodésie (1954), avec mission de collecter, unifier, publier les valeurs de g et des anomalies dans un réseau mondial, dont elle précise le canevas. Créé en 1954, le B.G.I. détient actuellement dans ses archives plus de 3 millions de données. Elles couvrent une grande partie de la sphère terrestre où elles sont présentées sous forme d'anomalies moyennes de surface (par exemple anomalies de $1^\circ \times 1^\circ$ au nombre de 64800) qui se prêtent à une intégration sur la sphère. Stokes a en effet montré (1849) que l'on pouvait calculer le géoïde en un point en procédant à l'intégration, sur la sphère, des anomalies de la pesanteur. C'est ce que nous allons approfondir.

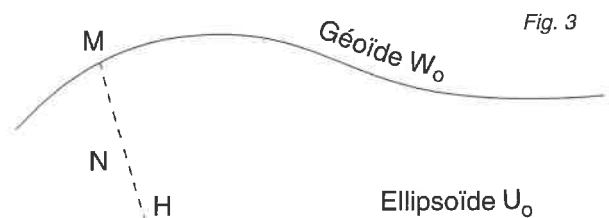
Soient en effet deux points homologues, l'un M sur le géoïde, l'autre H sur l'ellipsoïde de référence, à la verticale de M.

Nous supposons que, par une opération classique en gravimétrie, on ait réduit les valeurs de g au géoïde. L'anomalie Δg est la différence $g(M) - \gamma(H)$ où g et γ sont négatifs tous deux (vecteurs dirigés vers le bas).

Les hypothèses de base sont les suivantes :

- Le centre des masses terrestres et celui de l'ellipsoïde de référence sont confondus, les axes de coordonnées coïncident.
- Géoïde et ellipsoïde de référence sont des surfaces équipotentielle de leur propre pesanteur et par convention les expressions analytiques respectives de leur potentiel W (géoïde) et U (ellipsoïde) y prennent la même valeur $W_0 = U_0$.
- Les masses respectives sont égales.
- Les valeurs observées de la pesanteur terrestre sont réduites au géoïde.

On se propose de chercher une relation liant pour tout point M du géoïde, la pesanteur sur géoïde $g(M)$ et $\gamma(M)$ sur la référence, au potentiel "perturbateur" T défini au point M par l'équation $W(M) = U(M) + T$.



Au point M du géoïde, le potentiel de référence U devient :

$$U_0 + \frac{du}{dz} \cdot HM$$

et par conséquent :

$$W_0 = U_0 + \frac{du}{dz} \cdot HM + T \text{ avec } \frac{du}{dz} = \gamma$$

Il en résulte (formule de Bruns) :

$$HM = \frac{-T}{\frac{dU}{dz}}$$

d'autre part :

$$\frac{dT}{dz} = g_{(M)} - \gamma_{(H)} \text{ donc } \frac{dT}{dz} = g_{(M)} - \left(\gamma_{(H)} + M \frac{d\gamma}{dz} \right)$$

Mais l'anomalie de pesanteur est précisément la valeur : $\Delta g = g_{(M)} - \gamma_{(H)}$.

$$\text{On a donc finalement l'expression } \Delta g = \frac{dT}{dz} - \frac{T}{\gamma} \frac{d\gamma}{dz}$$

$$\text{et rétablissant } \Delta g \text{ avec son signe } -\Delta g = \frac{dT}{dz} - \frac{T}{\gamma} \frac{d\gamma}{dz},$$

expression qui lie en chaque point du géoïde, observation et potentiel perturbateur et peut servir dans les deux sens.

Dans l'hypothèse simplifiée où la référence est considérée comme une sphère de rayon R - c'est d'ailleurs le point de vue initial de la théorie de Stokes - l'équation ci-dessus devient :

$$-\Delta g = \frac{dT}{dp} + \frac{2T}{p} \quad p \neq R \quad dp = dz$$

Appelée souvent équation fondamentale de la gravimétrie, elle impose une condition au potentiel T qui doit la satisfaire sur chaque portion de surface terrestre - et ce doit être en plus une fonction harmonique. C'est dans cet esprit que Stokes a résolu le problème en 1849 en mettant en forme mathématique le calcul de T donc celui de $N = T/g$.

Il a montré que si on adaptait un développement de T en fonctions sphériques [8] on obtenait la formule :

$$T = \frac{R}{4\pi} \int \Delta g \left[\sum_{n=2}^{\infty} \frac{2n+1}{n-1} P_n(\Psi) \right] d\omega = \frac{R}{4\pi} \int \Delta g \cdot S(\Psi) d\omega$$

où :

- $d\omega$ = élément de surface sphérique pour Δg .

$$S(\Psi) = \frac{1}{\sin \frac{\Psi}{2}} + 1 - 5 \cos \Psi - 6 \sin \frac{\Psi}{2} + 3 \cos \Psi \log \left(\sin \frac{\Psi}{2} + \sin^2 \frac{\Psi}{2} \right)$$

- Ψ distance angulaire du point potentié au point potentiel.

- $P_n(\Psi)$ = polynôme de Légendre d'ordre n .

On effectue l'intégration sur la totalité de la sphère en chacun des points où on désire calculer la valeur de T , d'où $N = T/g$ altitude du géoïde au point considéré.

Cette méthode a permis de constituer des géoïdes mondiaux dès qu'on a disposé d'ordinateurs suffisants et d'une couverture mondiale (ou presque) d'anomalies gravimétriques d'abord sur $5^\circ \times 5^\circ$ puis ultérieurement $1^\circ \times 1^\circ$ et $0^\circ, 5' \times 0^\circ, 5'$.

En fait, une théorie plus complexe avait été mise au point en URSS vers 1950 par Molodensky et ses disciples. Elle généralisait la théorie simplifiée en prenant en compte les anomalies au niveau de la mesure, sur le relief. Elle était beaucoup plus complexe que celle de Stokes, mais travaillant par approximations successives, elle admettait la formule de Stokes en 1^{re} approximation.

De nombreux géoïdes mondiaux ont été calculés ainsi en particulier par l'Ohio State University (Rapp, Uotila).

L'application proprement dite n'est pas particulièrement délicate, mais il faut disposer de bonnes anomalies couvrant le monde entier. C'est la principale difficulté.



Fig. 4 – Liaisons au gravimètre utilisées dans le réseau IGSN 1971

L'Association Internationale de Géodésie y a consacré d'importants travaux. Dès 1951, elle avait décidé de constituer un réseau mondial de stations gravimétriques observées avec les moyens les plus précis de l'époque. Trois "bases" Nord Sud furent établies, l'une en Amérique partant de l'Alaska jusqu'à la pointe Sud du continent, une deuxième en Europe et Afrique joignant le Cap Nord à la Sicile, prolongée ensuite jusqu'au Cap de Bonne Espérance. Une troisième allait d'Australie en Alaska via le Japon. Elles étaient observées par mesures pendulaires relatives (précision de l'ordre du milligal). Elles étaient destinées à l'étalonnage des gravimètres que permettait leur grand compas de milligal du Nord ou du Sud à l'Équateur.

Des liaisons au gravimètre à latitude à peu près constante (faible variation en milligals) permettaient de comparer les étalonnages des 3 bases "méridiennes". En 1971, l'AIG pouvait ainsi publier son catalogue "IGSN" International Gravity Standardization Net 1971 fixant par une compensation d'ensemble, la valeur de g à $\pm 0,1$ milligal en 1854 stations réparties dans le monde entier, destinées à servir d'étalonnage aux mesures gravimétriques. Une dizaine de stations absolues connues alors, en assurent la valeur absolue et l'échelle. La multiplication actuelle des mesures absolues à mieux que $\pm 0,01$ milligal, supprime maintenant la nécessité et le grand mérite de ce beau travail [9], mais il est encore très utile.

3°) Ère spatiale

Le lancement des premiers satellites artificiels (1957) montra quelles nouvelles ressources s'offraient aux géodésiens. On construisit des instruments spéciaux d'observations : instruments d'optique précisant en fonction du temps, la position du satellite dans le champ des étoiles, instruments de radiotélégraphie pour définir la vitesse radiale d'un émetteur de bord, télémètres Laser sur prismes rétroreflecteurs portés par le satellite. On sut presque tous de suite que l'aplatissement terrestre admis par le modèle

de référence de l'époque devait passer de $1/297$ à $1/298,3$ (environ) comme d'ailleurs l'avaient déjà proposé des précurseurs (Helmert – 1901, Heiskanen – 1938, Isotof – 1945) d'après l'analyse des données de leur époque (méthode des arcs, méthode gravimétrique).

Le problème essentiel du potentiel gravifique terrestre avait concentré tout de suite l'attention des gravimétristes. Fin XVIII^e siècle, Laplace (et Legendre) avaient étudié le potentiel d'un corps sphérique hétérogène et étaient parvenus aux résultats suivants : on peut définir sur une sphère, un ensemble de fonctions (dites sphériques) qui permettent, par un développement en série, de définir dans l'espace extérieur, le potentiel et même toute fonction dont on connaît la valeur sur la sphère [8].

- ces fonctions sont harmoniques et forment une suite orthogonale.
- elles sont définies par leur degré n .
- il y a par degré n , $(2n + 1)$ fonctions harmoniques élémentaires.
- elles ont la forme :

$$Y_n = P_n^m \cos(\theta) \times \begin{cases} \cos m\lambda & \text{avec } 0 \leq m \leq n \\ \sin m\lambda & \end{cases}$$

P_n^0, P_n^m sont des polynômes connus de degré égal ou inférieur à n , θ est la colatitude $\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right)$, λ la longitude.

Ces fonctions réalisent dans l'espace à 2 dimensions de la surface de la sphère, une analyse harmonique très analogue à l'analyse de Fourier sur le plan.

Finalement on démontre que le potentiel gravifique terrestre en un point extérieur P de l'espace, distant de ρ du centre des masses, est de la forme :

$$V = \frac{GM}{\rho} \left[C_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left(\frac{R}{\rho} \right)^n \cdot P_n^m(\sin\varphi) (C_{nm} \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda) + \dots \right]$$

où les C_{nm}, S_{nm} , sont des constantes numériques à déterminer,

- φ la latitude géocentrique ($\theta = \pi/2 - \varphi$),
- λ la longitude,

- R le 1/2 grand axe de l'ellipsoïde de référence,
- ρ la distance OP.
- GM produit de la constante gravitationnelle par la masse de la Terre.

Bornons-nous à symboliser la fonction $V(\rho, \varphi, \lambda)$ sous la forme :

$$V = \frac{GM}{\rho} \left[C_0 + \left(\frac{R}{\rho}\right)^2 Y_2 + \dots + \left(\frac{R}{\rho}\right)^n Y_n + \dots \right]$$

sachant que chacune des fonctions sphériques Y_n est un ensemble de $(2n + 1)$ fonctions de la forme définie plus haut.

Cette expression du potentiel pourrait servir à définir le géoïde en écrivant que la fonction $V + 1/2 \omega^2 \rho^2 \sin^2 \theta = W_0$ coïncide avec la valeur du potentiel de la pesanteur à la surface du modèle de référence dont l'expression est bien connue et calculable [8].

L'équation $V(\rho, \varphi, \lambda) = C_0$, lorsque l'on connaît la valeur des constantes C_{nm} , S_{nm} , donne une expression du potentiel gravifique de la Terre, applicable dans l'espace satellites.

La connaissance de ces constantes numériques est donc fondamentale, mais c'est là que commence le problème !

1° Il y aurait intérêt à adopter un nombre élevé d'harmoniques Y_n , mais il est bien connu que la somme des n premiers entiers impairs $1 + 3 + \dots + 2n + 1$, est égale au carré de n , soit n^2 inconnues = 1^{re} difficulté d'ordre numérique (ordinateur), on doit se limiter.

2° Le théorème dit de Shannon, enseigne "... qu'une fonction physique peut être complètement reconstituée à partir de ses échantillons, seulement si la fréquence d'échantillonnage est supérieure ou égale à deux fois la plus haute fréquence contenue dans le spectre des fréquences". Ce qui entraînerait des n prohibitifs pour analyser les détails.

3° Les C , S , ne sont pas les seules inconnues du problème ; le champ gravifique est perturbé par des causes multiples qui modifient la trajectoire du satellite, citons

- les marées océaniques ;
- l'attraction luni-solaire ;
- la résistance atmosphérique résiduelle au mouvement ;
- la pression de radiation (solaire et terrestre) ;
- etc.

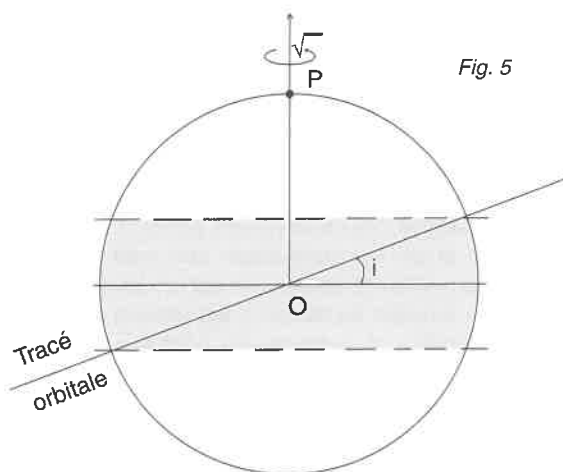
dont l'action doit entrer en compte dans la mise en équation du mouvement. Il s'y ajoute des inconnues naturelles au problème, telles que les coordonnées des stations d'observation.

Les observations possibles sont essentiellement – en fonction du temps – :

- des observations optiques (chambres photographiques) sur fond des étoiles ;
- des observations de distance (télémètres LASER) ;
- des observations de vitesses radiales (effet Doppler).

Tout ceci doit être mis en équation en fonction des paramètres cherchés, après réduction des observations au centre des masses de la Terre, origine des coordonnées, et attribution de poids adéquats.

On désire évidemment que le système d'équations résolvantes soit bien conformé, afin de bien caractériser les inconnues.



En toute première approximation (terre sphérique et orbite plane) le satellite ne survolera, compte tenu de la rotation terrestre, que les zones de latitudes égales ou inférieures à l'angle i , inclinaison équatoriale de l'orbite. Il en résulte que si l'on veut analyser de manière détaillée le champ total de la gravité terrestre, il faudra disposer d'une gamme de satellites correspondant à des inclinaisons de lancements très variées, entre 0° et $\pm 90^\circ$.

Les facteurs $(R/\rho)^n$ qui interviennent dans l'expression du potentiel jouent un rôle important dans le développement de la fonction potentielle :

1° Au point de vue mathématique, la série $(R/\rho)^n Y_n$ n'est convergente que si $\rho > R$. On n'a donc pas le droit de la prolonger jusqu'au sol terrestre, au moins théoriquement.

2° Pour les valeurs élevées de l'indice n , dans l'espace, $(R/\rho)^n$ est très petit, ce qui entraîne deux conséquences :

- l'une fâcheuse, puisque l'influence de l'action des harmoniques de grande fréquence se perdra dans le bruit de fond,
- l'autre favorable, puisqu'aux hautes altitudes, le potentiel est sensible seulement aux faibles fréquences et de ce fait, la trajectoire des satellites élevés sera plus facile à définir et à calculer avec précision. C'est une des raisons pour lesquelles la constellation GPS gravite à 20 000 kilomètres.

Si la terre était un corps de structure sphérique parfaite, l'orbite d'un satellite serait selon les lois de Képler, une ellipse admettant le centre géométrique terrestre comme foyer. Elle serait décrite selon la loi des aires en fonction du temps et sa période serait liée par la 3^e loi de Képler au demi-grand axe de l'ellipse par la relation :

$$GM = 4 \pi^2 a^3 / T^2$$

En réalité l'orbite elliptique est perturbée par les irrégularités des masses attractives du corps terrestre dont chacune agit pour son propre compte ce qui permet d'espérer d'en mettre au moins l'essentiel en évidence : les écarts de la trajectoire du satellite par rapport à une première solution elliptique sont suffisamment faibles pour que cette solution puisse servir de base de départ à un processus d'approximations successives.

On ne saurait dans le cadre de cet article, entrer dans le détail des calculs qui, de l'observation du satellite, vont permettre de tirer des résultats intéressants le géoïde. Le mieux, si l'on désire approfondir la question est de s'en

rapporter à un ouvrage qui les explicite et les décrit tel que [10]. Bornons-nous à résumer les étapes :

1°/ Dès la mise en orbite, le satellite est suivi par les observateurs qui mesurent ses coordonnées équatoriales en fonction du temps, α, δ .

Une observation est constituée par la mesure d'ascension droite α et de la déclinaison du satellite δ à l'instant t . On multiplie ces observations pendant une dizaine de minutes et on les traite selon une méthode due à Laplace, qui permet de déterminer par un développement en série en fonction du temps t , les valeurs α, S et les dérivées première et seconde des positions apparentes $\alpha', S', \alpha'', S''$ (série de Taylor).

Elles sont ramenées au centre de la terre, ce qu'implique un processus d'approximations successives.

On connaît donc à l'instant t au centre de la terre

(α, δ) direction du satellite.

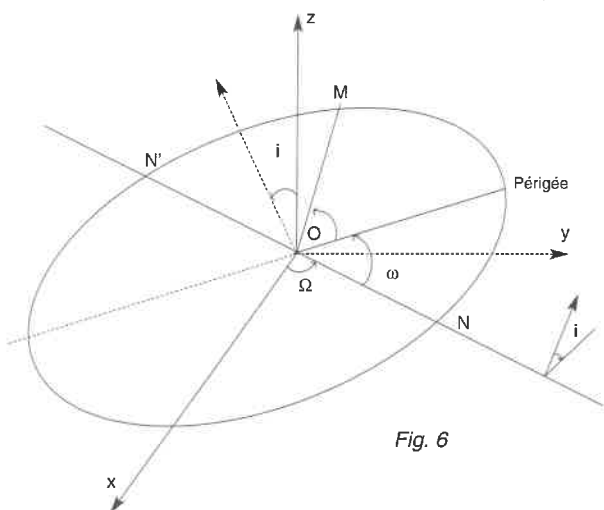
Δ la distance centre terre satellite,

(x, y, z) ses coordonnées,

(x', y', z') ses coordonnées de vitesse.

2°/ Par un formulaire classique [10], il est possible d'en déduire les éléments géométriques de mise en place de l'ellipse dans le système terrestre (Ox, y, z) à savoir :

demi grand axe de l'orbite a
 excentricité e
 inclinaison de l'orbite sur l'équateur i
 ascension droite du nœud ascendant Ω
 argument de latitude du périhélie ω
 période et moyen mouvement $T, (2\pi/T = n)$



Ces éléments seraient invariants dans le cas du mouvement elliptique pur.

Inversement il est possible de tirer des coordonnées ($a, e, i, \Omega, \omega, n$) les coordonnées (x, y, z, x', y', z').

Les éléments elliptiques considérés définissent "l'ellipse osculatrice", celle que décrirait le satellite si, à l'instant t , les perturbations avaient disparu. Les effets perturbateurs s'appliqueront aux éléments osculateurs et communiqueront aux différentes variables des accroissements différentiels dont la valeur observée s'exprimera par des dérivées ($da/dt, de/dt, di/dt, d\Omega/dt, d\omega/dt, dn/dt$) et tout le problème sera d'attribuer ces variations aux différentes actions perturbatrices en les modélisant. C'est un problème de mécanique céleste.

Deux formulaires traduisent l'influence des actions perturbatrices sur l'ensemble ($a, e, i, \Omega, \omega, n$).

L'un, dû à Gauss, exprime les dérivées ($da/dt, de/dt, di/dt, d\Omega/dt, d\omega/dt, dn/dt$) directement en fonction des forces composantes agissant sur le satellite, telle que freinage atmosphérique, électrique, pression de radiation. Il s'applique à tous les types de forces (modélisées).

Lagrange de son côté, a écrit un système de 6 équations applicables en mécanique dans le cas de l'existence d'un potentiel perturbateur.

Ce champ perturbateur est résumé dans le développement :

$$\mathfrak{R} = \frac{GM}{\rho} \left[\left(\frac{R}{\rho} \right) Y_2 + \dots + \left(\frac{R}{\rho} \right)^n Y_n + \dots \right]$$

Il ne contient pas de terme : $\frac{GM}{\rho}$ qui engendre le mouvement elliptique pur, ni le terme :

$$GM \left(\frac{R}{\rho} \right) Y_1$$

qui correspond au choix du centre O (centre des masses terrestres comme origine commune à la méthode gravimétrique).

Soient, $da/dt, de/dt, di/dt, d\Omega/dt, d\omega/dt, dM/dt$, les dérivées des éléments elliptiques (éléments osculateurs), Lagrange a montré que dans le cas d'un champ de potentiel perturbateur \mathfrak{R} existaient les 6 relations suivantes [10] :

$$\begin{aligned} \frac{da}{dt} &= \frac{2}{na} \frac{\partial \mathfrak{R}}{\partial M} ; \\ \frac{de}{dt} &= \frac{1-e^2}{na^2 e} \frac{\partial \mathfrak{R}}{\partial M} - \frac{\sqrt{1-e^2}}{na^2 e} \frac{\partial \mathfrak{R}}{\partial \omega} ; \\ \frac{di}{dt} &= \frac{\cos i}{na^2 \sqrt{1-e^2} \sin i} \frac{\partial \mathfrak{R}}{\partial \omega} - \frac{1}{na^2 \sqrt{1-e^2} \sin i} \frac{\partial \mathfrak{R}}{\partial \Omega} ; \\ \frac{d\Omega}{dt} &= \frac{1}{na^2 \sqrt{1-e^2} \sin i} \frac{\partial \mathfrak{R}}{\partial i} ; \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{\sqrt{1-e^2}}{na^2 e} \frac{\partial \mathfrak{R}}{\partial e} - \frac{\cos i}{na^2 \sqrt{1-e^2} \sin i} \frac{\partial \mathfrak{R}}{\partial i} ; \\ \frac{dM}{dt} &= n - \frac{2}{na} \frac{\partial \mathfrak{R}}{\partial a} - \frac{1-e^2}{na^2 e} \frac{\partial \mathfrak{R}}{\partial e} \end{aligned}$$

C'est un système différentiel du 6^e ordre qu'il s'agit d'intégrer et d'abord d'explicitier littéralement.

Notons seulement que les J_n^p, C_n^m, S_n^m , y figurent comme coefficients inconnus des fonctions sphériques, ils entrent donc directement dans l'expression des perturbations et des vérifications.

Le développement de la fonction perturbatrice (approximations successives) et son intégration mettent en évidence des termes dits séculaires, des termes à longue et à courte période.

L'influence luni-solaire, dépend également des équations de Lagrange mais c'est un développement à part.

La fonction perturbatrice Y_2 contient en particulier un terme zonal J_2 . Le développement du système de Lagrange par rapport aux éléments moyens, aboutit en 1^{re} approximation aux valeurs suivantes pour Ω, ω, M .

$$\Omega = \Omega_0 - \frac{3}{2} K \cos i_0 . t$$

$$\omega = \omega_0 + \frac{3}{4} K (4 - 5 \sin^2 i_0) . t = \bar{\omega}$$

$$M = M_0 + n_0 t + \frac{3}{2} K \left(1 - \frac{3}{2} \sin^2 i_0 \right) . t = \bar{M}$$

$$\text{avec : } K = \frac{n_0 \mathfrak{R}^2 J^2}{a_n^2 (1-e^2)^2}$$

Dans le facteur K on retrouve le fameux terme j_2 qui intervient dans le développement du potentiel de la Terre et dans celui de la référence. Ces 3 expressions sont fonctions linéaires du temps t et par conséquent, correspondent à des mouvements qui s'accumulent à l'observation (tour par tour). C'est de l'observation du mouvement (rétrograde) du nœud ascendant de l'orbite que l'on a déduit la valeur de j_2 adoptée dans le modèle de référence. Cette valeur est bien meilleure que ce que l'on pourrait obtenir à partir des équations de Clairaut.

Les a, e, i ne peuvent pas contenir de termes séculaires, ce sont "des fonctions linéaires et homogènes des dérivées de la fonction perturbatrice R par rapport à des éléments figurant dans les fonctions trigonométriques" [10], ils sont donc stables en moyenne, et on peut définir une orbite moyenne où les valeurs (a, e, i) deviennent (a_0 , e_0 , i_0) et où les paramètres (Ω , ω , M) sont fonction du temps comme le montre le système ci-dessus. La différence entre valeurs moyennes et la valeur instantanée à t, donne les variations δa , δe , δi , $\delta \Omega$, $\delta \omega$, δM permettant de former les équations d'observations.

Nous ne pénétrons pas plus dans le développement général de la fonction perturbatrice pour laquelle on consultera [11], [12]. Sachons toutefois qu'il est possible de mettre les perturbations provenant des termes Y_n en équation jusqu'à l'ordre nécessaire.

Les premiers modèles de géoïde par satellite sont apparus vers 1965, la "Standard Earth" du Smithsonian Astrophysical Observatory, contenait les valeurs numériques :

- de la constante $GM = 398\,603,2$;
- du demi-grand axe de l'ellipsoïde terrestre évalué à 6378 165 m (à comparer avec les valeurs de la référence 1984);
- les valeurs des harmoniques zonales pairs et impairs jusqu'à J_{13} ;
- les harmoniques Tisserand jusqu'à $n = 7$, $m = 6$;
- les coordonnées géocentriques de 12 stations d'observation.

Ses promoteurs avaient exploité les résultats de la poursuite de 10 satellites (Fig. 8).

D'autres solutions apparurent vers la même époque basées sur le réseau TRANET et les observations DOPPLER.

Des travaux plus récents ont été publiés, chacun d'eux présentant un progrès par rapport à ce qui précédait.

Leur but est d'assurer aux orbites des satellites les précisions de plus en plus fines qu'exige la mise en œuvre des systèmes mondiaux de détermination des positions terrestres, GPS, son rival GLONASS (Russie), DORIS système Français, veulent des orbites connues au décimètre ou mieux. Tout cela comporte une infrastructure et une organisation mondiale d'observation au sol chargée de contrôler la position des satellites, de publier les éphémérides dans un champ de la gravité très fouillé.

Tout récemment un modèle global de champ de gravité a été publié conjointement par le Geodätisches Forschung Zentrum de Postdam (Allemagne) et le Groupe de Recherches de Géodésie Spatiale (GRGS) de Toulouse et Grasse, qui lui ont consacré un très bel article (en Anglais) dans le journal of Geodesy. Vol 71 - N° 4 - mars 1997. C'est le modèle GRIM 4 qui comporte 2 solutions GRIM 4 - S4 et GRIM 4 - C4. [13].

Il prend la suite de 3 modèles précédents GRIM 1, 2, 3 par les mêmes auteurs. Le sommaire explique "... Un modèle précis du champ de gravité est une exigence a priori pour la restitution des orbites, des positions des stations de poursuite et la réduction des données altimétriques... Le nouveau modèle existe en deux versions, la première (S4) dérive uniquement des données recueillies sur 34 satellites, la seconde (C4) incorpore des données altimétriques sur les océans et des données de pesanteur terrestre... les modèles sont des solutions en harmoniques sphériques et ont une résolution d'ordre 60 pour GRIM 4.S4 et d'ordre 72 pour "GRIM 4.C4 ce qui correspond à une résolution spatiale de 555 kilomètres à la surface de la terre..."

Le système résolvant du traitement d'ensemble par les moindres carrés comportait 5252 inconnues. Il a été tenu compte des termes dus aux marées, des termes de résistance de la haute atmosphère, etc.

La partie la plus intéressante pour nos lecteurs est certainement celle qui traite de la précision des résultats obtenus. Nous reproduisons à suivre deux tables extraites de [13].

La table 1 présente la comparaison avec d'autres travaux similaires exécutés aux U.S.A On y notera en particulier l'amélioration de la précision des valeurs des anomalies de pesanteur de GRIM 4 due à l'introduction des valeurs des anomalies superficielles dans le modèle C4.

La table 2 montre la précision obtenue par GRIM. S4 et GRIM. C4 dans la définition de l'orbite des satellites,

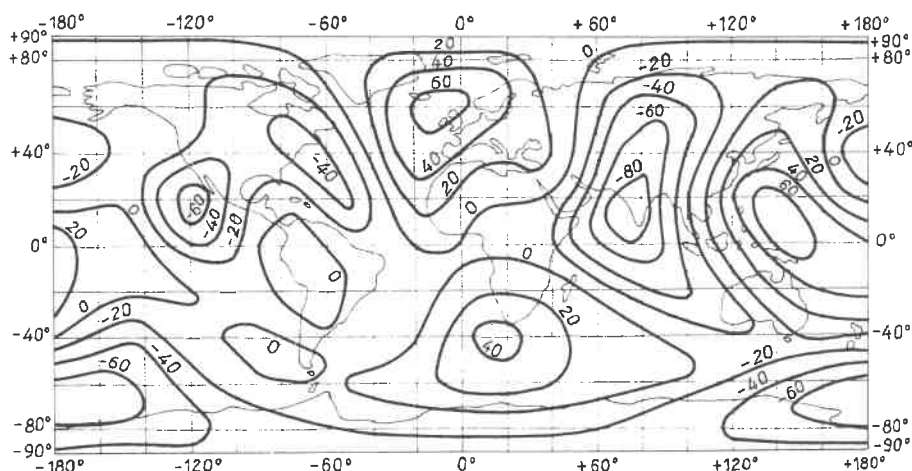


Fig. 8 a - Géoïde d'après ANDERLE (1966)

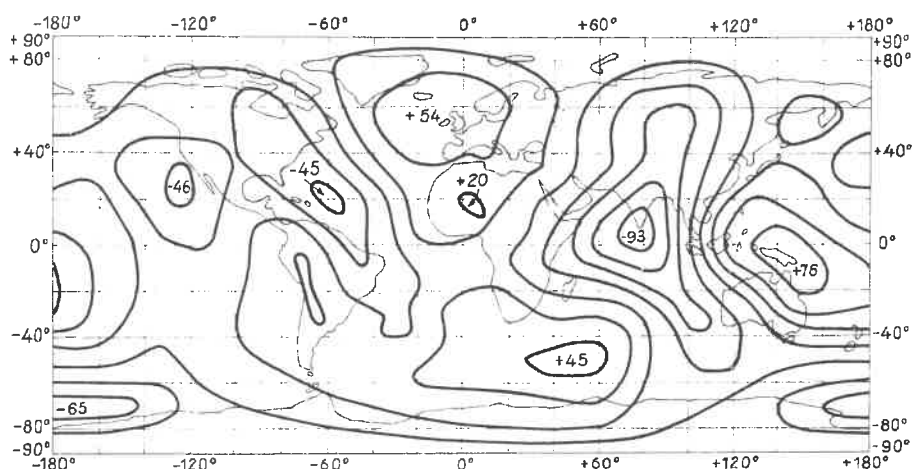


Fig. 8 b – Géoïde de la Standard Earth d'après GAPOSCHKIN (1967)

Data set	Data type (Unit)	Resolution	GRIM4-S4 JGM2-S	GRIM4-C4 JGM3
Altimetry MSS93	N (m)	1° X 1°	1.41 (-17.1...10.1) 1.39 (-14.9...9.9)	0.77 (-9.7...8.6) 0.76 (-9.9...8.7)
MSS95a	N (m)	5° X 5°	0.76 (-4.4...3.2) 0.73 (-5.7...2.7)	0.30 (-2.9...1.2) 0.24 (-3.0...1.2)
OSU92	N (m)	5° X 5°	0.75 (-4.5...2.8) 0.72 (-3.8...2.5)	0.25 (-3.0...1.6) 0.21 (-2.3...1.4)
OSU95	N (m)	5° X 5°	0.79 (-5.0...3.0) 0,76 (-6,3...2,4)	0.35 (-3,4...1,8) 0,30 (-3,6...1,8)
Marsh 89*	Δg (mgal)	5° X 5°	4,3 (-21,3...19,7) 4,3 (-19,1...20,3)	3,2 (-13,6...24,4) 3,1 (-14,0...19,4)
Gravimetry OSU89*	Δg	5° X 5°	6,4 (-27,6...28,6) 6,5 (-26,4...30,3)	5,7 (-27,1...31,0) 5,6 (-27,4...29,7)
Doppler/GPS-Levelling DGL90*	N (m)	point values	1,56 (n = 941) 1,52 (n = 936)	1,11 (n = 843) 0,93 (n = 773)
Spher. harm. model JGM2-S	N (m) Δg	5° X 5° 5° X 5°	0,60 (-3,0...4,0) 2,2 (-11,4...13,1)	
JGM3	N (m) Δg (mgal)	5° X 5° 5° X 5°		0,43 (-3,8...5,7) 2,4 (-31,0...37,1)

Table 1 – Intercomparisons with external data sets, wrms (min... max) of residuals after bias adjustment (N-geoid undulation, Dg-gravity anomaly, n : number of non-rejected points, *comparison up to degree 50 only).

Table 2 – Orbit fit to tracking data

Satellites	Arc length	Type of data	GRIM4-S4	GRIM4-CA	JGM2S	JGM3
ERSI	5d	laser (cm)	8,3	7,7	11,8	10,8
		X-over (cm)	14,7	14,3	16,6	14,9
SPOT-2	3d	Doris (mm/s)	,58	,57	,58	,57
STARLETTE	7d	laser (cm)	12,8	12,5	11,8	12,0
STELLA	6d	laser (cm)	11,6	10,9	85,7*	14,1
TOPEX	4d	laser (cm)	4,6	4,4	4,8	4,7
		Doris (mm/s)	,55	,55	,55	,55
		X-over (cm)	9,5	9,5	9,5	9,5
	30h	GPS-SST (cm)	2,4	2,5	2,4	2,4
LAGEOS-1	10d	laser (cm)	4,9	4,8	5,9	5,9
LAGEOS-2	10d	laser (cm)	4,4	4,4	5,3	5,1

* no STELLA data included

Fig. 9 – Tables 1 et 2

comparée à celle de deux autres modèles sur les mêmes satellites.

L'attention des lecteurs est attirée sur la précision radiale obtenue par les orbites des satellites ERS1 et TOPEX-POSEIDON (voir Table 2); d'autre part, la précision atteinte par DORIS sur la position au sol s'élève à ± 2 cm, ce qui implique au moins une même précision orbitale.

Il est difficile de dire quelle est la précision d'un géoïde issu des mesures spatiales. D'une part on ne peut aller trop loin dans le développement de la fonction perturbatrice par suite de la multiplication des inconnues qui croît comme le carré de l'ordre n , d'autre part le facteur :

$$\left(\frac{R}{p}\right)^n$$

étouffe rapidement l'influence des anomalies de faible étendue, lorsque la résolution des appareils de mesure de poursuite est atteinte : à 1 000 kilomètres d'altitude le facteur :

$$\left(\frac{R}{p}\right)^n$$

est de l'ordre de 5×10^{-4} de sa valeur pour $R/p = 1$.

Dans les comparaisons de modèles globaux, l'emploi des mêmes données, aboutit à des résultats voisins. La table 2 mesure un bon accord GRIM 4 avec JGM2S sauf sur le satellite STELLA qui précisément n'est pas entré dans le calcul JGM2S.

[13], indiquant pourquoi GRIM 4 existe sous les deux variantes S4 et C4 explique que S4 est indépendante de toute hypothèse concernant la surface topographique de la mer, ce qui permet d'utiliser ce géoïde pour la différentier des valeurs obtenues par altimètre, et considère "qu'une restitution précise du champ de gravité par satellites est limitée au degré Y_{10} ou Y_{15} par suite de la variabilité de la surface topographique de la mer au cours du temps". La combinaison S4, C4 donne une représentation plus complète et il y a longtemps que les différents modèles de potentiel utilisent concurremment les anomalies gravimétriques, tentative toute naturelle puisque la pesanteur est le gradient du potentiel. Dans le cas précis de GRIM 4 la résolution spatiale de S4 est sensible à des traits du géoïde de l'ordre de 2000 km et celle de C4 à des traits de 500 km, tous deux sont équivalents pour le calcul des orbites.

La précision du géoïde correspondant varie d'une région de la terre à une autre. Elle dépend de la densité des mesures de g , d'une part, de la fréquence des passages de satellites d'autre part : les régions polaires ne sont pas survolées et ne sont pratiquement pas couvertes. GRIM 4.C4 annonce en basant son évaluation sur la matrice de variance-covariance un écart type de $\pm 1,54$ m dans les régions polaires, $\pm 0,66$ m sur les océans, $\pm 0,89$ m sur les continents, $\pm 7,7$ milligals pour les anomalies gravimétriques avec des maxima de l'ordre de 20 milligals.

La table 1 tirée de [13] donne quelques autres comparaisons qui sont du même ordre de grandeur, sauf pour les systèmes antérieurs à 1990. Parmi les modèles le plus utilisé par les géodésiens pour leurs études, OSU 91 [14], modèle global mixte, catalogue les anomalies gravimétriques $360 \times 360^\circ$, mais affiche des précisions de l'ordre de 2,00 m sur les pôles, $\pm 0,26$ m sur les océans, $\pm 0,38$ m sur les régions bien couvertes (anomalies) et un écart type de $\pm 0,57$ m. Sans ergoter davantage, disons

que les modèles globaux de géoïde ont une précision de $\pm 0,8$ m sur les continents et $\pm 0,5$ m sur les océans, mais on est encore loin du décimètre ou du centimètre, à moins que par des études locales on puisse localement séparer des traits plus fins sur des régions limitées.

GPS ET GÉOÏDE

Le modèle global de potentiel de GPS est le World Geodetic System – W.G.S. 1984. C'est lui qui assure le calcul des orbites de la constellation des 24 satellites avec la précision voulue – il reçoit en permanence des améliorations et des mises à jour, et on sait que les satellites sont rigoureusement suivis par un secteur de contrôle attentif.

À un instant t donné, les calculs orbitaux permettent de définir la position spatiale (x, y, z, t) de chacun dans le système général de la référence géodésique.

Dans ces conditions x, y, z sont bien des coordonnées de l'espace de l'ellipsoïde de référence, en particulier l'altitude d'un point de station peut être rapportée à l'ellipsoïde par un calcul facile de géométrie.

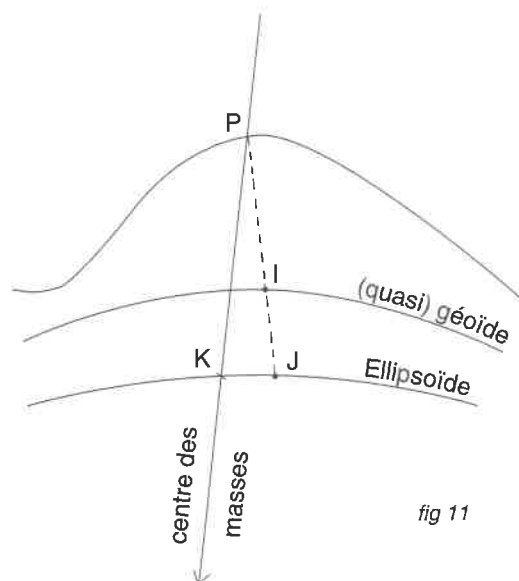


fig 11

Soit alors P le point de station, HE son altitude ellipsoïdale. L'altitude du point P donnée par le nivellement est HN.

Nous avons $PJ = HE$, $PI = HN$, donc la quantité IJ représente l'altitude du zéro du nivellement au-dessus de l'ellipsoïde – c'est donc un point du (quasi) – géoïde. On peut donc construire point par point un (quasi) géoïde d'altitude $HG = HE - HN$. Ses erreurs ne peuvent provenir que des erreurs sur HE ou sur le nivellement HN (voir plus loin).

Amélioration d'un géoïde national ou local

La propriété qui vient d'être mise en évidence permet, au moins théoriquement et sous bénéfice d'inventaire, d'étendre à toutes les terres émergées un géoïde aussi détaillé qu'on le voudrait. On n'en n'est pas encore là, mais on peut espérer améliorer considérablement un géoïde national ou international entre pays connexes en unissant les efforts et les travaux.

L'Association Internationale de Géodésie en a confié la coordination au Service International du Géoïde et au Bureau Gravimétrique International. Le but fixé est le

"géoïde centimétrique". Le problème n'est pas simple et exige de nombreux travaux préliminaires, portant sur des étendues assez importantes, quoique modestes par rapport à la sphère terrestre, correspondant à des régions où la cartographie, et la géodésie géométrique et physique sont bien connues.

On part d'un système de géoïde global, le O.S.U.91A est souvent employé en raison de son développement, mais d'autres modèles tel que EGM 96, de même découpage et plus récents sont également valables, et on doit l'améliorer localement.

Quel qu'il en soit, le géoïde du modèle est donné par la formule de Stokes :

$$N = \frac{R}{4\pi g} \int \Delta g \cdot S(\Psi) \, ds$$

ou par le calcul du développement harmonique du potentiel. Il ne contient que les anomalies gravimétriques $360^\circ \times 360^\circ$ et on doit calculer dans la région intéressée, les anomalies gravimétriques qui ne sont pas prises en compte dans l'intégrale ci-dessus, dont le pouvoir séparateur, la résolution, est limitée au degré 360. La hauteur N du géoïde dans la région considérée doit être augmentée d'un dN :

$$N = \frac{R}{4\pi g} \int (\Delta g' - \Delta g) S(\Psi) \, ds$$

où Δg est l'anomalie du modèle, $\Delta g'$ l'anomalie à moyenne et à très petites longueurs d'onde dans la région considérée, qui n'est pas intervenue dans le calcul de la formule de Stokes du modèle. On a alors recours à un modèle numérique du terrain (MNT pour parler le langage des professionnels). C'est la description numérique détaillée du terrain, en prismes, déduite de la cartographie de la région étudiée. On lui demande une grande finesse, l'effet de chaque prisme sera traité comme un élément différentiel de la loi d'attraction universelle de masse dm.

$$\text{Attraction} = G \cdot \frac{(H - H_0) \, dm}{r^3} \quad \text{Potentiel} = G \cdot \frac{dm}{r}$$

En principe un modèle régional de terrain peut être décrit par une transformation de Fourier à deux dimensions et analysé en longueur d'onde. On peut donc par un programme adéquat, isoler des gammes de fréquence de la topographie correspondant grosso modo, aux grandes longueurs d'onde (spatial), aux moyennes (anomalies $1^\circ \times 1^\circ$) et aux petites longueurs d'onde (M.N.T.). Cette décomposition va permettre d'entrer dans le détail, en isolant tel domaine que l'on veut, pour opérer seulement sur un ou les autres.

C'est ce qu'explique [15]. "La haute fréquence s'obtient à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT) dont la finesse du pas influencera la précision des calculs. En fonction de la disponibilité et des variations de la topographie on choisira un pas de 5 à 1 kilomètre voire mieux et un débordement du MNT, par rapport aux données gravimétriques, d'au minimum une demi longueur d'onde caractéristique du potentiel, soit 55 km. On calcule ensuite un MNT filtré en supprimant toutes les longueurs d'onde plus courtes que 55 km. Celui-ci représente la surface topographique de référence qui devrait correspondre au potentiel de degré 360. En soustrayant le MNT filtré du MNT original on obtient le modèle résiduel de terrain qui sera utilisé pour calculer l'effet de la topographie. Numériquement cette opération est réalisée en une étape..." (Programme).

Le modèle résiduel de terrain est une surface assez bien lissée, elle va pouvoir servir d'une part à calculer les anomalies gravimétriques détaillées de la région étudiée et la variation de potentiel qui en résulte donc la hauteur du géoïde par l'équation de Bruns. Son intérêt est de créer un lissage très efficace de la surface topographique.

Étant donné l'énormité des calculs, des fichiers à mettre en mémoire, la difficulté de constituer des M.N.T. suffisamment détaillés, on comprendra facilement que la méthode ne puisse pas s'appliquer à de très grandes étendues.

Voici comment [16] se résument les calculs de la méthode du terrain résiduel.

Le potentiel perturbateur T est divisé en 3 parties M, R, RT :

$$T = T_M + T_R + T_{RT}$$

T_M est la partie relative au modèle global adopté (OSU 91 A)

T_R contient des ondes moyennes

T_{RT} est le domaine du terrain réduit - fréquence ≥ 360

1°) Δg_M est l'anomalie due au modèle global, on la calcule par l'équation dérivée (par rapport à r) de l'équation du modèle global.

2°) Δg_{RT} est la composante verticale de l'attraction du terrain résiduel par la masse dm :

$$\Delta g_{RT} = G \int \frac{(H - H_0)}{r^3} \, dm$$

(l'expression $\left(\frac{H - H_0}{r}\right)$ est le cosinus de l'angle du rayon vecteur avec la verticale).

3°) $\Delta g_R = \Delta g - (\Delta g_{RT} - \Delta g_M)$.

Cette partie provient des anomalies de longueur d'onde "moyennes" Δg qui résultent soit de nouvelles mesures (procurées par le B.G. International) convenablement réduites, soit du (MNT) dans la gamme R du terrain. Elles sont intégrées par la formule de Stokes.

Δg_{RT} est un effet indirect : la suppression des masses (ou leur introduction) provoque une variation de potentiel, souvent minime, mais dont il faut tenir compte (MNT).

En définitive le géoïde en un point est la somme

$$N = N_M + N_R + N_{RT}$$

où N_M est connu... formule de Stokes,

N_R est connu... formule de Stokes,

N_{RT} est obtenu en calculant la variation

de potentiel au point considéré,

et en appliquant la formule de Bruns :

$$N = \frac{T_{RT}}{g} \quad \text{on trouve } N = \frac{GR^2}{\gamma} \int \frac{\rho(H - H_0)}{r} \, d\sigma$$

où $d\sigma$ est l'élément d'aire et $r(H - H_0)d\sigma = dm$, qui est la masse d'un potentiel de simple couche plane, limitée à la surface plane du MNT.

C'est sur l'analyse "spectrale" du terrain que repose tout l'édifice.

Comme déjà dit plus haut, la somme des calculs est imposante, mais on peut espérer en calculant les géoïdes locaux par facettes, arriver à une solution d'ensemble acceptable sur la surface Européenne par exemple, sur la surface USA plus CANADA en Amérique du Nord etc. L'émulation est grande!

GÉOÏDE ET NIVELLEMENT

Nous avons vu plus haut qu'il était possible de définir point par point un quasi géoïde en comparant l'altitude d'un point, telle que l'a fournie le nivellement direct H_N d'une part, rapportée à son (quasi) géoïde et le nivellement GPS, d'autre part, rapportée à l'ellipsoïde de la référence internationale : H_E : l'altitude du (quasi) géoïde par rapport à la référence internationale est :

$$H_G = N = H_E - H_N$$

Répetons, c'est important, que les trajectoires des satellites GPS sont connues en x, y, z au moins au décimètre près, elles sont suivies et corrigées quotidiennement [14] et exprimées dans le système géométrique de la référence géodésique W.G.S. 1984.

En principe le géoïde (nommons le GPS) et le géoïde gravimétrique tels qu'on vient de les définir précédemment devraient coïncider.

C'est un problème important : les praticiens qui de nos jours utilisent GPS seraient heureux de fixer l'altitude de départ de leurs travaux par les résultats GPS sans trop les vérifier sur le nivellement direct. L'évidence théorique est là : le potentiel dont le gradient agit sur la bulle du niveau est le même que celui qui gouverne la pesanté. C'est même une équation de condition reliant les deux types de mesure !

Actuellement, tous les géodésiens qui calculent un géoïde gravimétrique, cherchent le recoupement avec le géoïde GPS et chacun, suivant son tempérament, a tendance à incriminer les erreurs systématiques de l'un ou l'autre : elles existent en effet. Il est exact que le réseau initial N.G.F. établi autour de 1900 et le réseau IGN 1969 présentent un écart systématique Nord-Sud atteignant 50 cm entre Dunkerque et Bayonne. Il n'est pas dû, contrairement à ce que l'on entend dire parfois, au choix des altitudes normales ; c'est un systématisme d'observation qui a été confirmé par une compensation identique appliquée séparément aux dénivelées brutes mesurées des deux réseaux. Une traversée Nord-Sud faite postérieurement n'a pas départagé les deux concurrents, elle est entre les deux.

La plupart des (quasi) géoïdes locaux montrent par rapport au géoïde GPS un systématisme qu'une transformation linéaire en x, y (ou φ, λ) résorbe assez correctement. On évoque alors des harmoniques de grande longueur d'onde imparfaitement déterminés dans le modèle global adopté (pas dans GPS).

Au point de vue expérimental, un travail copieux a été mené en France principalement au LAREG (IGN Laboratoire de recherches en géodésie) [16]. Après avoir exposé assez en détail les méthodes que nous avons résumées ci-dessus – en particulier la méthode du terrain résiduel – l'auteur passe à la "Comparaison du quasi-géoïde aux points nivelés du R.B.F."

On sait que sous le nom de R.B.F. (Réseau de Base Français), la section de géodésie de l'IGN a observé par GPS les coordonnées φ, λ, H_E , d'un ensemble d'environ 1 000 points géodésiques, qu'elle a reliés au nivellement IGN 1969. Cet ensemble définit donc un (quasi) géoïde du territoire français, auquel on peut comparer le géoïde gravimétrique QGF 96 résultant du calcul général.

L'étude des résidus de la comparaison entre les deux surfaces montre (je recopie les résultats)

- un systématisme du premier degré entre les deux surfaces, dont une fonction linéaire du type :

$$a + b (\varphi - \varphi_0) + c (\lambda - \lambda_0) \cos \varphi = v,$$

résorbe la plus grande partie.

Ceci fait :

- des résidus dont les plus importants sont concentrés sur :
 - la côte Bretonne (Vannetais)
 - la côte Landaise
 - les Pyrénées (Canigou, Carlitte)
 - la côte Provençale (région Cannes, Nice) ont un aspect systématique local, dont les causes seraient dues à des renseignements incomplets (gravimétrie, relief du fond océanique,...).

L'écart type des résidus après l'application de la formule linéaire est égal à $\pm 0,128$ m avec des résidus compris entre $-0,428$ m $\leq v \leq +0,724$ m.

On en déduit une "grille de référence d'altitude" dite RAF 96. Elle est obtenue en ajoutant à l'anomalie d'altitude QGF 96,

1°) La correction linéaire de l'écart.

2°) Une correction d'interprétation des résidus, c'est-à-dire tous les systématismes mis en évidence moyennant quoi, cette grille à mailles fines donne dans les régions où elle a été essayée un écart type de l'ordre de ± 2 cm. Ceci prouve bien que les erreurs signalées plus haut (Bretagne, Landes, etc.) recèlent vraisemblablement une cause systématique locale. Autrement dit la "grille de référence d'altitude" semble bien constituer un répertoire géographique empirique de passage du nivellement GPS au nivellement N.G.F. 1969. L'auteur insiste [16] à juste titre, sur la prudence avec laquelle on doit appliquer les résultats. Il étudie actuellement une nouvelle grille.

Cette opération se pose actuellement pour tous les géodésiens qui dans leurs organisations nationales étudient la question. Nous citerons pour terminer les conclusions des géodésiens de l'Institut Géodésique Finlandais, pays où la géodésie est traitée avec une considération particulière [17]. Nous résumons l'essentiel :

- les nivellements GPS (obtenus avec 5 géoïdes différents) ont été comparés aux réseaux de nivellement direct. **Dans tous les cas** la comparaison a révélé une pente, qui a été résorbée par **ajustement à une surface du second degré...**

- la comparaison du nivellement GPS au nivellement direct donne des réponses claires aux questions suivantes :

1°) le nivellement de haute précision ($\pm 0,9$ mm/ $\sqrt{\text{km}}$) ne peut pas être remplacé par du nivellement GPS.

2°) le nivellement de moindre précision ($\pm 1,5$ mm/ $\sqrt{\text{km}}$) pourrait être remplacé par du nivellement GPS sur des lignes de plus de 50 km de longueur.

3°) si la précision du nivellement direct est inférieure à 2 mm/ $\sqrt{\text{km}}$, les résultats du nivellement GPS sont probablement meilleurs.

4°) tout ceci à condition d'éviter les erreurs inhérentes au GPS (trajets multiples, antenne, troposphère, etc.).

Ces conditions paraissent optimistes, elles sont sûrement adéquates aux problèmes qui se posent à nos collègues finnois, mais pour la France elles méritent une

GÉOÏDE GRIM 4 (DEGRÉ MAX = 72)

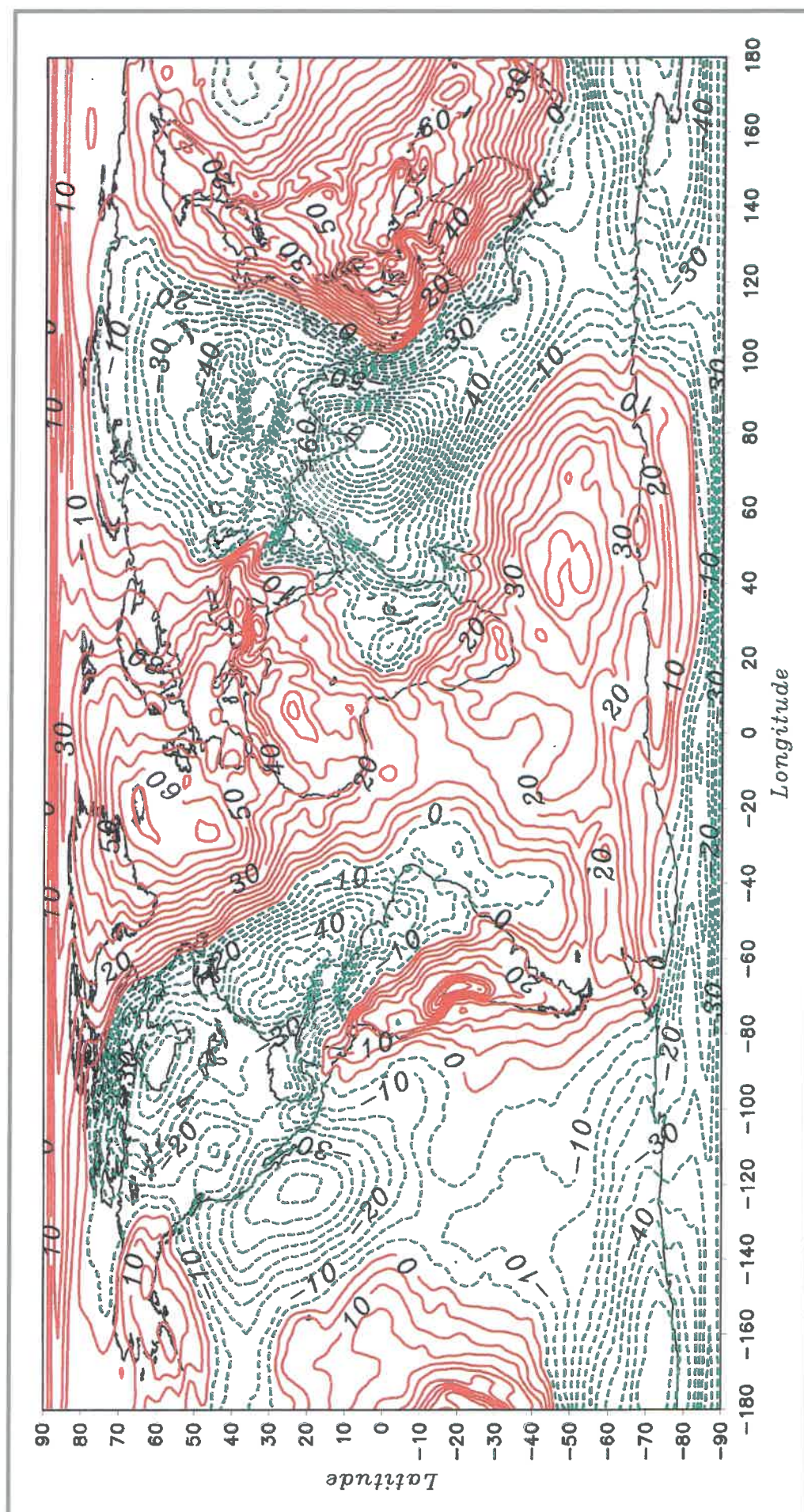


Fig. 10

Document du Bureau Gravimétrique International (BGI). G. Balmino – Préparée par Nicole Vales.

étude plus approfondie : Alpes, Massif Central, Pyrénées posent des problèmes difficiles de définition de modèle, de densité des mesures de g, etc.

Il faut attendre que les études annoncées au groupe permanent du CNIG "Positionnement Statique et Dyna-

mique" par le sous-groupe "Conversion altimétrique RGF 93 – IGN 69" aient permis de dégager ses conclusions. Il est à l'œuvre, et comme le disait la fière devise de Guillaume d'Orange, il n'est pas nécessaire d'espérer pour entreprendre, ni de réussir pour persévérer.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Jacques CASSINI : De la grandeur et de la figure de la Terre - Suite des Mémoires de l'Académie Royale des Sciences (1718)
- [2] B. PASCAL : Traité de l'équilibre des liqueurs et de la pesanteur de la masse de l'air - La Pléiade.
- [3] A. CLAIRAUT : Théorie de la figure de la Terre (1742)
- [4] Journal of Geodesy - Manuel du géodésien - Vol. 70-1996
- [5] Bulletin géodésique - Manuel du géodésien - Vol. 66-1992
- [6] New geoids in the World - International geoid Service - Bureau gravimétrique international
- [7] International Association of Geodesy. S.S.G. 5.50 Atlas of the vertical deflection points in Europe and Mediterranean countries.
- [8] J.-J. LEVALLOIS - Géodésie générale - Tome III
- [9] Association Internationale de Géodésie.
The International Gravity Standardization Net
- [10] J. KOVALEVSKY - Mécanique céleste - Tome IV de Géodésie générale - Levallois
- [11] Y. THIRY - Les fondements de la mécanique céleste
- [12] B. MORANDO - Mouvement d'un satellite artificiel de la terre
- [13] SCHWINTZER, REIGBER, BODE,..., MASSMAN, RAIMONDO, BIANCALE, BALMINO, BARLIER, BOUDON.
Long Wavelength global gravity field models;
GRIM4, S4, GRIM4, C4 - Journal of Geodesy - 71/4 (1997)
- [14] BOTTON, F. DUQUENNE, EGELS, EVEN, WILLIS.
GPS localisation et navigation - Hermès
- [15] POITEVIN, ZIANG, EVERAERTS.
International Association of Geodesy - New geoids in the world - International Geoid Service
- [16] H. DUQUENNE. Le modèle de quasi-géoïde français QGF 96 et la surface d'altitude de référence d'altitude RAF 96 - E.S.G.T. - IGN
- [17] Publication de l'Institut géodésique finnois : Matti OLLIKAINEN - Détermination of orthometric Heights using GPS Levelling



- PRISES DE VUES
AÉRIENNES VERTICALES
- NUMÉRISATION DE PHOTOGRAPHIES
AÉRIENNES SUR FILM
- AÉROTRIANGULATION NUMÉRIQUE
- ORTHOPHOTOPLANS

Centre d'Exploitation : Aéroport de Nancy-Essey • F - 54510 TOMBLAINE
Tél. (33) 03 83 18 00 03 • Fax (33) 03 83 18 00 53

GÉODÉSIE et NIVELLEMENT

C.N.I.G. les priorités

En 1989 le CNIG recommande la mise en place d'un nouveau canevas de référence, le RGF (Réseau Géodésique Français) avec trois niveaux de stratification : le RRF (Réseau de Référence Français), le RBF (Réseau de Base Français) et le RDF (Réseau de Détail Français). L'éventualité de la mise en place d'un réseau national de récepteurs GPS permanents, voire actifs, réduit sensiblement l'intérêt du RDF, d'où les questions qui se posent : en attendant un réseau de stations GPS permanent opérationnel, quel est le canevas terrestre optimal nécessaire et suffisant pour la période intermédiaire de juxtaposition des réseaux.

D'où une lettre le 30 juin 1997 du directeur du personnel et des services du ministère de l'équipement qui souhaite que le président du CNIG l'éclaire sur les priorités à mettre en œuvre en matière de géodésie et nivellement, compte tenu des évolutions techniques et autres données nouvelles en topographie et cartographie.

Sous la responsabilité de Jean Berthier, président du CNIG avec la contribution de Jean-Claude Lummaux, de Jean-Gérard Mathé, du CNIG, et de Claude Boucher, Jean-Louis Le Floc'h, Michel Le Pape, et Pascal Willis de l'IGN, un rapport a été établi dont nous publions ci-dessous la synthèse et les conclusions.

Le décret du 12 mai 1981 relatif à l'IGN précise « *que l'institut géographique national exécute, sur le territoire national, les travaux nécessaires à l'implantation et à l'entretien d'un réseau d'intérêt général* » correspondantes, et qu'il « *gère la documentation* » liée notamment à cette activité.

L'arrêté interministériel du 20 mai 1948 (en cours de révision) prévoit que « *tous les travaux topographiques... d'une certaine importance, entrepris par des collectivités publiques... devront être ultérieurement exploitables par d'autres services que celui qui prescrit le travail et qu'ils seront obligatoirement basés sur la Nouvelle Triangulation de la France (NTF) et le Nivellement Général de la France (NGF)* ».

Le nouveau projet d'arrêté, approuvé par la commission plénière du CNIG du 29 avril 1997, demande que de tels travaux soient « *rattachés au Réseau Géodésique Français (RGF)... et au Nivellement Général de la France... établis et mis à disposition des usagers par l'IGN pour ce qui concerne le domaine terrestre et par le SHOM pour le domaine maritime* ».

L'existence d'un système unique de rattachement des levés topographiques est indispensable pour assurer la cohérence des données géographiques, afin d'en permettre l'échange et l'intégration dans des bases nationales. **La mise en place et la gestion des canevas géodésiques et altimétriques nationaux sont donc des missions essentielles de l'IGN** au titre de son activité de service public.

1. Dans ce cadre, l'IGN a assuré avec efficacité, en quatre ans, la mise en place du Réseau de Référence Français et du Réseau de Base Français, qui constituent les deux premiers niveaux de matérialisation du futur Réseau Géodésique Français ou RGF93, dont la mise en place a été recommandée par le CNIG.

Il convient maintenant d'officialiser le plus vite possible le RGF93 par la publication de l'arrêté modificatif

de l'arrêté du 20 mai 1948. Pour l'instant, et bien qu'étant déjà utilisés, le RRF et le RBF n'ont aucune existence « légale », le seul système officiel étant la NTF.

Il est d'autre part **fondamental que l'IGN assure le maintien en bon état du RBF et du RRF**, qui sont les piliers du futur système, et qui sont déjà fréquemment utilisés.

Il reste enfin à définir la consistance du troisième niveau, le Réseau de Détail Français, ou RDF. C'est l'objet principal de ce rapport.

2. Le développement rapide du GPS constitue un élément majeur dont il convient d'apprécier les conséquences sur la mise en œuvre des recommandations CNIG.

Outre la précision plus grande des mesures, ainsi que la commodité et la rapidité de mise en œuvre, **le GPS permet de réaliser très commodément des densifications locales du RBF**, pour les besoins d'un gros chantier ou pour la zone d'action d'un cabinet de géomètre, et ceci avec une excellente précision. Ceci est très important dans la mesure où une telle procédure peut permettre de pallier aux insuffisances de la NTF.

Même sous sa forme actuelle, le GPS est en fait en train d'induire un véritable bouleversement dans les méthodes de travail de la profession, celles des plus gros cabinets, qui maîtrisent déjà bien cette technique, préfigurant probablement assez bien les pratiques futures.

3. Il est utilisé actuellement en mode différentiel, avec l'obligation d'immobiliser un opérateur pour la seule surveillance du GPS fixe servant de pivot. Le développement de stations permanentes, actives ou passives, permettra de s'affranchir de cette contrainte.

De nombreuses questions restent cependant à régler pour être assuré d'obtenir, avec des durées de mesures acceptables, la précision décimétrique nécessaire pour les travaux topographiques, et il est **de la responsabilité de l'IGN** de prendre toutes les dispositions nécessaires

pour que le développement d'un réseau de stations permanentes et leur utilisation se fassent dans des conditions telles que cette précision soit effectivement respectée et **que les données géographiques obtenues soient « ultérieurement exploitables par d'autres services que celui qui prescrit le travail ».**

Dans un contexte où la vente des signaux des stations permanentes apparaît comme un nouveau marché, il nous paraît donc **essentiel que l'IGN prenne la tête du mouvement**, en très étroite concertation avec la communauté des utilisateurs dans le cadre du groupe de travail « positionnement statique et dynamique » du CNIG. Nous préconisons pour cela les dispositions suivantes :

- **Soutien substantiel à l'expérimentation des dix stations permanentes** prévue par le laboratoire de recherche en géodésie de l'IGN dans le cadre du groupe de travail du CNIG.
- Sur la base des conclusions qui seront tirées de cette expérimentation, **mise en place rapide d'un dispositif permanent officiel**, en distinguant la question de la responsabilité technique, assurée par l'IGN et celle du financement et de la commercialisation, dont l'origine peut être diversifiée dans le cadre notamment de partenariats.

Il faudra bien entendu tenir compte dans ce dispositif du fait que **les travaux topographiques ne sont qu'une des applications possibles d'un tel réseau**, mais aussi que c'est la plus exigeante en termes de précision, qui doit être d'ordre meilleur que décimétrique alors que, pour beaucoup d'autres applications, et notamment la navigation, la précision métrique est largement suffisante.

4. Compte tenu des délais qui seront nécessaires pour mettre en place un réseau de stations permanentes compatible avec le niveau de précision qu'exigent les travaux topographiques, et aussi du fait que l'évolution des pratiques de travail sera certainement lente dans une profession extrêmement dispersée, il est impératif de **maintenir pour l'instant à la disposition des professionnels un réseau de proximité, plus dense que le RBF.**

C'est le rôle du Réseau de Détail Français, ou RDF, préconisé par le CNIG.

Il faut souligner que **le RDF constituera un des éléments du canevas géodésique national et qu'il doit donc être labélisé par l'IGN**, au même titre que le RRF et le RBF.

Il est bien difficile de dire pendant combien de temps ce RDF sera utile, une période de sept à dix ans paraît un ordre de grandeur raisonnable.

Compte tenu de cette courte période d'utilité, il serait **totale-ment déraisonnable de lui consacrer des investissements importants.**

5. Pour mieux cerner les attentes des utilisateurs vis-à-vis du canevas géodésique national, et notamment du RDF qui en est une des composantes, deux enquêtes ont été menées, l'une en 95 auprès des CDIG, comités départementaux de l'information géographique, et l'autre au cours de l'été 97, directement auprès des professionnels de terrain.

Des opinions recueillies, ressort avec beaucoup de force la conclusion que **le RDF doit être, pour l'essentiel, constitué de ce qui reste de la NTF (de l'ordre de 60 000 sites), transformée par l'IGN dans le nouveau**

système RGF93, complété par quelques points en provenance de canevas locaux.

Il faut préciser que l'IGN a d'ores et déjà mis au point la grille de conversion et qu'il est en mesure de fournir les données relatives aux points géodésiques simultanément dans les systèmes NTF et RGF93.

La densification du RDF par 25 000 ou 50 000 points supplémentaires, qui ne seront pas mieux gérés et entretenus que les points existants, est à l'évidence à exclure. Un tel investissement ne correspondrait d'ailleurs absolument pas à une demande des professionnels rencontrés.

6. La bonne gestion de ce qui reste du réseau NTF est considérée par toutes les personnes consultées comme un objectif essentiel. Les demandes exprimées sont notamment les suivantes :

- Identifier et qualifier les sites encore utilisables ;
- Mettre à jour la base de donnée géodésique, et par la suite veiller à ce qu'elle reste conforme à la réalité du terrain ;
- Préciser, si possible, si les points sont stationnables par GPS ;
- Moderniser les formes de mise à disposition de cette base : Minitel, Internet... ;
- Tirer tout le parti possible des informations envoyées à l'IGN concernant les bornes disparues ou dégradées.

Il serait souhaitable, sur ce dernier point, que **toute observation soit l'occasion d'un contact approfondi avec son auteur**, et qu'on le fasse s'exprimer, sur la nature de la détérioration tout d'abord, mais aussi sur l'importance du point, son accessibilité, sa stationnabilité par GPS etc., et, de façon plus générale, sur l'état du canevas national dans sa zone d'action. L'équipement en cours des cabinets de géomètres par Internet, encouragé par l'Ordre, devrait permettre de rendre ce dialogue plus facile et plus vivant.

Les professionnels locaux rencontrés, géomètres-experts, experts du cadastre, services techniques des villes, mais probablement aussi les DDE, sembleraient d'ailleurs tout à fait prêts à aller au-delà du seul signalement des détériorations, et à **donner leur avis sur l'état et l'intérêt des points géodésiques de leur zone d'intervention**, qu'ils connaissent généralement bien.

Ils souhaitent, en contrepartie, pouvoir accéder à la grille de conversion mise au point par l'IGN, de façon à pouvoir transposer leurs propres points dans le système RGF93.

7. Cette identification des insuffisances du canevas devrait déboucher, selon les cas, soit par la suppression du site dans la base de données nationales, soit plus exceptionnellement par sa remise en état.

Dans certaines zones, et en cohérence avec l'incorporation de **certains points des canevas locaux, certains points de la NTF pourraient être réobservés par GPS** et constituer en quelque sorte des prolongements locaux du RBF.

8. Le développement des SIG dans beaucoup de grandes agglomérations et dans certains départements rend disponibles de nombreux points géodésiques nouveaux. Ces canevas locaux pouvant désormais être réalisés par GPS en s'appuyant sur le RRF et le RBF, on peut s'attendre à ce qu'ils soient généralement de bonne qualité.

Les maîtres d'ouvrage de ces SIG, de même que ceux des grands travaux d'infrastructure, seraient certainement

favorables à ce que **certains de ces points soient labélisés par l'IGN et intégrés dans le RDF**. Ils peuvent constituer une base intéressante de densification du RDF dans les zones où la densité de l'ex NTF serait considérée comme insuffisante.

Il faut souligner que **le label IGN implique non seulement une garantie de « qualité » du point, mais aussi une garantie de maintien en état**.

Il en découle que **ces points doivent être en nombres limités**, et qu'il serait totalement déraisonnable d'intégrer au RDF l'ensemble d'un réseau local.

9. La lettre de commande pose également la question du réseau de nivellement, du point de vue de sa densité et de son entretien.

Aucune observation ne nous a été faite à ce sujet, ce qui nous a incité à conclure que la situation actuelle est considérée comme satisfaisante sous les deux aspects.

Il faut à ce sujet indiquer que le réseau de 4^e ordre (75 % du réseau) est relativement neuf, car établi en grande partie de 1970 à 1996, et qu'il est diffusé par Minitel avec succès et efficacité. L'IGN souligne qu'à la suite des recommandations du CNIG d'avril 1994 préconisant de s'en remettre à des partenariats pour son entretien, l'entretien de ce réseau a été interrompu et qu'il risque une détérioration rapide.

Il faut également préciser que, dans la perspective de l'utilisation du GPS pour le nivellement se pose la ques-

tion du géoïde de référence, qui n'est pas encore définitivement réglée.

10. À travers leurs subdivisions, les DDE sont très proches du terrain et devraient pouvoir jouer un rôle en matière de surveillance des canevas géodésiques et altimétriques.

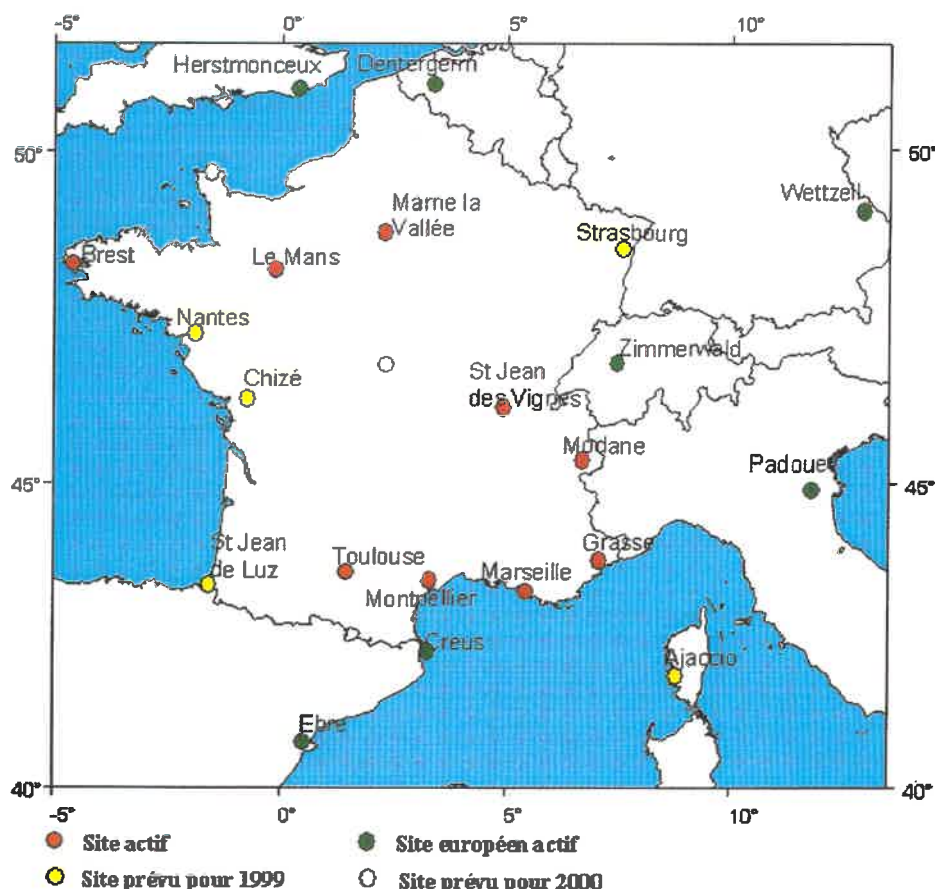
Des instructions successives émanant des Ministres des travaux publics, puis du directeur général de l'IGN, les ont d'ailleurs chargées de la surveillance et de la conservation des repères de nivellement situés le long des routes nationales. Une consigne analogue était donnée aux autres maîtres d'ouvrage relevant du secteur des travaux publics.

Il faut constater qu'à l'exception de deux départements, non seulement les DDE n'appliquent pas ces instructions, mais sont les principales destructrices de ces canevas, ce qui a motivé un rappel à l'ordre de la part de la direction du personnel et des services.

Il conviendrait d'examiner comment corriger cette situation, et étendre éventuellement leur rôle de surveillance aux canevas géodésiques.

Une partie des repères se situant le long des routes départementales, il conviendrait d'examiner la possibilité de sensibiliser également les services techniques des départements, les lois de décentralisation interdisant le recours à des instructions des services de l'état.

Stations du RGP



sous-marins nucléaires français

auscultation
du nouveau
dispositif
de
mise
à
l'eau



Photo: DCN-Cherbourg

Thierry ESCOFFIER / Stéphane MACQUET
J. Yves BIENFAIT / Claude MAUGER
Arsenal de Cherbourg - Direction des Travaux Maritimes

Louis ROCHET
*Laboratoires
des Ponts et Chaussées*

Alain BENOIT
CETE/LRPC Lyon/Groupe Mécanique des Roches

Ilario PREVITALI
Société SINTEGRA

Au mois d'août 1997, soutenu par son système de « marcheurs », le deuxième sous-marin nucléaire lanceur d'engins de la nouvelle génération (SNLE-NG), « Le Téméraire », parcourait les 200 mètres qui séparaient sa nef d'assemblage du dispositif de mise à l'eau (DME) où il devait être achevé.

En 1993, cette nouvelle procédure de mise à l'eau avait été inaugurée pour le lancement du premier SNLE-NG, « Le Triomphant ».

Celle-ci est basée sur l'utilisation de robots marcheurs soutenant et déplaçant le sous-marin vers une plate-forme submersible constituant un ascenseur pouvant descendre dans le bassin de mise à l'eau, lors de sa vidange. Par le processus inverse, par le remplissage du bassin, la plate-forme permet également de remonter un sous-marin.

Compte tenu des spécificités de cette technique, des charges à reprendre (500 tonnes/m² pour un « colis » pouvant peser jusqu'à 13 500 tonnes!) et de l'impossibilité d'éprouver l'ouvrage à sa charge nominale avant sa première utilisation, la Direction des Travaux Maritimes (DTM) a décidé de mettre en place un système d'auscultation destiné au suivi du comportement du DME (« Ouvrage CACHIN ») pendant les phases de service et dans le temps, à plus long terme.

La Maîtrise d'Œuvre du système, dont le cahier des charges a été établi par Louis ROCHET, expert auprès des LPC, est assurée par le CETE de Lyon. Celui-ci réalise également les mesures d'auscultation, en partenariat avec SINTEGRA.

LES OBJECTIFS DE L'AUSCULTATION

Par la mise en place d'un système d'auscultation, la DTM entendait se doter d'un outil de suivi des déformations de l'ouvrage destiné à assurer une bonne gestion de celui-ci, tout au long de sa durée de vie.

Cette gestion étant principalement orientée vers la programmation des actions de maintenance préventives nécessaires à son bon fonctionnement, la fiabilité dans le temps des différentes déterminations géométriques réali-

sées représentait la caractéristique la plus importante requise pour le système devant être créé.

Les événements particuliers que sont les opérations de mise à l'eau des sous-marins constituent des temps forts de l'auscultation du DME (dispositif de mise à l'eau). Fortement sollicité durant un laps de temps très court, l'ouvrage fournit alors des renseignements d'ordre géométrique très importants pour l'étude de son comportement. Ils s'inscrivent dans le suivi à long terme du DME.



PRÉSENTATION DU DISPOSITIF DE MISE À L'EAU

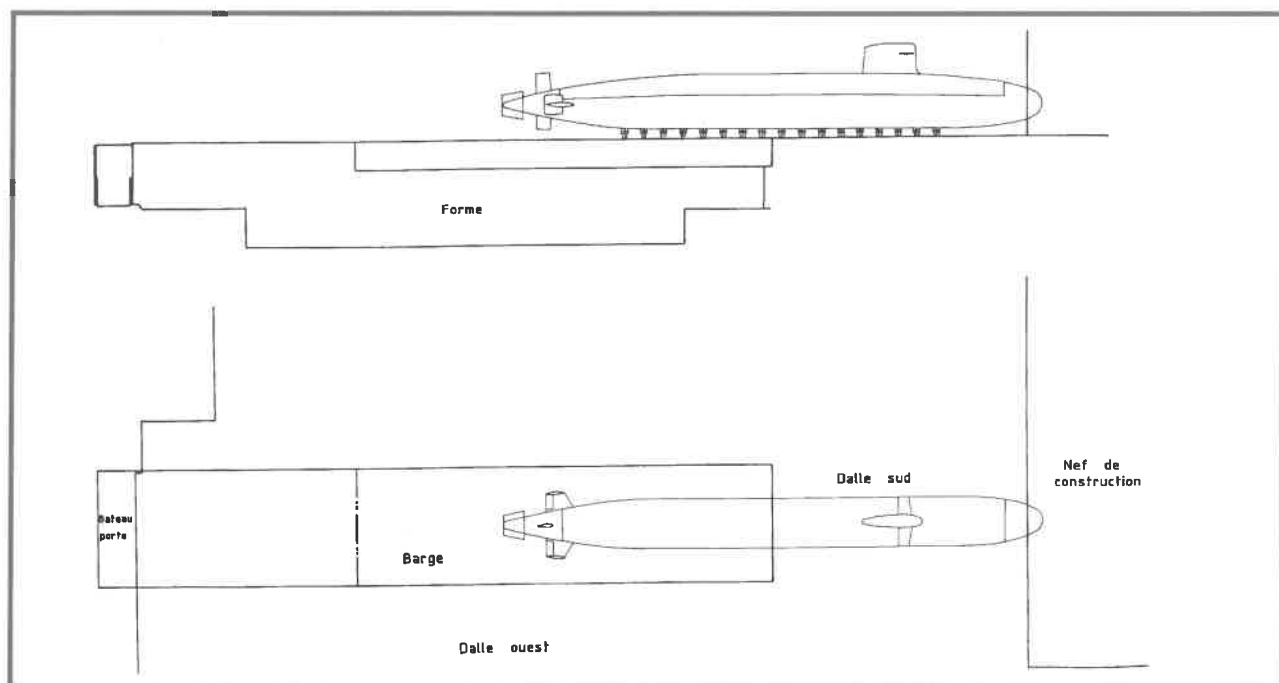
Le nouveau dispositif de mise à l'eau des sous-marins de nouvelle génération est constitué d'un bassin, aussi appelé forme, (30 m de large sur 160 m de long) dans lequel une plate-forme submersible peut descendre ou monter, pendant les phases de vidange ou de remplissage. Un bateau-porte permet au sous-marin de prendre la mer.

Lors de l'arrivée du sous-marin, la plate-forme repose sur des piliers en béton réalisés contre les bajoyers de la forme. Les mouvements verticaux de l'ensemble sont rendus possibles par des échancrures ménagées dans

les côtés de la plate-forme, placées à l'aplomb des piliers après mise en flottaison et transfert longitudinal.

Deux dalles dites de « transfert » sont utilisées soit pour amener les sous-marins de la nef où ils sont assemblés ou entretenus (dalle sud), soit pour stocker ceux-ci après les avoir sortis du bassin (dalle Ouest).

Les transferts des sous-marins sont assurés par l'utilisation d'une quarantaine de robots marcheurs. Ces derniers sont asservis à un système informatique qui gère la synchronisation du déplacement de l'ensemble : vitesse de croisière de cet étrange et impressionnant cortège : 2 m à la minute !



LE CONTEXTE GÉOLOGIQUE

L'ouvrage a été exécuté dans des terrains métamorphiques issus de dépôts sédimentaires grossiers, d'âge cambrien, constitués de schistes cristallins, à schistosité bien marquée, due à un dynamométamorphisme intense, accompagné d'une abondante minéralisation séréciteuse.

Au droit du site, la structure générale soulignée par la schistosité est orientée sensiblement E.W., avec un pendage vers le nord.

Une tectonique complexe a imprimé au massif ses traits structuraux majeurs caractérisés, outre la schistosité, par deux directions dominantes conjuguées de fracturation orientées NE.SW et N.S. à NNW-SSE fortement redressées, et une troisième direction de cisaillement sensiblement E.W. recoupant obliquement la schistosité.

Ces éléments structuraux ont constitué une des données essentielles prises en compte dans la conception et la réalisation de l'ouvrage.

CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DU DISPOSITIF D'AUSCULTATION

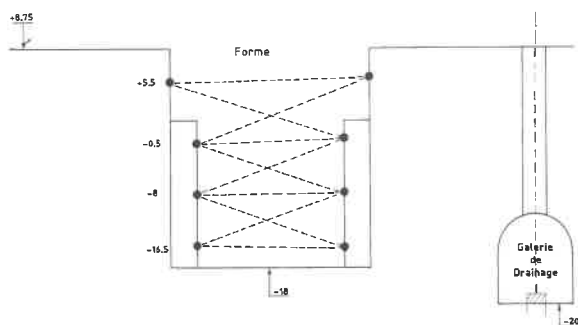
3 systèmes d'instrumentation ont été mis en œuvre sur le DME :

- **Extensométrie** : Ce système est composé d'un ensemble de repères de type métrologique scellés à différents niveaux dans les parois de la forme, à partir desquels peuvent être tendus des fils « invar ». Les mesures de distances successives entre ces repères permettent de suivre l'évolution de la déformée intérieure de la forme.

Ces mesures, réalisées par le LRPC/Lyon, sont rattachées au référentiel topométrique de surface.

Matériel utilisé : Distancemètre orientable LRPC/Lyon de type DO2/résolution : 0,1 mm.

Précision sur une base de 40 m : 0,3 mm environ.



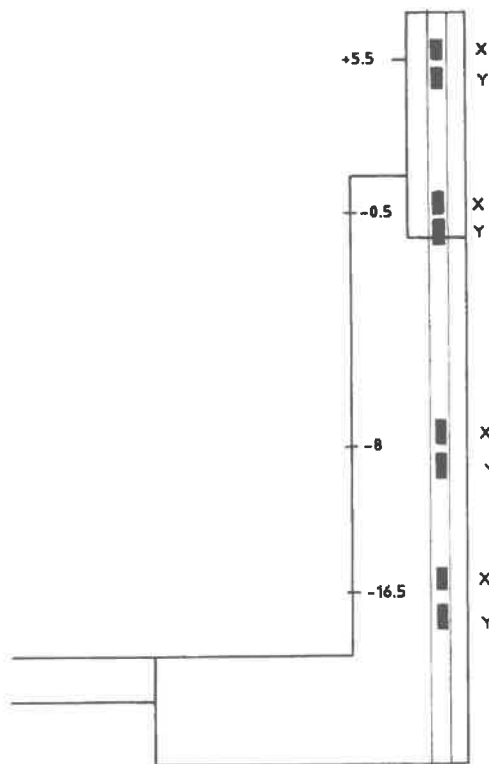
- **Inclinométrie** : Ce système, exploité par le LRPC/Lyon, est composé d'un ensemble de 23 inclinomètres placés dans 6 piliers de la forme, à quatre niveaux différents.

Les mesures d'inclinaison sont enregistrées en continu. Un logiciel implanté sur un micro-ordinateur situé dans un local situé sur le site du DMR gère l'ensemble du système (enregistrement des données).

Ces mesures relatives sont destinées à un suivi à long terme des déformations de la forme. Elles permettent également un suivi instantané pendant les transferts.

- **Topométrie** : Ce système consiste en un suivi, par des moyens classiques (théodolites/tachéomètres/niveaux), des déformations planimétriques et altimétriques des dalles de transfert Sud et Ouest.

Les mesures sont assurées par SINTEGRA.



- **Le référentiel planimétrique** utilisé est constitué d'un canevas principal composé de trois points de référence situés à 20 mètres de profondeur, dans le radier de la galerie de drainage ceinturant la forme. Ceux-ci sont réputés stables.

La matérialisation en surface de la verticale passant par ces points est réalisée à l'aide d'un fil à flotteur, à bain de mercure. La précision de centrage pouvant être obtenue est de l'ordre de 0,5 mm.

Une quinzaine de points situés en surface, réputés instables et faisant l'objet d'un contrôle à chaque utilisation, constitue un canevas secondaire sur lequel sont rattachées toutes les mesures topométriques planimétriques réalisées. Ces points sont matérialisés par des cylindres de référence Ø 30, en bronze marine, scellés.

- **Le référentiel altimétrique** utilisé est constitué d'un canevas principal composé de trois points de référence situés sur le site de l'Arsenal et suffisamment éloignés du DME. Ceux-ci sont réputés stables.

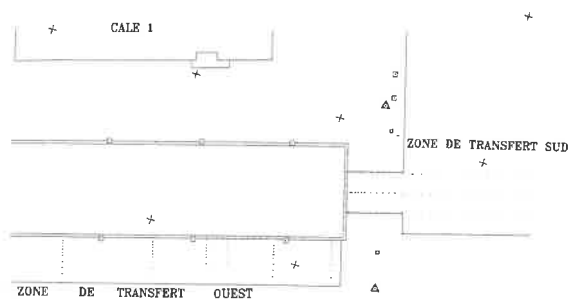
- **Les repères d'auscultation** : Les dalles de transfert sont équipées de repères. Ceux-ci sont matérialisés par des cylindres de référence Ø 18, en bronze marine, scellés dans le béton.

En dalle Sud, 69 repères sont répartis sur 3 profils, parallèles à la trajectoire de déplacement des sous-marins lors des transferts.

SUIVI DES TRANSFERTS EN TEMPS RÉEL

Essais de chargement préalables :

Compte tenu de l'impossibilité d'éprouver l'ouvrage à sa charge nominale avant sa première utilisation, préalablement au premier transfert, des essais de chargement ont été effectués sur les dalles Sud et Ouest, dans des conditions assez proches de la réalité, comme pour un ouvrage d'art.



Les mesures topométriques réalisées lors de ces essais ont permis d'une part de valider les méthodes de calcul employées pour dimensionner le cloutage du massif rocheux dans lequel a été réalisée la forme et d'autre part de définir les seuils « d'alerte » à utiliser lors du suivi en temps réel des déformations des dalles pendant le transfert.

Les seuils suivants ont été retenus :

- En altimétrie : 2,5 mm en variation
- En inclinaison : rotation de 50 secondes d'arc
- En planimétrie : Les déplacements horizontaux, faibles et à la limite de la précision des mesures, ne constituent pas un indicateur adapté à la surveillance.

Ces seuils correspondent au double des valeurs maximales mesurées lors des essais.

Des informations sur le comportement non élastique du massif rocheux et sur l'effet de la mise en eau de la forme ont également pu être obtenues.

CONTRAINTES SPÉCIFIQUES RELATIVES AU TRANSFERT

Les systèmes d'instrumentation sont exploités pendant les opérations de mise à l'eau selon une configuration spécifique qui doit être adaptée aux contraintes particulières d'un suivi en temps réel.

Pendant le transfert :

- Mesures topométriques de surface : uniquement altimétriques.
- Mesures inclinométriques dans les poteaux équipés des chaînes clinométriques.
- Suivi des éventuelles variations des débits dans la galerie de drainage (désordres dans l'étanchéité de l'ouvrage, indicateurs de mouvements dans le massif).

Avant et après le transfert :

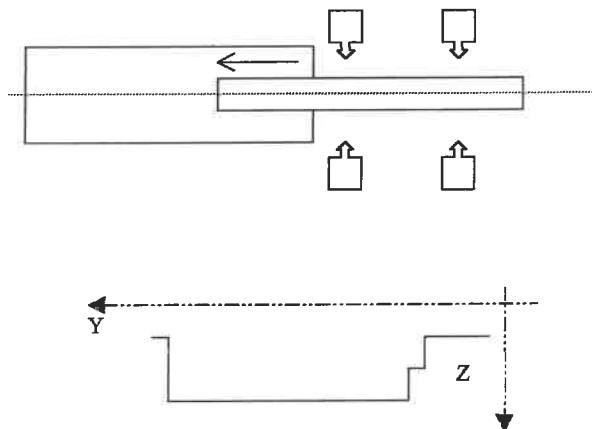
- Mesures extensométriques dans la forme

Les mesures doivent être interprétées en continu, en prenant en compte leur évolution par rapport aux seuils définis.

Principales caractéristiques du système de suivi en temps réel

Type de mesures : Compte tenu du fait que les dalles ne peuvent être équipées qu'en surface (pas de possibilité d'y intégrer des capteurs), un système basé sur des visées optiques effectuées sur des cibles omnidirectionnelles a été élaboré.

Ces visées sont réalisées à l'aide de plusieurs théodolites, utilisés en simultané, couvrant le secteur de déplacement du sous-marin.



Lors du transfert du premier SNLE-NG, Le Triomphant, 4 théodolites électroniques de haute précision (Leica T2002 et T2000) ont été utilisés simultanément.

Le suivi des déformations est effectué à partir de mesures différentielles d'angles observés sur les repères matérialisés sur les dalles; les cylindres de référence $\phi 18$ étant équipés de cibles à tête sphériques.

Les variations angulaires fournissent les déformations sur les deux axes Y (sens de déplacement du sous-marin) et Z.

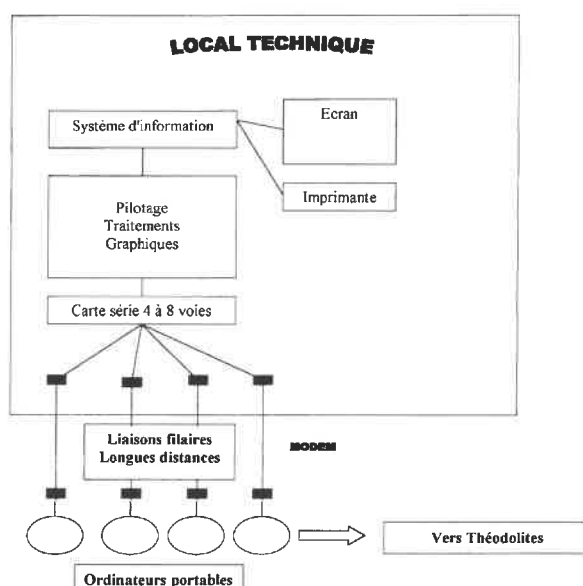
La précision pouvant être obtenue est de l'ordre de : 0,2 à 0,4 mm.

Informatisation du système

Par la visualisation graphique des déformations, en temps réel, à l'écran d'un ordinateur situé dans un local implanté sur le site, le système informatisé mis en place constitue pour les experts chargés du suivi un outil d'aide à la décision.

L'acquisition des données : Elle est assurée, pour chaque théodolite, par un logiciel implanté sur un micro-ordinateur portable (développement par SINTEGRA) assurant les fonctions suivantes :

- Pilotage des mesures : constantes de la station
- Reconnaissance des repères
- Gestion des séries de pointés (dispersion et tolérance)
- Envoi de la mesure sur le serveur du local technique, par liaison filaire (RS232 + modem) au serveur.

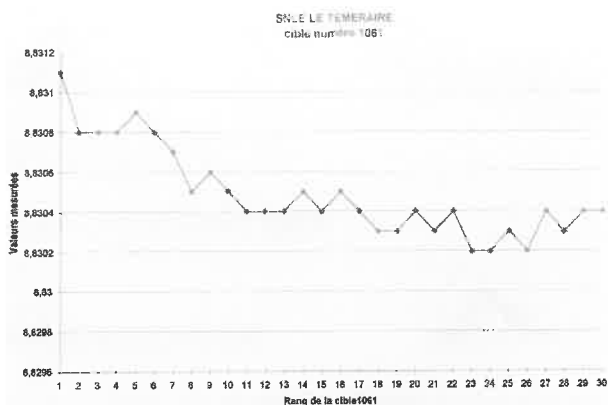


Le traitement des mesures

Un logiciel spécifiquement développé par le LRPC/Lyon assure la réception des mesures et leur exploitation, sous forme de visualisation graphique des 3 profils.

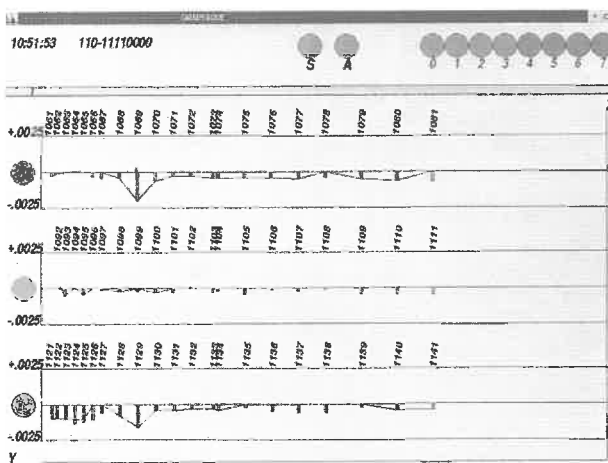
Le serveur piloté sous le système d'exploitation OS2/Windows 3.11 réceptionne sur sa carte multivoies les mesures émanant de toutes les stations de mesures.

Le système d'exploitation OS2/Windows 3.11 a été choisi pour ces fonctionnalités multitâches qui lui permettent de gérer les conflits que provoquerait l'arrivée simultanée des mesures.



Graphique de déplacement d'une cible. (exemple)

Chaque mesure en provenance des théodolites, fait l'objet d'un archivage immédiat et entraîne la mise à jour de l'écran graphique représentant la déformée des trois profils implantés sur la dalle de transfert.



Écran du suivi sur le serveur. (exemple)

L'application permet aussi d'effectuer à travers un tableau de bord toutes les opérations d'initialisation et de paramétrages du système de mesure. Il permet aussi de consulter l'historique d'une cible ou d'une série de cibles.

RÉSULTATS DE LA DERNIÈRE CAMPAGNE D'AUSCULTATION – MISE À L'EAU DU TÉMÉRAIRE EN 1997

Mesures à vide avant transfert/comparaison avec état 1991

– **Mesures extensométriques** : Pour les mesures réalisées entre les piliers sur lesquels vient reposer la barge de transfert, une nette convergence atteignant 4 mm a été observée.

– **Mesures topométriques** : L'ensemble des repères de la dalle Sud s'est déplacé vers la forme (mouvement de 1.5 à 5 mm). Ceci est corroboré par les mesures extensométriques.

Suivi du DME pendant le transfert :

– **Mesures topométriques sur 69 repères de la dalle sud** : Les enfoncements sous la charge du Téméraire sont restés inférieurs à 2,5 mm. Ces valeurs confirment la bonne tenue de la dalle de transfert, déjà éprouvée lors du transfert du Triomphant, en 1993.

– **Mesures inclinométriques** : Les rotations enregistrées présentent des valeurs analogues à celles de 1993.

Remarques : Légère déformation des piliers au fur et à mesure de la progression du sous-marin/bonne réversibilité des déformations lors des cycles chargement-déchargement.

Quel que soit le type de mesure, des variations non négligeables directement liées aux cycles thermiques ont été mises en évidence : 25 secondes d'arc sur 24 heures dans les piliers/1 mm en surface sur la dalle sud à vide, sur 24 heures.

CONCLUSION

Le contrôle des déformations du DME lors des opérations de chargement ou de déchargement d'un sous-marin, et le suivi de l'ouvrage dans le temps ont justifié la mise en place d'un dispositif d'auscultation et de traitement des mesures relativement complexe et original.

L'expérience acquise au cours des deux opérations de mise à l'eau, effectuées pour les sous-marins Le Triomphant et Le Téméraire, a montré une bonne adaptation du système au contrôle de l'ouvrage pendant la phase de transfert du navire sur la plate-forme du DME. Parallèlement, le système d'auscultation a permis d'analyser la réversibilité et l'évolution des déformations induites par le chargement, et l'influence des efforts thermiques cycliques sur l'ouvrage.

Dans le temps, tous ces effets sont à considérer dans le développement éventuel de phénomènes de fatigue en relation avec un vieillissement de l'ouvrage. Les mesures pertinentes fournies périodiquement par le système d'auscultation (extensométrie/inclinométrie/topométrie) permettront d'améliorer la connaissance du comportement du nouveau dispositif de mise à l'eau face au vieillissement.

300 km de carrières sous les rues de paris

patrimoine de la ville

l'histoire cartographiée

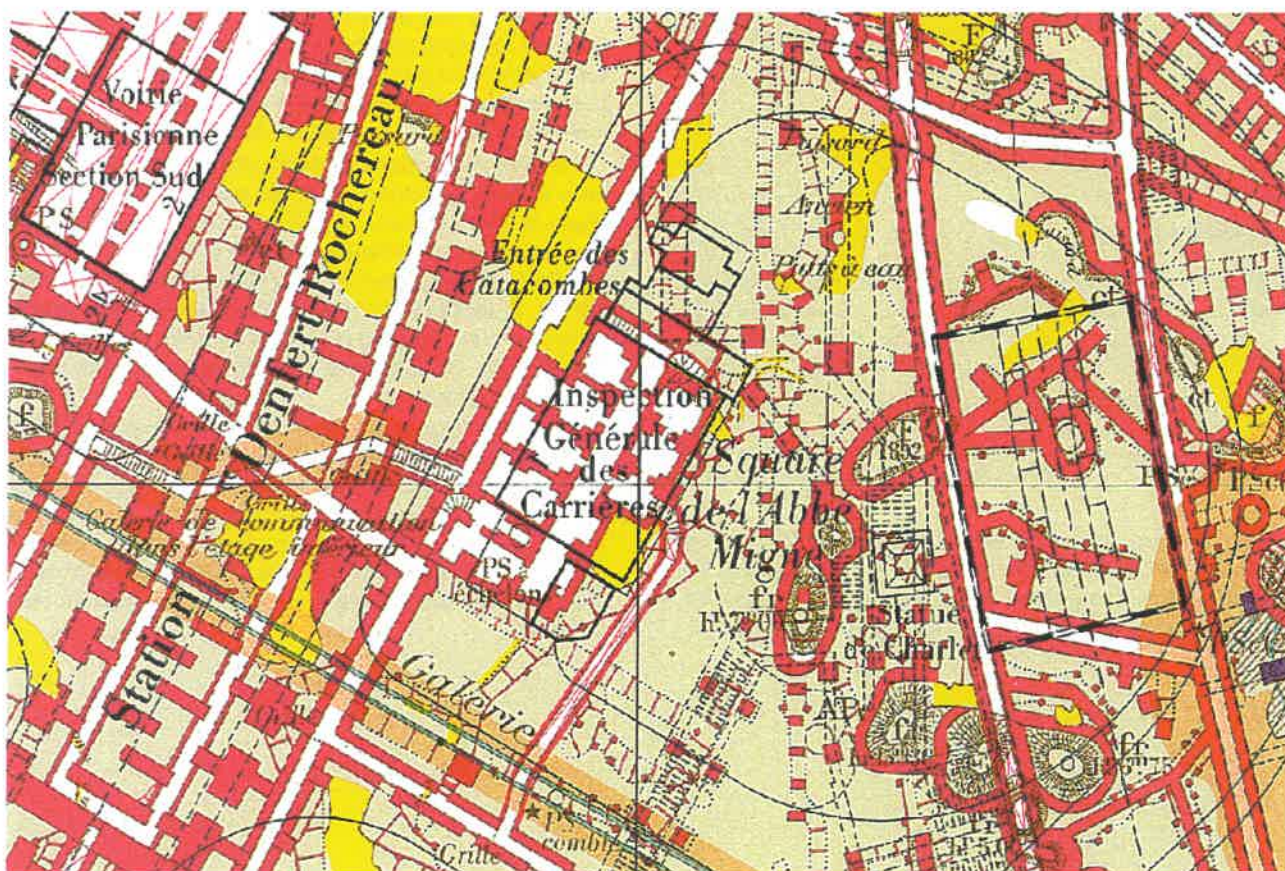


Sous le XIV^e arrondissement

Patricia Davis-Muffett

Centre de culture, des arts et de littérature, la ville moderne de Paris porte en elle l'héritage de ses magnifiques monuments, de ses ponts anciens et de ses célèbres musées et galeries. Mais sous ce riche patrimoine se cache un autre héritage de la ville de Paris. En effet, sous les rues de cette capitale vivante repose un réseau abandonné de carrières s'étalant sur près de 300 kilomètres, deux fois la distance couverte par le métro parisien. Ces

carrières sont le résultat de l'histoire de l'exploitation du calcaire et du gypse depuis l'époque gallo-romaine. Un décret du 4 juillet 1813 va interdire d'ouvrir toutes nouvelles exploitations souterraines dans Paris, seules les exploitations à ciel ouvert furent tolérées jusqu'au 1^{er} janvier 1860, date à laquelle toutes les exploitations furent interdites dans le périmètre de la capitale, à l'exception d'une carrière souterraine de gypse aux Buttes Chau-



Sous la place Denfert-Rochereau



Bassin au sud – Dépôts de calcite

mont qui fut fermée en 1873, sans souci de sécurité depuis la dérégulation ordonnée par Henri IV en 1601. Ils n'ont certainement pas considéré les dangers dus à l'eau qui érode les parois solubles en gypse et en calcaire.

En conséquence, plusieurs accidents se sont produits au milieu du XVIII^e siècle, notamment durant les années 1774 et 1776, à la fois sur des terrains publics et privés. Le plus notable de ces accidents fut peut-être l'effondrement de la rue d'Enfer, le lendemain même de la création de l'Inspection Générale des Carrières (IGC) en 1777.

Ces accidents furent à l'origine de l'inventaire de toutes les galeries et de la création d'un atlas des anciennes carrières à l'échelle du 1/1 000^{ème}. Maintenant, la totalité des secteurs sous-minés de la ville de Paris, des départements des Hauts-de-Seine, de la Seine Saint-Denis et du Val-de-Marne, est couverte par un atlas qui comprend 457 cartes.

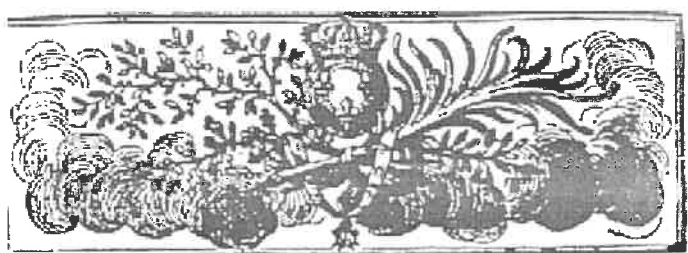
L'ATLAS AUJOURD'HUI

Les cartes qui composent cet atlas, furent à l'origine dessinées sur des feuilles à dessin. Plus de 200 ans après leur création, ce principe avait été maintenu, complété par l'édition de ces cartes en offset. Ces supports papier ont leur limite.

Des problèmes de dégradation et de déformation rendent ces cartes difficiles à utiliser aujourd'hui. De plus, de nombreuses modifications ont été rajoutées sur le réseau souterrain depuis le milieu du XVIII^e siècle. Ces modifications ne peuvent être notées au jour le jour ce qui ne permet pas d'obtenir une carte possédant toutes les mises à jour.

En 1994, l'Inspection Générale des Carrières de la ville de Paris a décidé d'entreprendre un effort majeur pour permettre une mise en temps réel de ces cartes. A priori, le projet semblait ingérable. Le service informatique de la ville de Paris pensait que cette conversion serait coûteuse vu la taille des fichiers à gérer. MicroStation était déjà utilisé dans d'autres services de la direction de la voirie et des déplacements à laquelle l'IGC est rattachée dans l'organigramme de la Mairie de Paris.

Celle-ci a permis de montrer que le projet était réalisable techniquement et financièrement. Ensuite, une autre étude commença afin de rechercher pour les aider un



ARRÊT DU CONSEIL D'ÉTAT DU ROI,

Portant Commission à M. le Lieutenant général de Police, & à M. le Comte d'Angiviller, pour veiller à la suite des opérations qu'exige l'état actuel des Carrières des environs de Paris.

Du 4 Avril 1777.

Extrait des Registres du Conseil d'État.

LE ROI s'étant fait rendre compte, en son Conseil, de l'état actuel des Carrières, fouilles de terre, de caves & autres excavations sous le toit public, dans Paris & places adjacentes.

outil d'imagerie disponible sur les plates formes Micro-Station.

Une liste précise de ses besoins fut établie. Le logiciel devait être très précis puisque les cartes localisaient exactement le lieu d'exploitation à l'époque où elles furent dressées. Il devait également pouvoir supporter la couleur car cet élément était utilisé sur les cartes pour distinguer les niveaux d'extraction. Le département a également conclu que ce catalogue de cartes à grande échelle, en couleur et enrichi de centaines de détails résulterait dans des fichiers de tailles très importantes : une autre exigence que devrait supporter le logiciel.

Suite à l'analyse des logiciels disponibles, le service informatique du maître d'ouvrage a conclu que Micro-Station et MicroStation Descartes convenaient parfaitement. Les excellentes performances de Micro-Station Descartes pour manipuler les fichiers de taille importante, ses fonctionnalités de traitement des couleurs et sa capacité à géoréférencer chaque carte scannée ont rendu Descartes particulièrement attrayant. L'ensemble des 457 cartes nécessitait une mise à jour, le processus initial de numérisation aboutit à la création de 4 à 9 fichiers pour chaque carte, chacune avec une taille allant jusqu'à 60 Mo. L'utilisation du format très efficace HMR fut un avantage capital durant ce processus.

Le service cartographique débuta le projet par la numérisation et la conversion des fichiers au format HMR. Durant cette phase, les cartographes de l'IGC ont utilisé Descartes pour optimiser les couleurs des cartes et améliorer leur qualité générale pour les préparer à la vectorisation. Ensuite, vint la tâche majeure de géoréférencer toutes les cartes et de les caler les unes par rapport aux autres, l'intuitivité et la précision des outils de calage l'ont rendue moins fastidieuse. Le procédé de calage a contribué à éliminer les distorsions causées par des années de négligence, d'humidité et de chaleur. Pour cette phase, la précision géographique de Descartes fut très importante : cette distorsion n'était pas également répartie et le département était seulement intéressé par les carrières. En utilisant les fonctions d'extraction disponibles dans MicroStation Descartes, le département fut capable d'isoler les lieux et référencer les cartes carrière par carrière, effectuant ainsi entre 4 et 10 opérations par carte.

La qualité exceptionnelle de MicroStation Descartes à manipuler les couleurs se révéla être un élément essentiel pour les cartographes et les ingénieurs au fur et à mesure que le projet s'avancait, surtout elle leur permettait de maintenir clairement les informations d'origine. La capacité d'éditer des documents en couleur fut vraiment capitale, puisque les différents niveaux d'extraction que contenaient précédemment les cartes pourraient dorénavant être affichés indépendamment niveau par niveau.

Selon Mme VITTON, cartographe à l'Inspection Générale des Carrières de la ville de Paris, « nous nous attendions à ce que cette entreprise soit beaucoup plus difficile que ce qu'elle n'a été. Quand on s'est lancé, nous savions que cela serait un projet ambitieux mais Micro-Station Descartes nous a facilité la tâche. Nous sommes

vraiment contents des premiers résultats ».

Les outils intégrés de vectorisation de Descartes s'avèrent d'une valeur décisive au fur et à mesure que le service a commencé à mettre à jour les modifications effectuées depuis la création des cartes. Ces outils ont permis d'utiliser un seul logiciel pour numériser, éditer, géoréférencer et imprimer. Une fois toutes les cartes vectorisées, MicroStation facilitera la mise à jour et les modifications de celles basées sur les plans et les documents fournis par les autres services de la ville. Les cartes seront complètement remises en état au rythme d'environ douze par an, elles seront entièrement maintenues au format vecteur de MicroStation. Entre temps, elles seront stockées soit dans un format hybride raster-vecteur, soit dans un format entièrement raster, tout dépend de l'importance à laquelle seront effectuées les mises à jour.



Un front de taille

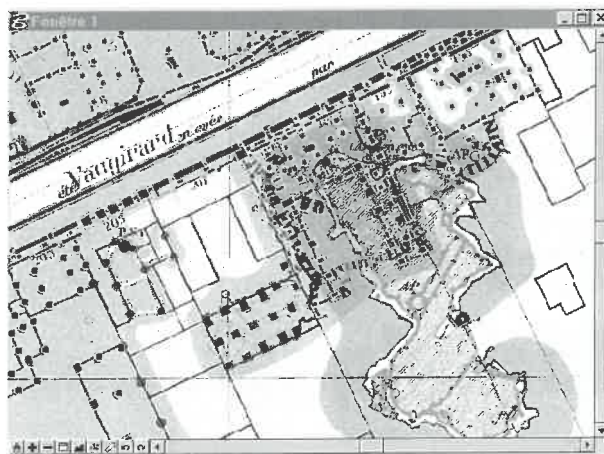
VALEUR PRATIQUE

À cause des dangers et difficultés évidentes que posent ces anciennes carrières pour tous les aspects du développement urbain, les cartes du Paris souterrain sont importantes non seulement pour ceux qui les utilisent quotidiennement mais pour tous les projets de construction sur Paris. Dans Paris « Intra Muros », des inspections sous le domaine public sont effectuées pour vérifier la stabilité des galeries. À chaque fois que la sécurité l'exige, des travaux de consolidation sont exécutés.

Même dans la petite couronne autour de Paris, les constructeurs recherchent les conseils de l'IGC quand ils projettent une nouvelle construction.

Les cartes sont des documents essentiels pour ces situations délicates. De plus, les avocats, les ingénieurs et les architectes les utilisent pour contrôler les transactions immobilières, dessiner de nouveaux bâtiments ou lancer une construction. Un autre bénéfice dû à Micro-Station Descartes fut une meilleure communication avec les non-cartographes grâce aux cartes à haut impact visuel qu'ils peuvent créer.

(Avec l'autorisation de la mairie de Paris
et de la société Bentley).



**SIG ET SYSTÈMES
DE COORDONNÉES**
du 11 au 12 octobre 1999
3 400 F - 518,33 €

**PRÉSENTATION
DU SYSTÈME GPS**
le 13 octobre 1999
1 500 F - 228,67 €

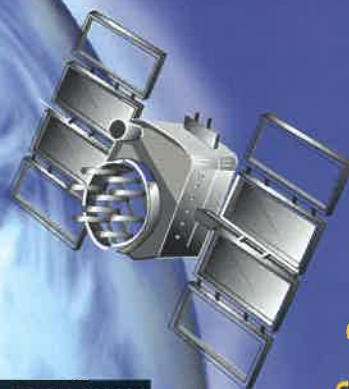
SIG ET DONNÉES GPS
le 14 octobre 1999
1 800 F - 274,41 €

**SYSTÈME DE RÉFÉRENCE
ET DE COORDONNÉES**
du 20 au 22 octobre 1999
5 100 F - 777,79 €

**PRATIQUE
DE L'ESTIMATION STATISTIQUE
EN GÉODÉSIE ET TOPOMÉTRIE**
du 17 au 19 novembre 1999
3 800 F - 579,31 €

ÉCOLE NATIONALE DES SCIENCES GÉOGRAPHIQUES

*Nous formons vos équipes
dans les techniques
de l'information
géographique*



Centre de Formation Permanente

Cité Descartes - Champs-sur-Marne
77455 Marne-la-Vallée Cedex 2

Tél : (33) 1 64 15 31 20 - Fax : (33) 1 64 15 31 27

Mel : Cfp@ensg.ign.fr

Internet : <http://www.ensg.ign.fr>

APR - ENSG / IGN 99

Souplesse d'emploi des techniques de photogrammétrie numérique

C. Donnenwirth,
B. Dubois,
J.-A. Quessette

INTRODUCTION

L'atelier de l'OEEPE sur l'automatisation de la production en photogrammétrie numérique qui s'est tenu à l'ENSG du 21 au 24 juin 1999 a représenté pour tous les acteurs de la photogrammétrie une étape importante puisque les débats ont porté sur la productivité et la mise en place de solutions intéressantes en termes de coût/efficacité, parmi lesquelles l'emploi de plates-formes informatiques de type PC paraît convenir à la plupart des applications, démontrant ainsi que la photogrammétrie numérique arrive à maturité.

Comme la différence entre grands et petits systèmes s'estompe pour ne porter que sur la capacité des logiciels et des matériels à gérer efficacement de très grands volumes de données, l'organisation de la production se partagera entre l'approche centralisée fondée sur des grands systèmes automatisés et l'approche parallèle fondée sur de nombreux petits systèmes qui, semi-automatisés aujourd'hui et automatisés demain eu égard à la facilité de migration des logiciels des grands systèmes vers les petits, présentent l'avantage de s'adapter plus facilement à la taille des projets.

Les solutions adaptées aux projets importants sont certes disponibles et fonctionnent correctement mais comment opérer avec les petits projets dans lesquels il ne faut relever que quelques points ? Comment, à l'heure des clichés numériques, remplacer le stéréoscope à miroirs encore utilisé par nombre de professionnels qui ne sont pas pour autant des photogrammètres professionnels ?

Autant de questions auxquelles nous nous proposons de répondre en montrant sur des exemples concrets que la souplesse des techniques numériques permet de s'adapter efficacement à tous les cas de figure, en jouant à la fois sur les performances des matériels et sur la modularité des logiciels.

LOGICIELS DE PHOTOGRAMMÉTRIE CHS

La production photogrammétrique enchaîne une série de tâches auxquelles correspondent autant de logiciels sous forme de modules plus ou moins intégrés qu'il s'agit de mettre en œuvre astucieusement pour optimiser la productivité de l'ensemble ; les principaux outils logiciels proposés par CHS pour PC/Windows ont été développés, les uns en interne, les autres en partenariat avec d'autres sociétés, à partir de sa propre expérience de production de données de manière à offrir des solutions adaptées aux véritables besoins de production :

Tâche

Perspective conique

Image SPORT

PV stéréoscopique

Contrôle/calibration géométrique	Scancorrect	/
Aérotriangulation	Aerot 1	Spatio 1
Modélisation stéréoscopique	Photomod	Photospot
Observation stéréo	Photomod	Photospot
Mesure et tracé stéréo	Photomod	Photospot Autospot

MNT et courbes de niveaux	Photomod	Photospot
Orthorectification	Photomod	Autospot
Mosaïchage	/	Photospot
Mesure et tracé sur orthophoto	Photomod	Photospot
Production d'iconocartes	Mapnote 2	Autospot
	Photomod	Photospot
	Mapnote 2	Autospot

PV monoscopique

Contrôle/calibration géométrique	Scancorrect
Modélisation monoscopique	Façade 2
Orthorectification	Façade 2
Ortho vraie	Façade 3
Mosaïchage	Façade 2

Fondés sur les mêmes bases théoriques, les outils logiciels proposés diffèrent cependant par leurs destinations et par leur champ d'application :

Scancorrect : développé par la société RACURS, ce module de contrôle et calibration cartographie les distorsions géométriques d'un scanner ou, le cas échéant, d'un appareil de prises de vues numériques par rapport à une grille de référence et corrige d'autant les fichiers images pour ramener les distorsions résiduelles dans une gamme de valeurs acceptables soit 0, 1 à 0,2 pixels. Cette étape est fondamentale dans la chaîne de production car la qualité géométrique et radiométrique des clichés conditionne la qualité intrinsèque de la restitution.

Aerot 1 : ce module d'aérotiangulation calcule par la méthode de compensation par faisceaux les coordonnées des points inconnus à partir de points connus et calcule également, à partir de points connus au sol, les coordonnées de points observés sous la surface de l'eau (1) en tenant compte de l'amplitude, de la période et de la direction de la houle.

Spatio 1 : par une démarche analogue à une aérotiangulation, ce logiciel de spatiotriangulation SPOT adapté de Guichard (2) (3) détermine les coordonnées de points inconnus à partir de points connus dans un bloc d'images SPOT. La stabilité de SPOT est suffisante pour obtenir des précisions subpixellaires sur des blocs importants à partir d'un petit nombre de points.

Photomod : logiciel complet de production photogramétrique sur PC/Windows pour clichés à perspective conique, **Photomod** a été développé en partenariat avec la société RACURS (4) avec le support de la DRET (Ministère de la Défense) et, pour la partie observation et mesures stéréo, le soutien de l'ANVAR. Bénéficiant de l'expérience de production de CHS, ce logiciel incorpore des méthodes originales de production semi-automatiques qui le rendent très efficace dans tous les domaines de la photogrammétrie. Son concept modulaire se prête aux applications personnalisées comme aux techniques de réalité virtuelle que CHS a développées sous le concept d'orthophoto virtuelle.

Photospot : logiciel complet de production photogramétrique dédié à l'imagerie SPOT mais adaptable à tous

les types de capteurs à défilement, **Photospot**, inspiré des travaux de Guichard (2) (3), dispose des mêmes fonctionnalités que **Photomod** pour la mesure et le tracé stéréoscopiques, la production de MNT et d'orthoimages, la production d'iconocartes.

Façade 2 : destiné plus particulièrement au redressement de clichés numériques, ce logiciel traite tout cliché à perspective conique pour déterminer les paramètres de prises de vues des clichés monoscopiques puis procède à une orthorectification rigoureuse si le MNT est disponible ou, à défaut de MNT, à une projection sur un plan moyen. Ce logiciel possède également une fonction de mosaïchage automatique des fichiers traités.

Façade 3 : module complémentaire de **Façade 2** ou de **Photomod**, ce progiciel « *ortho vraie* » (S) compense sur les orthophotos aériennes les dévers de façades lorsque l'on dispose d'un Modèle Numérique d'Élévation de bonne qualité et rétablit la radiométrie des parties cachées si l'on dispose de plusieurs clichés, de manière à garantir la bonne superposition des plans et des orthophotos aux grandes échelles.

Autospot : produit composite dédié à l'imagerie SPOT, **Autospot** est constitué par un couple d'images SPOT stéréoscopiques orientées et de logiciels qui lui sont spécifiquement attachés pour fournir à l'utilisateur la possibilité d'observer, d'effectuer des mesures et des tracés en mode stéréoscopique, de produire des MNT, des courbes de niveaux et des orthoimages. Inspiré des concepts d'orthophoto virtuelle « *VORTHO* » de CHS (7) ou du concept « *PINSOL* » de Michel Kasser (6), ce produit autonome s'adresse aux utilisateurs occasionnels de stéréopaires SPOT ainsi qu'aux producteurs de données géographiques qui souhaitent paralléliser à moindre coût les tâches de production de MNT dans le cadre de grands projets.

Autophot : l'équivalent de **Autospot** en prises de vues coniques existe mais offre peu d'intérêt économique au niveau d'un seul couple stéréoscopique, il est cependant commercialisé dans une application de tourisme virtuel destinée au grand public, incorporant 30 couples stéréoscopiques. En revanche, **Mapnote 2** qui en est une sous-fonction est intéressant pour visualiser une orthophoto sur un PC, effectuer des mesures en X, Y et Z, effectuer des tracés et préparer l'impression d'iconocartes.

QUELQUES SOLUTIONS PRATIQUES

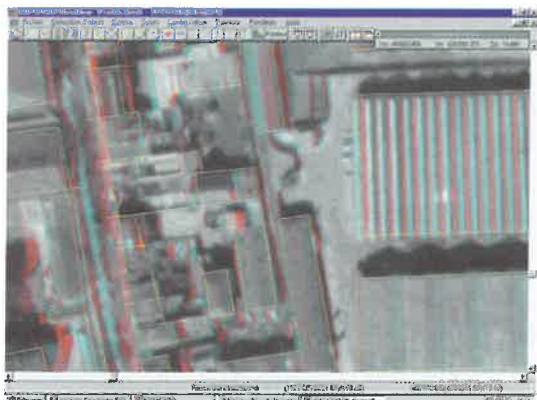
Les exemples suivants illustrent la manière dont peuvent s'articuler les logiciels précédemment décrits pour répondre efficacement aux problèmes rencontrés en production photogramétrique courante.

Anthropométrie

Le traitement par **Photomod** du couple stéréo d'un crâne inconnu et le traitement par **Façade 2** des photos de candidats potentiels a permis, à deux reprises, d'identifier positivement des personnes disparues.

Levé de contours de bâtiments

Les contours des bâtiments de Lisbonne et Porto, environ 180 000, ont été restitués en XYZ en parallélisant les postes de travail **Photomod** avec des reconstituteurs analytiques classiques.



Cette image en relief doit être observée à l'aide de verres anaglyphes.

Mosaïque d'orthophotos

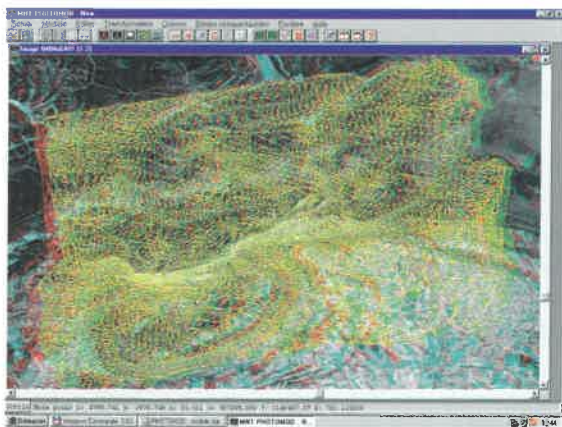
La mosaïque ci-jointe intègre 30 clichés aériens de montagne à forte dénivelée, avec les difficultés de recouvrement que cela implique.

Modélisation, orthorectification, mosalcage ont été réalisés avec **Façade 2**.



Production de MNT

Un MNT a été produit avec **Photospot** à partir d'un couple stéréoscopique SPOT Panchro en zone montagneuse sous forme de TIN qui peut être exporté vers d'autres applications en format DXF ou transformé par interpolation en grille régulière.

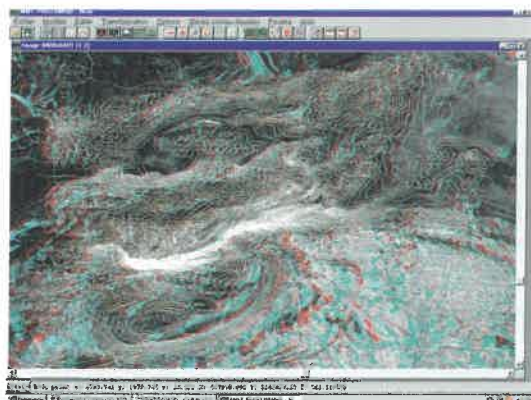


Copyright Cnes 1986 - Distribution Spot Image

Cette image en relief doit être observée à l'aide de verres anaglyphes.

Production de courbes de niveau

Les courbes de niveau ont été calculées par Photospot à partir du MNT précédent pour en contrôler la qualité.



Copyright Cnes 1986 - Distribution Spot Image

Cette image en relief doit être observée à l'aide de verres anaglyphes.

Stéréoscope à miroirs

Une société d'ingénierie recherchait un stéréoscope, une barre de parallaxe et des points de calage pour déterminer sur 10 couples SPOT XS le couloir du tracé d'un oléoduc dans une région désertique non cartographiée.

Le problème a été résolu différemment en utilisant **Spatio 1** pour générer des points de calage dans chacun des couples SPOT puis **Autospot** pour observer, mesurer et tracer en mode stéréoscopique à moindre coût.

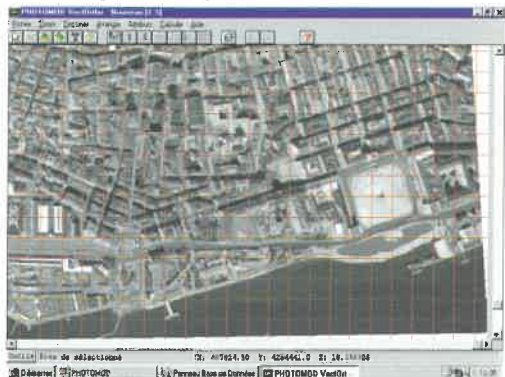


Copyright Cnes 1998 - Distribution Spot Image

Cette image en relief doit être observée à l'aide de verres anaglyphes.

Carte active

Une orthophoto se manipule sans difficulté sur un PC portable et se transforme en véritable carte active en l'associant à **Mapnote 2** pour lire directement sur l'écran des coordonnées XYZ, mesurer des distances ou des profils, tracer, renseigner et imprimer.



CONCLUSION

Les petits systèmes de photogrammétrie numérique sur PC offrent des fonctions de production équivalentes à celles des grands systèmes dont ils ne se distinguent plus que par une capacité de traitement inférieure par construction et des fonctions parfois moins automatisées, différences qui s'estompent peu à peu. Ils entrent en compétition avec les grands systèmes sur station de travail sur lesquels ils présentent l'avantage de s'adapter plus facilement à l'organisation de production qui convient à la taille du projet, au point que les grands constructeurs présentent des petits systèmes de production photogramétrique sur PC pour diversifier leur offre.

N.B. : Les personnes qui ne posséderaient pas de lunettes anaglyphes peuvent en demander à CHS au 01 47 51 57 47.

RÉFÉRENCES

- (1) Wheda M. : « Underwater photogrammetry in real conditions », Ph. D. thesis, University of Wisconsin, Madison, 1984.
- (2) Guichard H., Pikeroen B. : « La modélisation des images spatiales : une approche générale, simple et rigoureuse. » Actes du Symposium International sur les applications topographiques des données SPOT. Sherbrooke, Québec, Canada, 1988.
- (3) Guichard H. Communication privée. 1993
- (4) Adrov V.N., Checkurin A.D., Suchin A.Y., Smirnov A.N., Adam-Guillaume J.-P., Quessette J.-A. : « Photomod : digital photogrammetry and stereoscopic images synthesis on a PC », Digital Photogrammetry and Remote Sensing' 95, Eugeny A. Fedosov, Editor, Proc. SPIE 2646, pp. 89-96, 1995.
- (5) Benmlih S., Maumont M., Quessette J.-A. : « Réflexions sur l'orthophotographie numérique », revue XYZ n°71, 1997, pp. 82-87.
- (6) Kasser M. : « Le tout numérique sur les chemins d'une vulgarisation », revue Géomètre n°11, novembre 1997, pp. 30-33.
- (7) Quessette J.-A. : « Qualité de la chaîne photogramétrique 100 % numérique », revue Géomètre n°11, novembre 1997, pp. 34-36.



Au service du **Bâtiment** et des **Travaux Publics** pour **former** **autrement**

L'Ecole Chez Soi, pionnier de la formation professionnelle du BTP, est fière d'avoir préparé plusieurs générations de cadres et de techniciens du Bâtiment et des Travaux Publics. Plus de 20 000 anciens élèves de l'Ecole Chez soi sont actuellement en activité dans des bureaux d'études, cabinets d'architectes, cabinets topographiques, dans des entreprises de BTP ou encore, dans la fonction publique.

Elle forme des Ingénieurs, des Techniciens Supérieurs, des Techniciens. Elle dispense toutes les formations qualifiantes du Bâtiment et des Travaux Publics, elle prépare aux examens d'Etat.

Des experts vous forment ! Les formateurs sont des professionnels du BTP, reconnus pour leurs compétences.

Des formations à distance. La souplesse de la méthode laisse à chacun sa liberté.

Des formations sur mesure ! Chacun peut se former en fonction de ses besoins personnels.

Il existe un compagnonnage actif et dynamique entre anciens élèves et nouveaux.

Celui-ci permet de faciliter :

- l'insertion des jeunes dans le monde du travail,
- la réorientation et le plan de carrière des professionnels.

Informations et inscriptions

Tél. 01 46 03 66 83



Ecole Chez Soi 
INSTITUT PRIVÉ FONDÉ PAR L. EYROLLES EN 1891
3615 Ecole chez soi * 92774 Boulogne Cedex
Site internet : www.ecole-chez-soi.com

base de données cadastrales pour un environnement micro-informatique

MAROC

Moha ELAYACHI

enseignant chercheur

Département de Géodésie
et Topographie,

Elmustapha ADNAN

& Lahcen LACHGAR

ingénieurs

Département de Géodésie
et Topographie

lauréats

de l'Institut Agronomique
et Vétérinaire Hassan II

Rabat

RÉSUMÉ

L'objectif de cette étude est l'élaboration d'une base de données destinée à la gestion et l'exploitation des documents cadastraux (registres, dossiers, cartes). L'outil informatique, appelé IAVCAD, ainsi développé vise à contribuer à l'informatisation des procédés de consultation, de mise à jour et d'archivage utilisés dans les services du cadastre.

Pour atteindre ce but nous avons utilisé le système de gestion de base de données relationnel Oracle7 et l'outil graphique MicroStation95. En effet cette application nous a permis de développer les éléments suivants :

- Développement des modules de saisie des données,
- Établissement d'une interface entre le logiciel de dessin TopoJis et IAVCAD.

Mots clés : Le Service du Cadastre, base de données, oracle7, MicroStation, TopoJis, IAVCAD.

ABSTRACT

The purpose of this study is to elaborate a database for cadastral document management and use. The computerised tool, called IAVCAD, developed in this research, will provide the user with the common tasks usually used in cadastral agency, such as storage, update, and retrieval, etc.

In order to reach this goal, we have used the oracle7 relational database management system and MicroStation95 graphic tool. Thus, we have achieved the following tasks :

- Development of seizure module in this environment,
- Development of an interactive module to convert TopoJis data files into IAVCAD application

Keywords : Cadastral Agency, database, oracle7, MicroStation95, Topojis, IAVCAD.

INTRODUCTION

Au Maroc, le service du Cadastre désigne, l'ensemble de documents établis à la suite des relevés topographiques et d'opérations administratives destinées à permettre la détermination physique et juridique de la propriété foncière en vue d'en constituer un véritable état civil. Il constitue un organisme très intéressant chargé des plans cadastraux, partie du titre foncier qui rend facile les transactions immobilières (Rolland et al, 1997).

La bonne marche de ce service est tributaire d'une part d'une meilleure coordination entre ses différents bureaux et d'autre part de l'existence d'un ensemble de registres qui permet l'enregistrement et le suivi des différentes affaires traitées au sein de ce service.

Une base de données contient des objets du monde réel et des associations entre ces objets. Les associations et les objets sont manipulés à l'aide d'un modèle de données tel que : le modèle hiérarchique, le modèle réseau et le modèle relationnel.

Pour ce dernier modèle, les données et les relations qui les lient sont structurées sous formes de tableaux dont les colonnes sont désignées par des noms uniques. À cet effet la conception d'une base de données n'est pas toujours évidente, elle nécessite de passer par un processus de normalisation des relations pour mieux traduire le monde réel et éviter de nombreux problèmes : redondance de données, des mises à jour multiples et des risques d'incohérences entre les données en cas de mise à jour non exhaustive (figure 1).

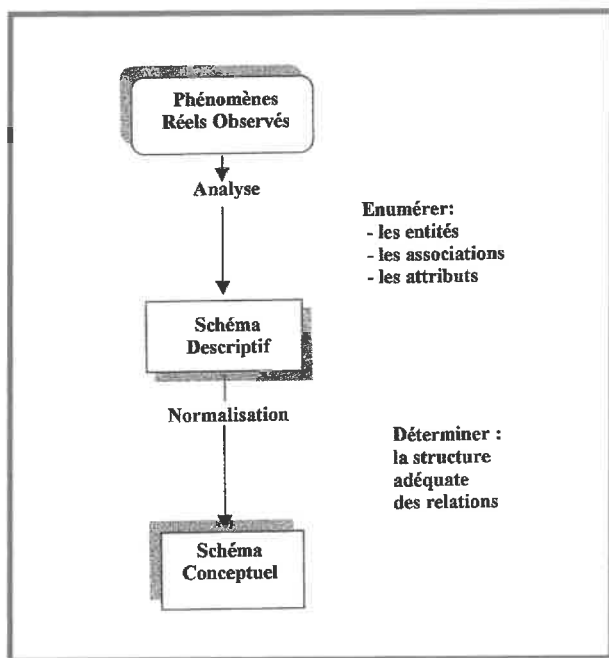


Fig. 1 - Étapes de conception d'une base de données

L'APPORT DES BASES DE DONNÉES

De par les tâches importantes qui incombent aux services du cadastre, les responsables manifestent un besoin croissant d'avoir un système d'information, conçu autour d'une base de données globale pour la supervision et l'accomplissement des tâches inhérentes à ses services (Elayachi et al, 1995). Dans le domaine du cadastre, l'adoption d'un tel outil pour la gestion des données cadastrales permettrait un gain de temps considérable par rapport aux méthodes conventionnelles.

Comme contribution à l'informatisation de ses services, un nouvel outil informatique dénommé IAVCAD, est mis au point à la filière de formation en Topographie, et visant à gérer l'ensemble des données dans une base évolutive, protégée, consistante et accessible à tout moment (Ben ameur et al, 1996).

MÉTHODE DE CONCEPTION

La méthode de conception utilisée est celle de Merise en vue de sa vocation double. D'abord, elle représente une méthode de conception des systèmes d'information et ensuite, elle propose une méthodologie de développement. Comme méthode de conception, Merise permet une approche globale de système d'information menée en parallèle sur les données et les traitements :

- Une description du système d'information par niveau: niveau conceptuel, logique et physique,
- L'utilisation d'un formalisme précis et rigoureux pour décrire les données.

Et en tant que méthode de développement, Merise constitue un moyen de conduite des projets informatiques grâce :

- À l'adoption d'un découpage du processus de développement (cycle de vie, cycle de décision),

- À la définition de la mission et de la composition de chaque intervenant pour mener à bien le développement. (Gabay, 1993).

OUTILS INFORMATIQUES

Les données textuelles de la base de données ainsi conçue sont gérées dans un système qui a imposé ses performances dans la gestion des bases de données relationnelles. Cet outil est le SGBDR Oracle7 qui constitue d'ailleurs un environnement de travail en raison de la grande variété d'éléments basés sur le langage SQL qu'il offre. Tandis que la gestion des données graphiques, se fait par le logiciel MicroStation95. Un outil qui s'ouvre sur plusieurs plates formes de SGBDR et notamment Oracle. Ses fichiers de dessin sont modélisés sous formes de couches d'information (niveaux). Il permet, entre autre, à l'utilisateur d'améliorer ses performances et ses capacités en l'adaptant à ses propres besoins par le développement d'applications programmées par le langage MDL¹. (Achgar et al, 1998).

DESCRIPTION DE LA BASE DE DONNÉES

4.1. Configuration matérielle

L'application que nous avons mise en place est développée autour de la configuration suivante :

- Un Pentium I (200 MHz) de 16 MB de RAM et avec un disque dur de 1.2GO.
- Une carte graphique et un écran de haute résolution.
- Une souris.
- Un traceur à jet d'encre de type HP.

4.2. Gestion des données et validation

À travers l'application IAVCAD, les données textuelles sont gérées dans une base de données protégée et évolutive et les données graphiques sont stockées dans des fichiers de dessin. Le traitement combiné de ces deux types de données est assuré par la liaison établie entre les données de la mappe cadastrale et les attributs qui lui sont associés.

Vue l'immensité des données à manipuler et les nombreux traitements à effectuer, le choix de la solution informatique pour atteindre les objectifs a été fait avec minutie.

En effet les données textuelles, sont gérées par un système qui a imposé ses performances dans la gestion des bases de données relationnelles qui est oracle². Les données graphiques sont manipulées par un outil puissant dans le domaine des CAO qui est MicroStation95³. Il offre de plus une interface avec le SGBDR Oracle et permet à l'utilisateur de développer des programmes par le langage MDL.

La validation des programmes développés nécessite d'alimenter l'application par des données réelles d'un Service du Cadastre. Pour cette raison nous avons collecté des données concernant certains dossiers archivés, quelques dossiers sur des affaires en cours de traitement et des dossiers techniques⁴ auprès des responsables du Cadastre de la ville de Rabat. L'exploitation de cette base

1- MicroStation Development Language

2- On exploite le noyau d'Oracle livré avec MicroStation95 au Département.

3. Version académique.

4. Des dossiers remis par des entreprises privées et contrôlés par le Service du Cadastre.

Géopixel

LES PREMIERS LOGICIELS **GRATUITS***

création C b design



Nous vous
OFFRONS
ce que
tout le monde
est prêt
à payer
très cher!

Intégré de topographie
Géocodification 2D/3D
Levé d'intérieur
Mètres
Gestion

Géopixel, C'EST AUSSI :
LA FORMATION, L'ASSISTANCE TECHNIQUE, DES DÉVELOPPEMENTS



*Offre soumise à conditions

**N'attendez plus : demandez
une documentation sur nos produits**

Les Gipières Vieilles
83390 CUERS - France
www.geopixel.com

Tél. (33) 04 94 48 66 41
Fax (33) 04 94 48 66 42

DECouvrez UNE FAÇON DE TRAVAILLER PLUS EFFICACE AVEC LA TABLETTE



Votre plan
topographique
en temps réel
conforme à tous
cahiers des charges

(DDE, Carto 200...)

bornage
implantation
division

application cadastrale...

Géopad



**N'attendez plus : demandez
une démonstration du **Géopad****

Géopad est commercialisé par la Société **TOPOLAND**
2, av. de la République 94120 FONTENAY/BOIS
Tél. (33) 01 48 77 50 30 Fax (33) 01 48 77 33 34
topoland@wanadoo.fr

de données revient à extraire de celle-ci toutes les informations qui répondent à une préoccupation particulière de l'utilisateur.

L'application permet de répondre rapidement et de façon exhaustive à des questions de type :

- Quelles sont les affaires que traite le service ?
- Quelles sont les affaires en instances de bornage ? De levé ? De calcul ? De contrôle ?...
- De faire des recherches par mappe, par commune, par situation (rurale/urbaine), par nom de la propriété ou par propriétaire.
- Quels sont les résultats d'un programme de bornage élaboré ;
- De cliquer sur une propriété pour avoir toutes les informations sur celle-ci.

Ainsi l'utilisateur peut consulter une propriété pour s'informer de son numéro de réquisition, de son nom, de sa superficie, des droits réels la grevant et de sa consistance. Elle offre entre autre, des informations sur les communes qui forment la zone d'action du Service et sur les conservations foncières avec lesquelles il collabore.

4.3. Les modules de l'application

L'application développée se présente, dans son environnement sous forme d'un menu déroulant composé de huit options :

– **Option saisir Calque Individuel** : permet à l'utilisateur de saisir les informations concernant un calque individuel. Ces informations sont réparties en trois fichiers : fichier asc (ASCII), fichier habillage, fichier vrb (vers bornes).

– **Option saisir Fichier Complet** : ce module est essentiel pour la saisie des coordonnées juridiques (x, y) des propriétés, des points géodésiques ou de la mappe de repérage. Elle offre les possibilités suivantes :

- Créer un nouveau fichier relatif à une nouvelle affaire,
- Mettre à jour les données d'un fichier de coordonnées,
- Lister les informations désirées.

– **Option dessin** : ce module offre les fonctionnalités suivantes : faciliter le dessin des propriétés et des points de polygones et l'habillage de la mappe de repérage, dessiner le calque individuel et créer le fichier topologique pour faciliter les requêtes.

– **Option gestion mappe** : ce module offre les possibilités d'ajouter, de sélectionner ou de charger une mappe de repérage. Comme il permet de localiser une entité graphique (point de triangulation, propriété) sur la mappe (figure n° 2 de la mappe cadastrale).

– **Option consulter** : elle fournit à l'utilisateur les informations relatives à une affaire en cours. Elle prévoit trois façons de consultation :

- Consultation d'une affaire par numéro de titre, numéro de réquisition, numéro de bordereau foncier ou par numéro de travaux.
- Consultation particulière permettant de consulter les affaires situées dans une mappe ou une commune ou des affaires issues d'un même titre foncier.
- Consultation des archives par le numéro de titre ou par le numéro de réquisition.

En plus de ces options, l'application est enrichie par d'autres modules permettant aux utilisateurs de formuler

des requêtes par le langage SQL ainsi que l'import et l'export des données (figure 2).

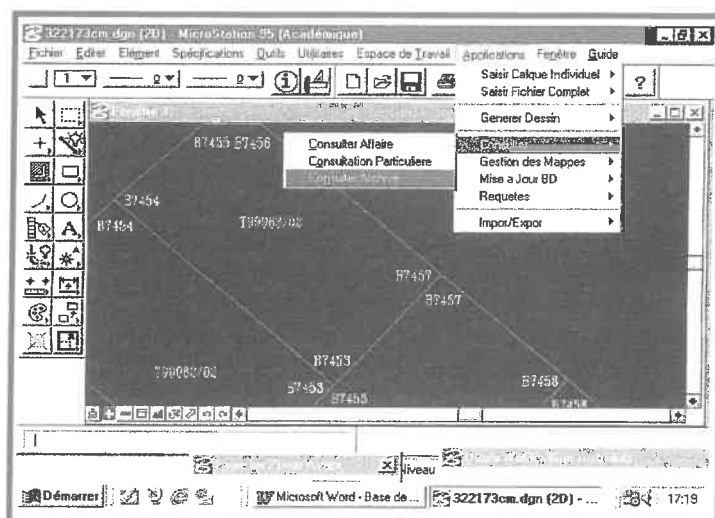


Fig. 2 - L'application IAVCAD et ses composantes dans l'environnement MicroStation

4.4. Echange de données avec TopoJis

Le logiciel TopoJis est un support de géo-informatique destiné aux géomètres pour automatiser leurs travaux. Il est composé de modules permettant des calculs topométriques et des tracés. Pour pouvoir exploiter les données existant sous formats TopoJis, nous avons jugé nécessaire de développer un module de conversion.

Ce module permettra de récupérer les fichiers et les mappes déjà saisies sous TopoJis. Il permet d'extraire les informations de chaque entité du fichier ASCII de TopoJis et de les arranger dans deux fichiers ayant la structure habituelle de l'application IAVCAD.

CONCLUSION

Actuellement, l'informatisation des plans, des documents ainsi que la création des systèmes d'informations cadastrales représentent un défi particulier pour la gestion et l'exploitation des dossiers cadastraux. Le besoin devient encore plus exigeant lorsque les services du cadastre sont confrontés à une demande de plus en plus croissante des affaires à traiter.

Pour faire face à cette situation, de nouveaux instruments, de nouvelles méthodes et de nouvelles procédures doivent être mis en place pour améliorer les prestations de ces services. D'ailleurs les responsables, déploient des efforts très importants pour répondre aux besoins exprimés par les partenaires du cadastre.

Certes, l'application développée reste ouverte à toute adjonction d'autres programmes jugés utiles. Nous projetons, à cet effet, de l'améliorer davantage et tester ses potentialités avec un taux de données très important au niveau des services de compétences. Aussi faut-il penser dans le futur à une modélisation de l'espace cadastral par une Approche Orientée Objet pour bénéficier de ce concept assez prometteur.

Remerciement

Les auteurs expriment leur profonde gratitude aux agents du Cadastre de Rabat, au responsable du Service des Techniques Nouvelles de l'Administration de la

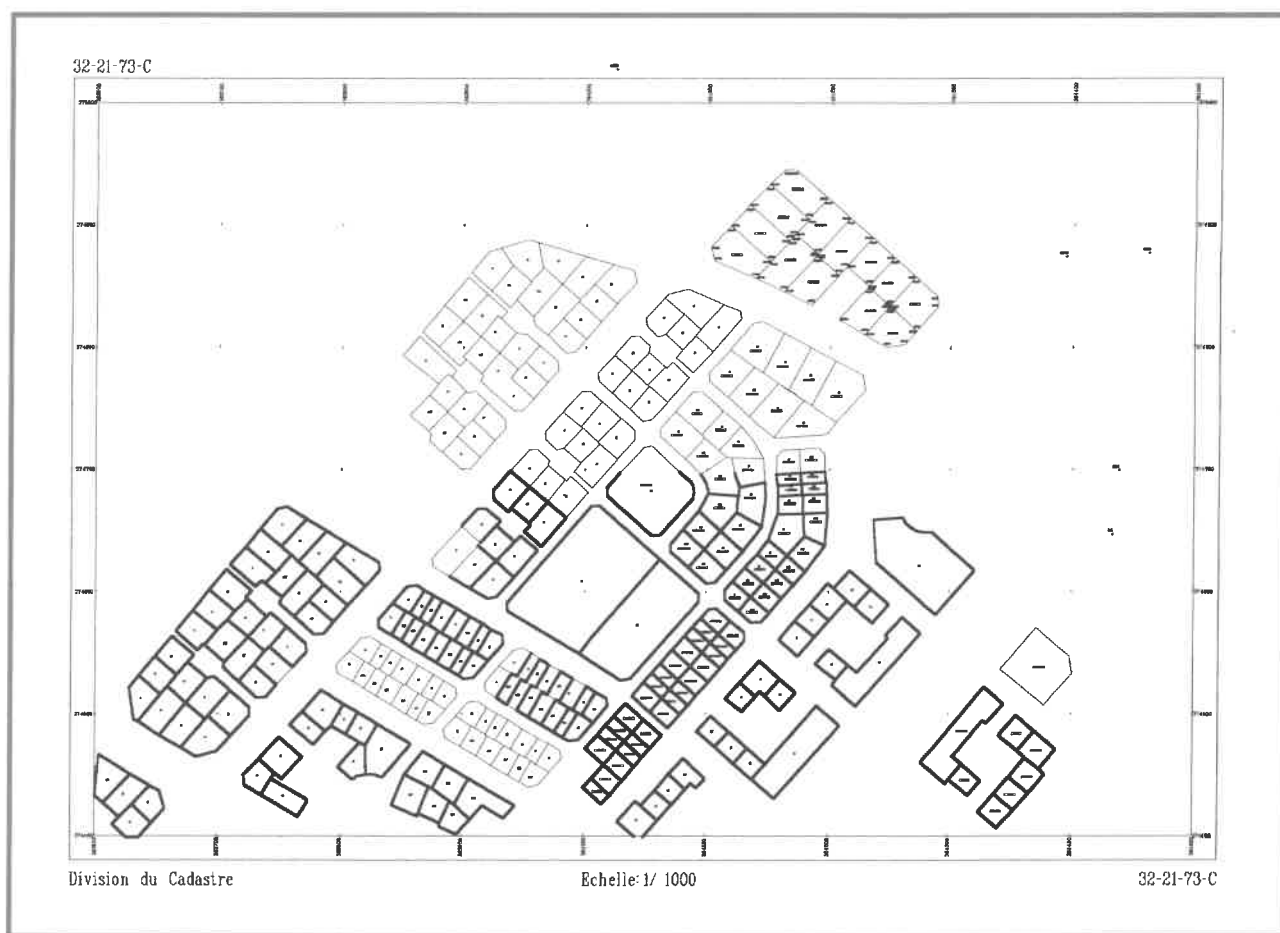
Conservation Foncière du Cadastre et de la Cartographie, pour leur aide et leur soutien. Nous remercions aussi le comité de lecture de l'AFT pour toutes les remarques et suggestions qu'ils ont voulu bien apporter à cet article.

Références bibliographiques

- **Abdellatif A. & J. Libehan & M. Limane**, 1990, le système de gestion de bases de données relationnel. 2^e édition, Eyrolles, Paris.
- **Achgar L. & Adnan M.**, 1997, Amélioration de la base de données cadastrales IAVCAD, mémoire de 3^e cycle, I.A.V. Hassan II, Rabat, Maroc.
- **Ben Ameer Y. & Zaher H.**, 1996 Amélioration sous MicroStation de l'interface graphique de la base de données

castrales IAVCAD, mémoire de 3^e cycle, I.A.V. Hassan II, Rabat, Maroc.

- **Bentley systems, inc. et intergraph**, 1991, Microstation MDL manual, Intergraph Corporation, Huntsville.
- **Elayachi M. & Moussaid F.**, 1995, conception et mise en œuvre d'une base de données cadastrales sous oracle et microstation, mémoire de 3^e cycle, I. AV. Hassan II, Rabat, Maroc.
- **Gabay J.**, 1993, Apprendre et pratiquer Merise, Masson, Bonn.
- **Rolland et Bollier**, 1927, Instructions pour l'exécution des travaux de bornage et de plans sous le régime de l'immatriculation des immeubles, dahir organique du 12Août 1912, Maroc.



Plan d'une mappe cadastrale

BULLETIN D'ADHÉSION

à retourner à l'AFT - 136b rue de Grenelle - 75007 SP Paris (France)

Mr ☐ Mme ☐ Mlle ☐ ou raison sociale ☐

Nom : _____ Prénom : _____

Adresse : _____

Code postal : _____ Ville : _____

Profession : _____ Secteur d'activité : _____

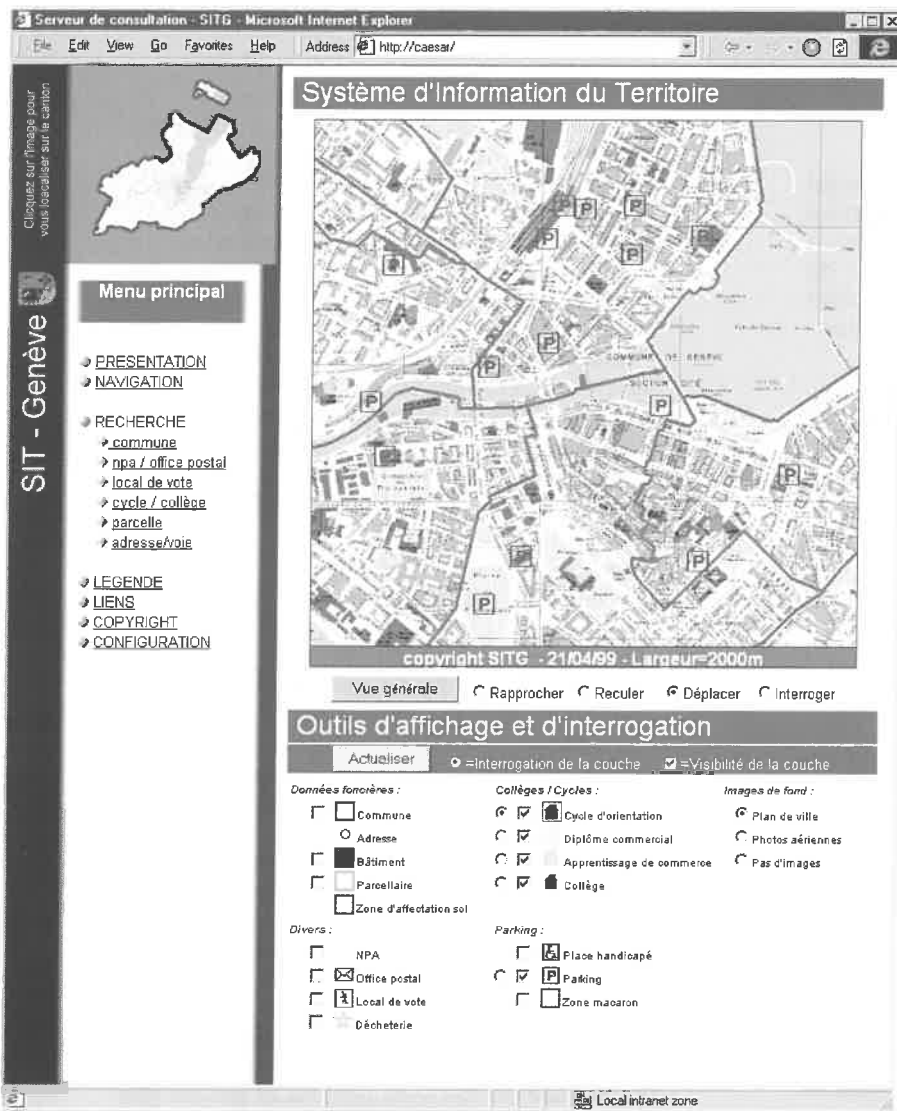


Fig. 4 - Aperçu du site web accessible au grand public

valorisation et diffusion des données géographiques du canton de Genève

www.geneve.ch/sitg

Thierry Morand
Stéphane. Couderq
(Topomat)

INTRODUCTION

Depuis le milieu des années 80 et l'avènement des premiers systèmes d'information géographique performants, le canton de Genève a entrepris de numériser l'ensemble des données relatives à son territoire. Le but principal d'une telle opération était de disposer, dans une seule et unique base de données, de toutes les informations jusque-là réparties dans différents services publics et sur des supports fortement hétérogènes (plans de qualité et d'échelle différentes, bases de données alphanumériques, fichiers dans logiciels de dessin, etc.).

Convaincus des avantages qu'offrait une telle base de données, les autorités politiques du canton de Genève ont libéré les fonds nécessaires pour l'acquisition et la mise à jour des données dans un seul et unique SIG. Cette phase d'acquisition et de mise à jour, réalisée à grande échelle, ne pouvait se faire qu'à l'aide d'outils non seulement performants, mais également très fiables. Le SIG choisi devait alors avoir les caractéristiques principales suivantes :

1. Fonctionner dans un environnement multi-tâches et multi-utilisateurs (UNIX) ;
2. Disposer d'un SGBD relationnel puissant et reconnu comme un standard du marché (ORACLE) ;
3. Disposer d'un mécanisme performant et sûr pour la mise à jour (check-in/check-out) ;
4. Pouvoir gérer plusieurs milliers d'objets sans diminution des performances (indexation spatiale de type « quadtree ») ;
5. Disposer d'un outil de développement puissant permettant aux différents services de développer leurs propres applications ;
6. Garantir une gestion parfaite de la topologie, notamment pour les polygones (partition complète du territoire, sans superposition des limites communes à plusieurs polygones) ;
7. Disposer d'un format natif stable et totalement ouvert, afin de garantir l'échange à long terme des données avec d'autres systèmes.

LA PROBLÉMATIQUE ACTUELLE

Le SIG (ARGIS 4GE) choisi à l'époque pour ce projet d'envergure correspondait parfaitement à ces exigences et a permis au service de géomatique de charger dans la base de données « SITG » (Système d'Information du Territoire Genevois) la quasi totalité du canton de Genève pour les principales couches d'informations, entre autre :

1. Parcelles;
2. Bâtiments;
3. Couverture du sol (forêts, lacs, cours d'eau, genres de cultures, etc.);
4. Adresses postales;
5. Frontières nationales, cantonales et communales;
6. Graphe routier;
7. Cadastre du sous-sol;
8. Zones d'affectation du sol;
9. Cartes nationales scannérisées et géoréférencées (1:100'000, 1:50'000, 1:25'000);
10. Plans d'ensemble scannérisés et géoréférencés (1:10'000);
11. Orthophoto. numérique couleur géoréférencée (résolution au sol : 75 cm.).

L'acquisition, la mise à jour et la consultation des données par les différents partenaires du SITG (communes, fournisseurs d'énergie, bureaux privés de géomètres, services publics, etc.) se faisant dès lors de deux manières principales :

1. Par accès direct à la base de données, en respectant des procédures spécifiques pour la consultation, l'acquisition et la mise à jour;
2. Par importation/exportation des données de/vers d'autres systèmes grâce à différents traducteurs de données (DXF, Mif/Mid, Shapefile, etc.).

Ces mécanismes, s'ils garantissent une acquisition et une mise à jour parfaitement contrôlée (donc fiable) des données, ont en revanche rapidement montré leurs limites pour la simple consultation des informations. En effet, ils fixent un certain nombre de contraintes dont voici les principales :

1. Lors de l'accès direct à la base de données :
 - Le SIG utilisé (ARGIS 4GE) ne dispose pas de fonctions réellement conviviales et d'utilisation quasi instinctive pour la consultation, d'où la nécessité de programmer ces fonctions;
 - Les performances actuelles des réseaux de télécommunication (lignes RNIS à haut débit) ne permettent pas une consultation « on line » rapide de la base de données et rendent pratiquement impossible la consultation des images raster;
 - Le poste de consultation doit obligatoirement disposer d'un émulateur X pour avoir accès à la base de données.
2. Lors de l'exportation des données vers d'autres systèmes :
 - La quantité (environ 3 millions d'objets) et la diversité des données disponibles font que leur exportation ne peut se faire que pour une zone géographique réduite et des couches d'information judicieusement sélectionnées;
 - Une fois exportées sur un autre système, les données peuvent être utilisées librement (que ce soit à des fins commerciales ou non), ce qui oblige les services publics à percevoir des émoluments,

conformément aux lois suisses sur l'utilisation des données officielles (droits d'auteur);

- L'évolution rapide du marché des SIG et des logiciels de DAO implique une mise à jour de plus en plus fréquente des traducteurs de données;
- Un SIG (ou un logiciel de DAO) doit obligatoirement être installé sur le poste de consultation, ce qui rend pratiquement impossible la consultation des données par le grand public ou par des administrations communales de petite taille (coût des logiciels, nécessité de former le personnel, etc.).

Par conséquent, la diffusion des informations contenues dans la base de données centrale est restée longtemps limitée aux principaux partenaires du SITG suivants :

- Communes de taille importante;
- Fournisseurs d'énergie (services industriels de Genève);
- Bureaux privés de géomètres;
- Services publics directement concernés par la gestion du territoire (service de l'aménagement du territoire, police des constructions, service de l'environnement, service de l'agriculture, office des transports et de la circulation, etc.).

LA SOLUTION :

UN SERVEUR DE CONSULTATION

La solution envisagée par le service de géomatique pour aboutir à une très large diffusion des données repose sur les principes généraux suivants :

1. Les mécanismes existants pour l'acquisition et la mise à jour des informations dans la base de données centrale ont fait leurs preuves et doivent être conservés, ceci afin de maintenir la qualité de ces informations (exhaustivité, fiabilité, exactitude);
2. L'accès à la base de données centrale doit impérativement être sécurisé, ceci afin d'éviter le piratage informatique;
3. La consultation des données (vecteur et raster) doit pouvoir se faire via Internet ou Intranet, ce qui d'une part rend inutile la présence d'un SIG ou d'un logiciel de DAO sur les postes de consultation et, d'autre part, résout une fois pour toutes les problèmes de compatibilité entre matériels et logiciels.

Une fois les principes généraux fixés et l'étude de faisabilité effectuée, la mise en place de la solution a fait l'objet d'un appel d'offres ouvert à tous les fournisseurs de solutions informatiques. Les critères d'évaluation portaient principalement sur :

1. L'aptitude du fournisseur à proposer une solution conforme en tout point au cahier des charges établi par le service de géomatique;
2. La pérennité de la solution;
3. Le prix.

La solution finalement retenue par le service de géomatique repose essentiellement sur la gamme des produits *ESRI* ; elle a été proposée par un consortium regroupant :

- La société *TOPOMAT SA* en tant qu'entrepreneur général;
- La société *POWERSOFT, R. PIAN SA* en tant que partenaire spécialisé;
- La société *ESRI* en tant que fournisseur principal des logiciels.

LE CONCEPT

Le concept général de la solution repose sur la mise en place d'un serveur dédié uniquement à la consultation et sur lequel sont copiées toutes les informations jugées pertinentes. Plutôt que de recréer une image fidèle de la base de données SITG, le serveur de consultation peut accueillir des données provenant de plusieurs serveurs « métier » distincts, répartis dans plusieurs services publics différents. L'avantage de cette solution est qu'elle permet de diffuser également des projets particuliers, propres à certains domaines d'activité. Pour illustrer cette possibilité, supposons que le service d'écotoxicologie, à l'aide d'un SIG comme ArcView, établisse une carte thématique à l'échelle du canton représentant les zones d'égale concentration en CO2 mesurée dans l'atmosphère au mois de janvier 1999. Cette carte peut être copiée sur le serveur de consultation et ainsi être accessible (via Internet) à l'ensemble de la population. En revanche, il n'y a aucune raison pour qu'elle soit définitivement enregistrée en base de données SITG.

d'ESRI). Il peut importer directement des données provenant des clients « naturels » de SDE, à savoir :

- ArcView
- AutoCAD
- MicroStation

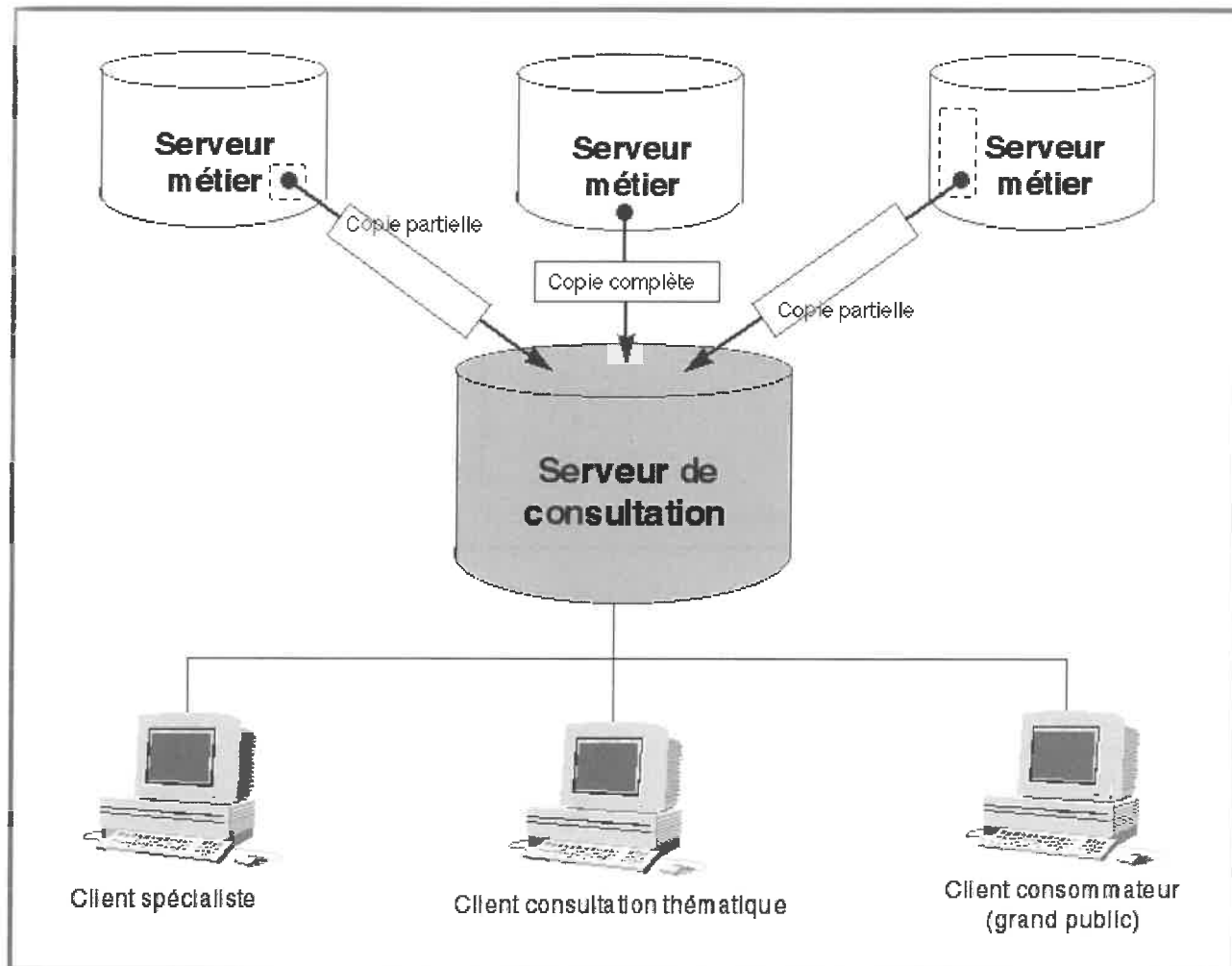
Les données provenant d'autres clients (ARGIS 4GE, MapInfo, autre) sont préalablement converties dans le format natif de SDE par le traducteur de données standard FME développé par la société *SAFE SOFTWARE*.

5.2. La consultation des données par les clients

L'application développée par les sociétés *POWER-SOFT*, *R. PIAN SA* et *TOPOMAT SA* pour la consultation des données part du principe que les besoins en information dépendent du type de client. Après analyse de la situation, il est apparu que l'on pouvait regrouper les clients en 5 catégories, dont 3 principales qui seront présentées ici, à savoir :

- 1) Les clients « spécialistes »
- 2) Les clients « consultation thématique »
- 3) Les clients « consommateurs » (grand public)

Fig. 1 - Concept général de la solution



LES MÉCANISMES

5.1. La copie des données sur le serveur de consultation

Le serveur de consultation est basé sur le couple très intégré SGBD ORACLE + SDE (Spatial Data Engine

5.2.1. Les clients « spécialistes »

Les clients spécialistes sont des professionnels de la gestion du territoire. Ils peuvent être internes à l'administration (cadastre, aménagement du territoire, environnement, police des constructions, service de l'agriculture, office des transports et de la circulation, etc.) ou externes à l'administration (géomètres privés, notaires). Leurs besoins peuvent être résumés comme suit :

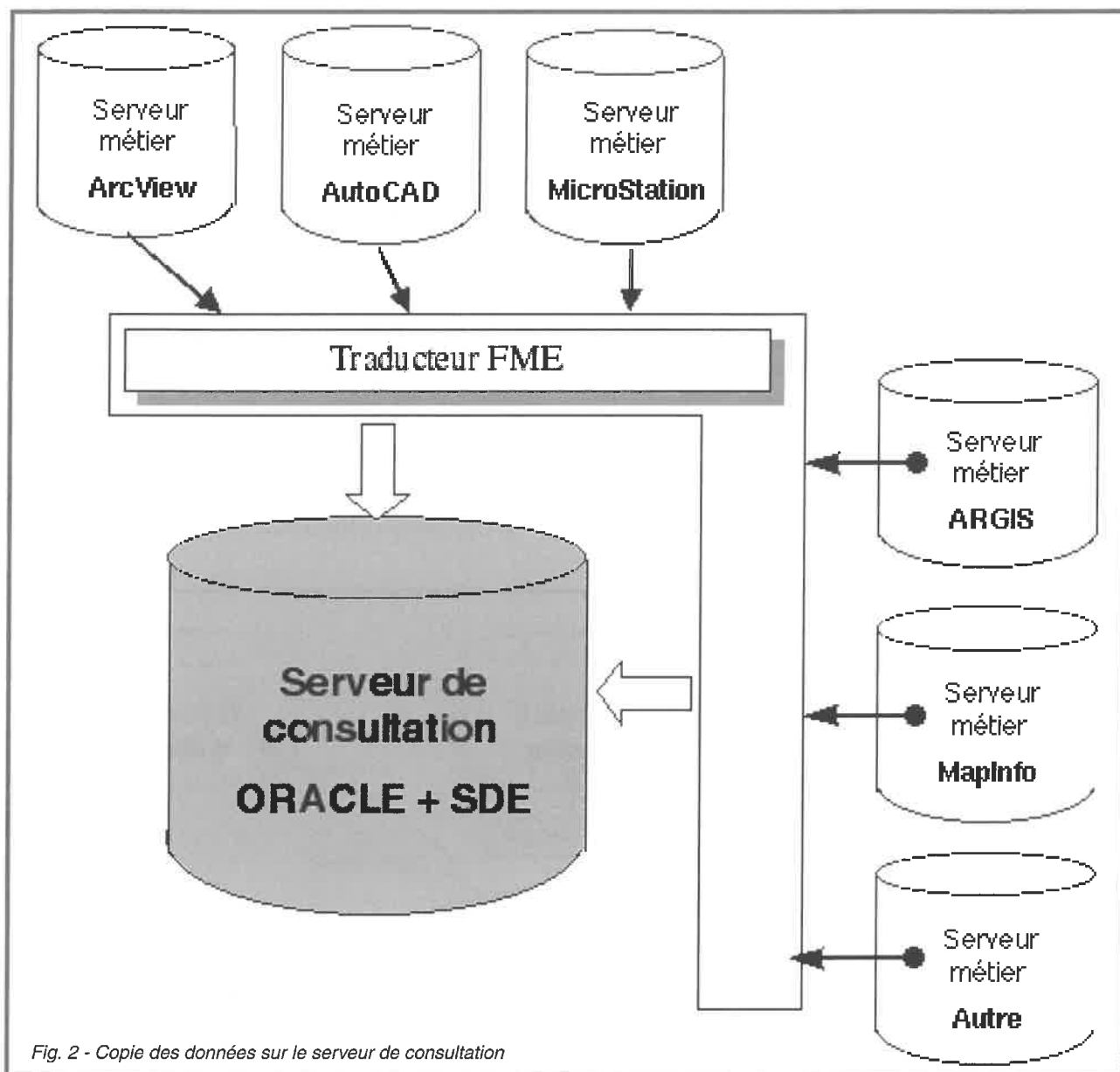


Fig. 2 - Copie des données sur le serveur de consultation

- Rapidité d'accès aux informations ;
- Possibilité d'importer des données sur le poste client ;
- Nécessité d'accéder directement aux données de référence du SITG pour une utilisation professionnelle.

Pour ces clients, l'accès au serveur de consultation se fait à travers le réseau à fibre optique interne de l'administration. Il est direct si le poste client dispose d'un logiciel de la gamme *ESRI* (ArcView ou ArcExplorer) ou indirect (via le traducteur FME) si le poste client dispose d'un autre SIG. Les données de références sont alors disponibles dans les limites des droits d'accès fixés par le service de géomatique.

5.2.2. Les clients « consultation thématique »

Ces clients sont strictement internes à l'administration et ne sont pas nécessairement des professionnels de la gestion du territoire. En revanche, ils sont directement concernés par des projets émanant d'un ou plusieurs services de l'administration et s'attendent à pouvoir consulter facilement des plans ou des cartes thématiques pour prendre un certain nombre de décisions. Généralement, ces clients ne disposent pas d'un SIG sur leur

poste de travail, mais uniquement de logiciels de bureautique. Dès lors, le serveur de consultation fonctionne en tant que « distributeur de cartes thématiques » et est accessible à travers le réseau à fibre optique interne de l'administration en utilisant la technologie Intranet. Le mécanisme mis en place est le suivant :

Les cartes thématiques (ou vues) sont construites avec le SIG ArcView à partir des données de référence disponibles dans SDE, puis stockées sur un serveur WEB. Le logiciel ArcView Internet Map Server (AV IMS) développé par *ESRI* permet de visualiser et d'interroger ces vues à partir d'un browser WEB standard installé sur le poste client (Internet Explorer, Netscape).

5.2.3. Les clients « consommateurs » (grand public)

Les clients consommateurs sont tous ceux qui peuvent avoir un intérêt quelconque à consulter les données géoréférencées du canton de Genève. Il va de soi que ces clients ne sont en général pas des professionnels de la gestion du territoire et qu'ils ne disposent pas d'un SIG sur leur poste de travail. Dès lors, le serveur de consultation doit être accessible à travers les réseaux standards de communication (ligne ISDN, modem analogique ou

numérique, etc.) en utilisant pleinement la technologie Internet. Pour cela, une vue standard comprenant :

- Des images raster géoréférencées (plan de ville, photos aériennes, etc.)
- Une sélection d'objets vectoriels issus de SDE (parcelles, adresses, limites communales, bureaux de postes, etc.)
- Un certain nombre de fonctionnalités (zoom, requêtes standardisées, localisation dans le territoire, etc.)

est construite au format HTML à l'aide du logiciel Map Objects d'ESRI, puis stockée sur un serveur WEB disposant du logiciel Map Objects Internet Map Server (MO

IMS). Depuis n'importe quel poste client équipé d'un navigateur du type Internet Explorer ou Netscape, il est alors possible de consulter librement la vue standard et d'utiliser les fonctionnalités proposées.

Il convient également de préciser que les données du SITG rendues accessibles à tous par l'application Internet, bien qu'apparaissant sous forme vectorielle dans la page WEB, ne peuvent être importées sur les postes clients que sous la forme d'images au format JPEG ou GIF. Ainsi, l'État reste seul maître de ses données puisqu'il est impossible de récupérer des objets pour constituer sa propre base de données.

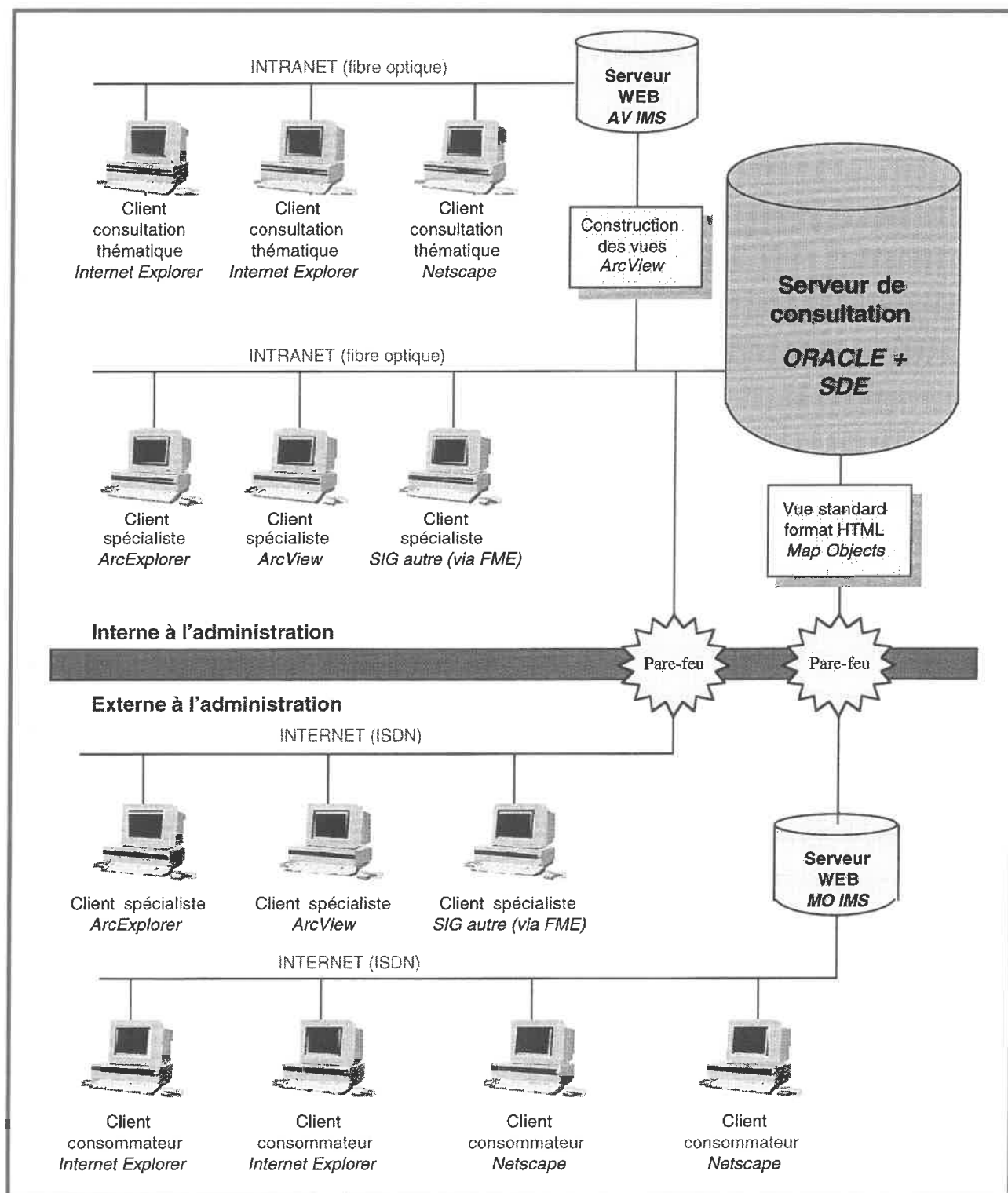


Fig. 3 - Consultation des données par les différents clients (internes ou externes à l'administration)

ETAT ACTUEL DU PROJET ET PERSPECTIVES D'AVENIR

Depuis le début du mois de mai 1999, le serveur de consultation est opérationnel et la vue standard au format HTML disponible sur Internet (site WEB : www.geneve.ch/sitg). Après quelques jours de fonctionnement, les accès au site WEB dédié au grand public se comptent déjà par milliers, bien avant qu'une annonce par voie de presse n'ait encore été faite ! Plus qu'intéressés par cette application, d'autres services publics ont déjà émis le souhait de pouvoir ajouter leurs données aux couches d'informations existantes et certains organismes (privés, semi-privés ou publics) ont créé des liens depuis leur propre site WEB vers ce site. Il va de soi que ces constatations ne peuvent qu'inciter le service de géomatique à développer la diffusion des données géoréférencées sur Internet.

L'intérêt des services publics pour l'application Internet étant démontré, on peut aisément penser que des sociétés privées vont progressivement s'intéresser aux possibilités qu'elle offre. En effet, un bon nombre de ces sociétés possèdent déjà leur propre site WEB, mais peu d'entre elles n'ont pu ajouter la composante géographique aux informations diffusées. Cette lacune s'explique d'une part par le manque d'outils véritablement performants disponibles jusqu'à présent dans ce domaine, et, d'autre part, par l'absence de données de base facilement utilisables (fonds de plan, adresses, parcelles, etc.).

On précisera encore qu'actuellement le transfert des données de référence depuis la base de données SITG (ARGIS 4GE) vers le serveur de consultation se fait au rythme d'une fois par semaine, respectant ainsi le principe voulu par le service de géomatique que les informations diffusées au grand public soient les plus conformes possible à la réalité.

CONCLUSION

Grâce à une forte volonté politique initiale, grâce au partenariat mis en place entre services publics et bureaux privés, grâce aux efforts permanents du service de géomatique pour faire progresser le SITG et enfin grâce aux progrès technologiques importants sur le marché des SIG, le canton de Genève s'est doté, en l'espace d'une quinzaine d'années, d'un formidable outil pour la gestion de son territoire. Ne pouvant se satisfaire d'un outil réservé aux seuls services publics, les organes décisionnels du SITG ont également décidé de rendre totalement publiques et gratuites une grande partie des informations concernant le territoire genevois. L'application mise en place par le consortium *POWERSOFT, R. PIAN SA - TOPOMAT SA - ESRI*, considérée actuellement comme l'une des plus modernes dans le domaine des SIG en Suisse, a permis de réaliser ce double objectif ambitieux. Elle est l'aboutissement d'un long processus entamé il y a plusieurs années, mais constitue sans aucun doute un point de départ pour la définition d'objectifs nouveaux.

(Email : info@topomat.sa)



The European Aerial Photo Lab

- Développement de tous les films aériens couleur
70 mm à 240 mm - AGFA & KODAK [type négatif - diapositive - infra-rouge]
- Tirages 240 x 240 mm avec dodging
papier contact
film diapositive & négatif
- Aggrandissement sur papier et film
 tous formats jusqu'à plusieurs m2
- Assemblage mosaïque
- Impression numérique en quadri grande largeur sur papier & film
- Atelier de collage et plastification intégré
- Expédition dans le monde entier

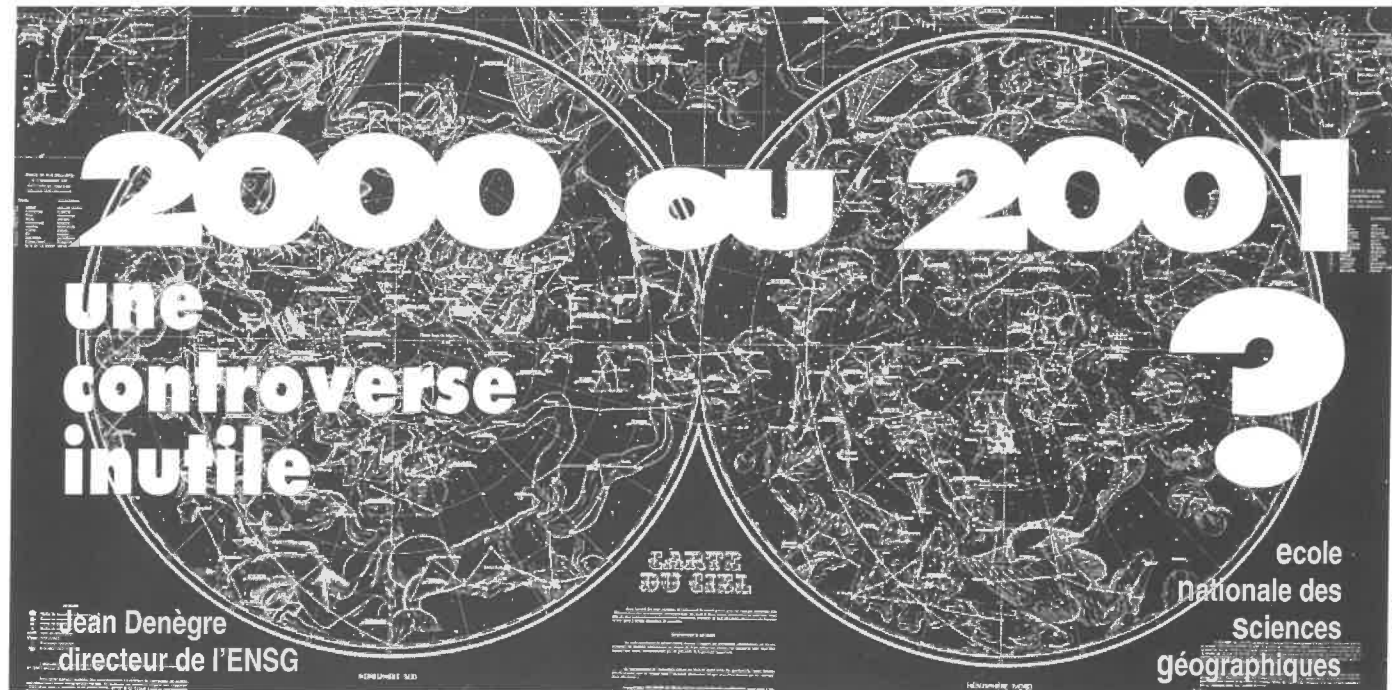


73, rue des Javaux - 38320 EYBENS/GRENOBLE - FRANCE

☎ +33(0)4 76 25 13 41- Fax +33(0)4 76 25 76 44

E-mail : DIAPRINT@wanadoo.fr





L'article qu'on va lire a été publié dans le journal *Le Monde*, daté du 2 janvier 1999. Bien qu'il ne fasse que rappeler des règles d'arithmétique et de chronologie connues et admises depuis des siècles, il a suscité certaines réactions inattendues. En effet ces réactions ont porté, non sur le propos principal de l'article (les dispositions du calendrier grégorien de 1582, qui sont toujours en vigueur), mais sur une digression en fin d'article (l'année où commence le XXI^e siècle).

L'idée que le XXI^e siècle commence, de même que le III^e millénaire, en 2001 et non en 2000 a choqué plus d'un lecteur. Elle a d'ailleurs bien du mal à s'imposer dans le discours courant des médias. La surprise vient surtout du degré d'agacement des récalcitrants : on ne s'attendait pas à tant de vivacité de leur part. Il est vrai que, lors des changements de siècles antérieurs, le phénomène s'est déjà produit. Le cas de Pierre Loti pour 1900 a été cité dans l'article. La cour de Louis XIV a connu, nous dit Saint-Simon, un débat du même genre en 1700. Tout récemment, dans les colonnes du même journal *Le Monde*, le professeur Philippe Cibois, sociologue à l'université d'Amiens, a déclaré avec force arguments que « c'est la logique sociale du nombre rond qui doit l'emporter », autrement dit que le XXI^e siècle doit commencer le 1^{er} janvier 2000 et non en 2001.

Que peut-on répondre à cela ? La convention des chronologistes est ce qu'elle est : il n'y a pas eu d'année 0, c'est peut-être dommage, mais on ne va pas décaler d'un an toute la chronologie historique depuis 2000 ans pour faire plaisir brusquement à la « logique sociale », qui ne s'en préoccupait guère jusqu'ici ! On pourrait d'ailleurs remarquer que la même « logique sociale » peut être prise à revers : du haut en bas de l'échelle sociale, tout le monde écrit les dates sous la forme abrégée JJ/MM/AA. On voit donc bien que le 1^{er} jour du 1^{er} mois du XXI^e siècle s'écrira 01/01/01, date où tous les compteurs sont remis au départ, et non 01/01/00.

Si l'on essaie de comprendre la raison de ce paradoxe, on peut avancer deux raisons :

- d'une part, la référence chronologique de départ n'est pas une année mais un jour (la naissance du Christ), situé en fin d'année. Donc l'année suivante s'appelle 1^{re} après J.-C. Et l'année de la naissance, qui est presque tout entière située avant la naissance (25 décembre), s'appelle symétriquement 1^{re} avant J.-C. C'est ainsi que l'année 0 a été escamotée (la notion de 0 n'existait d'ailleurs pas à l'époque où l'on a défini l'ère chrétienne).
- d'autre part, le numéro d'année est un nombre ordinal, c'est-à-dire un numéro d'ordre, un rang. Comme le sont d'ailleurs les numéros des jours du mois (dont en français, seul le 1^{er} continue à revêtir la forme ordinale, alors que dans beaucoup d'autres langues, comme l'anglais et l'allemand, tous les jours du mois sont bien des quantifiées). Or le siècle et le millénaire sont des durées, exprimées par des nombres qui sont des quantités (100, 1 000), c'est-à-dire des nombres cardinaux. C'est cette différence de concept entre nombre ordinal et nombre cardinal qui provoque, semble-t-il, ce petit conflit au moment des passages aux nombres ronds.

Mais tout cela a-t-il vraiment une importance ? !

LA TRIPLE COÏNCIDENCE DE L'AN 2000

Poser la question de savoir pourquoi l'an 2000 sera bissextile peut sembler incongru. Tout le monde s'attend à ce qu'il en soit ainsi, puisque, d'habitude, les millésimes multiples de 4 sont bissextiles. D'ailleurs, les calendriers sont déjà édités, ce qui enlève tout imprévu à cet égard : il y aura bien un 29 février 2000.

En fait, cette banale « bissextilité » de l'an 2000 résulte d'une triple coïncidence qui mérite peut-être quelques instants d'attention. Revenons à l'origine des années bissextiles et à nos souvenirs de cosmographie¹ du lycée. La

cause des années bissextiles tient tout entière dans la durée de l'année tropique (l'intervalle de temps qui sépare deux équinoxes de printemps successifs) qui contient un nombre non entier de jours solaires moyens. Ce nombre, déterminé avec une très grande précision par les astronomes, est de 365,2422, très voisin de 365 jours $\frac{1}{4}$. Ceci explique que, dès l'Antiquité (Jules César, 45 av. J.-C.), l'on ait adopté comme durée « ordinaire » de l'année le nombre de 365 jours et que, tous les 4 ans, on ajoute un jour à l'année en cours, dite alors *bissextile*. On rattrape alors le retard accumulé au cours des 4 années écoulées, ce qui permet aux équinoxes et aux solstices (donc aux

quatre saisons) de garder la même date dans le calendrier. L'idée était à l'évidence excellente, puisqu'elle s'applique toujours, au mois de février, choisi par Jules César pour y ajouter un jour : dans le calendrier romain, c'était le 6^e jour bis avant les calendes de mars, soit en latin *bis-sexto ante kalendas martias*. Les deux premiers mots ont forgé l'adjectif bissextile.

Soit. Mais cette durée de 365,25 jours n'est qu'une approximation puisque la durée réelle est de 365,2422. Le calendrier *julien* porte donc en lui une cause d'erreur par excès, égale à 0,0078 jour, soit un peu moins d'un centième de jour. Insignifiant, peut-on penser. Mais, au fil des siècles, le printemps s'est décalé inexorablement dans le calendrier. Jusqu'à l'intervention du pape Grégoire XIII, en 1582. À l'époque le printemps « tombait » le 11 mars (au lieu du 21). Le pape a donc décidé à la fois de rattraper les 10 jours manquants (en recalant arbitrairement le calendrier de l'époque) et de mettre en place un dispositif complémentaire à la « bissextilité » : tous les 100 ans (les millésimes « séculaires » multiples de 100), on enlève un jour à l'année bissextile habituelle : les années séculaires 1700, 1800, 1900 n'ont ainsi eu que 365 jours. Comme cette correction est encore un peu trop forte (0,01 jour au lieu de 0,0078), on corrige cet excès en ajoutant 0,0025 jour, soit un jour tous les 400 ans. L'astuce papale a été de rajouter ce jour précisément à une année « séculaire » sur quatre, multiple de 400, qui, de ce fait, redevient bissextile. C'est simple, finalement ! La règle julio-grégorienne tient donc en une phrase : toutes les années dont le millésime est multiple de 4 sont bissextiles, exceptées celles dont le millésime est multiple de 100, qui ne le sont pas, mais celles dont le millésime est multiple de 400 restent bissextiles².

Le pape avait, toutefois, moins d'autorité que Jules César : les pays d'Europe occidentale ont mis plus d'un siècle et demi à adopter le calendrier grégorien. Parmi les derniers figure l'Angleterre (1752), ce qui n'est guère pour nous étonner. Il est vrai que les conflits religieux ont pesé de tout leur poids contre cette réforme pourtant bien laïque. Et l'URSS ne l'a adopté qu'en 1923, ce qui explique que, depuis, la révolution d'octobre 1917 soit commémorée en novembre.

Beaucoup de complications pour rien, dira-t-on. Le millésime 2000 est multiple de 400, donc à la fois de 4 et de 100 : l'arithmétique lui « permet » de demeurer bissextile. Ce phénomène calendaire est toutefois assez rare pour mériter d'être signalé...

Attardons-nous un instant sur cette périodicité originale. Sans posséder de signification historique, puisqu'elle résulte d'une pure convention scientifique, elle fournit un rythme singulier, intermédiaire entre le siècle et le millénaire, suivant lequel on peut, par jeu, mettre en perspective la chronologie de notre pays. Prenons par exemple la série historique des chefs d'État. En l'an 2000, le chef de l'État sera, sauf imprévu, Jacques Chirac. Quel était son lointain prédécesseur, 400 ans plus tôt, en l'an 1600 ? Henri IV, comme chacun sait. L'année de son mariage avec Marie de Médicis. Deux ans après l'Édit de Nantes. Et en 1200 ? Un autre roi de

France, Philippe II, plus connu sous le nom de Philippe Auguste. On est alors en phase d'expansion territoriale du royaume de France, quatorze ans avant Bouvines, mais aussi neuf ans avant le début de l'atroce croisade des Albigeois. Remontons encore dans le temps. Nous voici dans l'ère des empereurs. L'an 800, tout le monde le connaît : c'est la date du couronnement de Charlemagne, à Rome, par le pape Léon III. L'an 400 est beaucoup moins connu : on est en pleine dislocation de l'Empire romain. Le maître en titre de la moitié occidentale de l'Empire, dont fait encore partie la Gaule (les Francs ne se sont pas encore imposés), est Honorius, fils de Théodose le Grand, dernier empereur à avoir régné sur la totalité de l'Empire, dont il a proclamé le christianisme religion officielle.

Et nous voici maintenant à l'an 0. Problème : il n'y a pas eu d'année 0 ! La chronologie de l'ère chrétienne compte les années à partir de la date supposée de la naissance du Christ. Cette date étant *un jour* donné (le 25 décembre), on passe directement de l'an 1 avant J.-C. à l'an 1 après J.-C. De même pour les siècles : le 1^{er} siècle après J.-C. succède au 1^{er} siècle avant J.-C. et il n'y a pas de siècle 0, pas plus qu'il n'y a de jour 0 dans le mois (qui commence le 1^{er}).

Par conséquent, remonter 400 ans avant l'an 400 nous place en l'an 1 avant J.-C. Et c'est Auguste qui gouvernait alors l'Empire romain dont faisait partie la Gaule, conquise depuis moins d'un siècle. Encore un empereur... Mais si on remonte encore de 400 ans, on se trouve en l'an 401 avant J.-C., où cette fois on ne connaît ni chef d'État en Gaule, ni même État... Fin du jeu de saute-mouton à travers les siècles.

Pour conclure, on fera la remarque suivante : le 1^{er} siècle après J.-C. ayant commencé en l'an 1 s'est terminé en l'an 100. Et ainsi de suite. L'an 2000 marquera donc la dernière année du XX^e siècle et non la première du XXI^e siècle. Le premier jour du XXI^e siècle sera le 1^{er} janvier 2001, et non, comme (presque) tout le monde le croit, le 1^{er} janvier 2000. Cette erreur vénielle est sans doute commise à chaque changement de siècle. Écoutons par exemple Pierre Loti³, qui vécut le passage du XIX^e siècle au XX^e et relate ses souvenirs du 1^{er} janvier 1901 à bord du Redoutable, en rade de Nagasaki : « On frappe à ma porte, discrètement : l'un après l'autre, quatre ou cinq matelots, qui viennent de se lever, entrent pour me souhaiter la bonne année et le bon siècle, avec des petits compliments naïfs. C'est donc bien aujourd'hui le commencement du XX^e. Je m'étais figuré le commencer l'an dernier, pendant la nuit du 1^{er} janvier 1900 [...] mais non, je m'étais trompé, affirment les chronologistes, et ce matin seulement, je verrai l'aube de ce siècle nouveau. »

Seuls, sans doute, quelques esprits avertis (au moins les lecteurs du Monde et de XYZ) seront conscients, en 2000, de cette nuance, qui tient simplement aux conventions que nous ont proposées puis imposées les autorités au fil des siècles. Dans notre vie quotidienne, elles introduisent ainsi, discrètement mais obstinément, ce que Marguerite Yourcenar appelle, selon une belle expression, le « lointain contrepoids des astres⁴ ».

1. André DANJON, *Cosmographie*, éditions Hatier, Paris 1950.

2. Autre formulation peut-être plus simple : toutes les années dont le millésime est multiple de quatre sont bissextiles sauf les années séculaires : pour celles-ci, une sur quatre est bissextile, celle dont le numéro de siècle est lui-même multiple de quatre.

3. Pierre LOTI, *La troisième jeunesse de Madame Prune*, éditions Calmann-Lévy, Paris 1905.

4. Marguerite YOURCENAR, *Mémoires d'Hadrien*, librairie Plon, Paris 1950.

le chantier du centre technique renault

Michel Chevessier

Conseiller technique auprès de SOTRAGA



UN PROJET EXCEPTIONNEL

Aucun chantier de Travaux Publics ne ressemble à un autre tant les environnements et les contraintes associées les distinguent : nature des sols rencontrés, topographie des lieux ou même protection écologique avant, pendant ou après les travaux. Ces contraintes conduisent les entreprises de terrassement à toujours produire une solution unique et innovante pour chaque nouveau chantier. Cependant, l'extension du Centre Technique de RENAULT ne partage aucun critère habituellement rencontré dans les opérations traditionnelles de construction routière.

Ce projet de 90 millions de Francs s'étend quelque part entre Louviers et Gaillon (Eure), sur un terrain de 150 ha abrité des regards du plus grand nombre afin de préserver la confidentialité des essais automobiles qui s'y dérouleront. Cette piste de validation fera de RENAULT l'une des firmes au monde les plus avancées dans le domaine de la recherche routière. Au total, ce sont douze kilomètres, répartis sur 1 km² environ, qui reproduisent entre autres les conditions rencontrées sur route nationale ou route secondaire de montagne mais aussi des situations heureusement moins fréquentes telles que des rampes à 12 et même 18 % !

Ne s'agissant pas ici de travaux linéaires comme les constructions autoroutières ou ferroviaires, de nouvelles techniques ont dû être développées puis employées en production par la société SOTRAGA qui assure l'intégralité des travaux de terrassement peu ordinaires.



LES TRAVAUX DE TOPOGRAPHIE

La configuration initiale des lieux (dans une région fortement vallonnée), mais surtout la complexité du projet final, ont très rapidement fait douter de l'adéquation économique des moyens opto-électroniques traditionnels avec la rapidité requise sur une telle plateforme. Ce sont donc des équipements GPS qui ont été sélectionnés pour leur facilité de mise en œuvre et leur complémentarité avec les besoins d'automatisation des engins de terrassement. En pratique, ce sont des récepteurs bifrquence produits en France par la société DSNP qui ont été

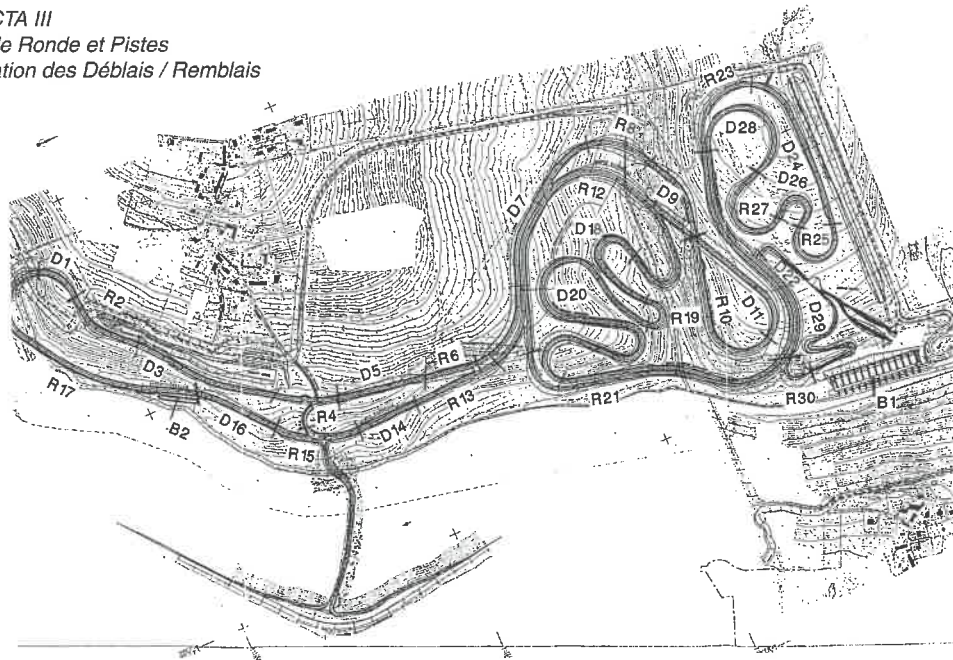
retenus pour la fiabilité de leur liaison radio. En effet, la qualité de la transmission des données était un élément déterminant sur ce type de chantier où les dénivellés font plusieurs dizaines de mètres et où la station d'émission devait être installée sur un point bas, pour des raisons de sécurité et d'accessibilité.

Le levé de terrain naturel a été réalisé avec ces équipements GPS à la

cadence de 600 m/h (avec des profils espacés de 30 mètres sur une largeur de 80 m) en mode trajectographie, ce qui permet l'enregistrement automatique des coordonnées à un pas défini par le topographe. Les coordonnées sont alors restituables graphiquement à l'aide de logiciels tels que Micropiste, Macao, Romulus, Mensura ou autre logiciel CAO/DAO.

Tous les travaux d'entrées en terre ont été facilités par les différents modules logiciels de la gamme CENTAUR (Civil ENGINEERING Technologies for AUTOMATIC Roadmaking), développée par GTM-Construction qui comprend, pour les aspects topographiques routiers deux sous-

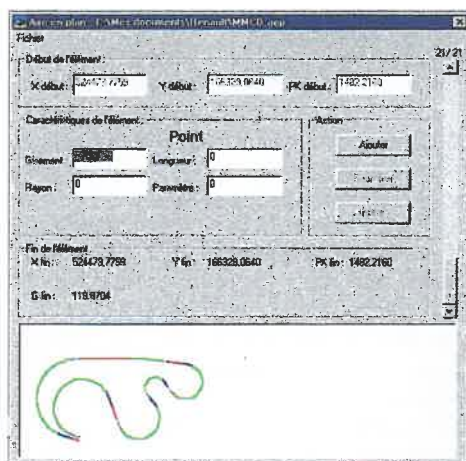
Renault CTA III
Chemin de Ronde et Pistes
Numérotation des Déblais / Remblais



ensembles : un programme de saisie de projet (axe en plan, profil en long, profils en travers) et un programme embarqué sur tablette électronique avec écran graphique couleur pour l'implantation des entrées en terre. La saisie a été réalisée en 3 jours pour l'ensemble du chantier. L'implantation a été effectuée au gré de l'avancement des travaux à une cadence de 450 m/h sans utilisation du levé de TN et donc avec un piquetage directement exploitable en production. Le deuxième module (le CENTAUR Walker) a également permis le calcul des cubatures au quotidien.

LE PRÉRÉGLAGE

La disponibilité d'une station GPS de référence sur le site a facilité le guidage et l'asservissement automatique des engins de préréglage. Là encore, c'est une solution très innovante qui a été retenue puisque c'est à l'aide du Rotograde 6000 (construit en Vendée par la Société RABAUD) que ces opérations ont été menées. Le Rotograde 6000 est une machine de 400 CV pouvant régler des chaussées sur une largeur de 6 mètres à une vitesse de 2 km/h environ, ce qui conduit à des rendements pratiques de 4500 m²/h à comparer aux 500 m²/h qu'une niveleuse réalise en moyenne dans ces conditions.



D'un point de vue géotechnique, le terrain comporte des limons A1, des argiles à silex et de la craie à silex, ce qui n'a évidemment pas facilité la mise en œuvre des matériaux. Néanmoins, l'engin équipé de deux récepteurs GPS, directement montés sur le rotor de coupe à dents plates du ROTOGRADE 6000, a permis d'assurer dans ces conditions difficiles un préréglage à +4 cm, nécessaire pour garantir une recoupe minimale de 2 cm après traitement au liant routier.

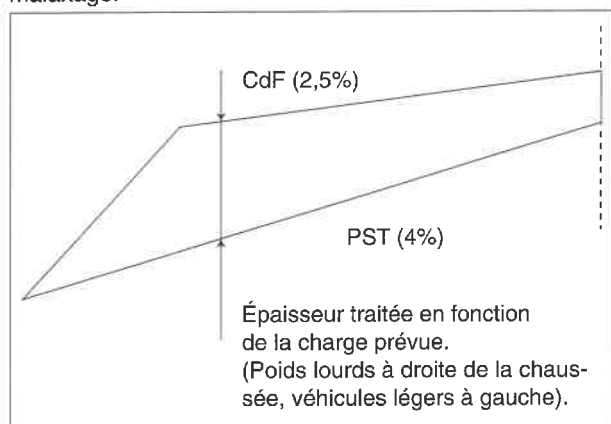
LE TRAITEMENT EN PLACE DES SOLS

Il existe toujours, de la part des donneurs d'ordres, une certaine réticence à utiliser le traitement en place des sols à la chaux ou au ciment par crainte de l'absence de contrôle précis des profondeurs de malaxage. C'est d'ailleurs ce qui conduit les maîtrise d'œuvre à augmenter d'environ 1 % les dosages de liants épandus afin de garantir les spécifications minimales, et ce, malgré l'aspect économique négatif qu'induit cette pratique (le prix de la tonne de liant est d'environ 400 F). Pourtant, une technique de traitement en place des sols parfaitement maîtrisée présente un intérêt financier immédiat : elle évite d'une part, le transfert sur site d'une centrale à béton (200 000 à 300 000 F) alors que le transport d'un engin de malaxage ne coûte que 20 000 F environ et d'autre part, elle permet de s'affranchir d'importants déplacements de matériaux.

Pour la première fois en production, il a donc été décidé de contrôler à ± 1 cm avec une technique satellitaire les positions des rotors de pulvimixeurs lors du traitement des couches de forme d'une épaisseur de 35 cm. Cela a été rendu possible grâce au montage d'un récepteur GPS (fonctionnant en mode cinématique temps réel) couplé à un inclinomètre de précision. Les deux capteurs ont été reliés à un ordinateur intégrant le module logiciel « CENTAUR-driver » qui assure l'asservissement automatique du rotor en altimétrie. (Pour cette première expérience le conducteur conservait la maîtrise de la conduite planimétrique qui sera automatisée par la suite).



De nouvelles perspectives s'offrent donc, grâce à ce chantier, pour des réalisations plus courantes (création d'autoroutes par exemple) où l'absence de parallélisme entre Couche de Forme (CDF) et Plate-forme Support de Terrassement (PST) interdirait – ou rendait plus aléatoire – le traitement en place des sols : Ceci est maintenant rendu possible grâce à l'automatisation des engins de malaxage.



Coupe transversale d'une chaussée habituelle

LE FIN RÉGLAGE

Cet ultime travail de terrassement présente – de très loin – les contraintes opérationnelles les plus difficiles à surmonter :

- La précision mais aussi « l'uni » (la planéité) de la surface réglée sont primordiaux.,
- Le délai de maniabilité des matériaux (période pendant laquelle les matériaux peuvent être travaillés voire retravaillés après évacuation) n'est que de 4 à 5 heures, ce qui est peu compte tenu de l'optimisation obligée des engins de réglage,
- La géométrie du projet inclut des courbes d'un rayon de 45 m et des changements rapides de pentes et de dévers.

Comme pour le pré-réglage, des moyens particuliers – adaptés à l'environnement – ont dû être développés en partant de constatations simples : les techniques de guidage au laser étaient exclues par les très fortes variations de dévers (+ 8 % à - 8 % en 80 mètres !) sauf à imaginer un déplacement des sources laser tous les 10, 20 ou 30 mètres. Un asservissement par station robotisée a également été rejeté pour sa mise en œuvre trop lourde et pour l'étroitesse des voies qui auraient conduit à des décrochages de poursuite dus aux fréquents passages

d'engins de transport. Les réaccrochages alors trop nombreux et trop longs (2 à 3 minutes par réaccrochage) auraient nui à la productivité. En outre, les perturbations liées aux conditions climatiques hivernales et à la poussière dégagée en période de sécheresse rendaient ces deux solutions optiques inenvisageables.

Restait donc la solution GPS qui présentait un inconvénient de taille : sa précision altimétrique insuffisante ($\pm 1,5$ cm) alors que la tolérance maximale en fin réglage était de (± 1 cm, en fait 0/+ 2 cm en réception). Les avantages du GPS étaient cependant si nombreux qu'une étude a été menée pour améliorer sa précision en Z avec un objectif fixé à $\pm 0,5$ cm afin de garantir la tolérance imposée. Cet exercice a été très délicat car tout filtrage des mesures GPS, acceptable pour des travaux conventionnels, était interdit par les trop rapides changements de pente et de dévers du projet. D'autres algorithmes de réduction des erreurs ont par conséquent dû être développés après une modélisation précise des résultats fournis par les récepteurs GPS.

Au final, cette étude a débouché sur une version adaptée du module embarqué « CENTAUR Driver » qui a alors pu être installé sur le Rotograde 6000 après validation des résultats sur un terrain d'essai extérieur. Les réceptions de travaux, effectués avec une station robotisée LEICA TCA 1103, ont immédiatement montré que la tolérance requise était respectée, avec des résultats dont les erreurs ne dépassent pas $\pm 0,7$ cm.

Cette première réalisation ouvre des perspectives extrêmement intéressantes pour les travaux plus habituels tels que la construction de bretelles ou d'échangeurs ou les terrassements de rétablissement qui tous souffrent des limitations liées à l'emploi d'appareils optiques.

EN RÉSUMÉ

Comme toujours dans le domaine des T.P., il a fallu pour le chantier très particulier de RENAULT, adapter les moyens de production aux contraintes imposées par l'environnement. Dans ce cas précis, c'est principalement l'apport fourni par la technologie GPS qui a permis, couplé avec des engins de conception nouvelle, de résoudre les points durs.

Sur le plan économique, le coût et l'exploitation des appareils GPS actuels embarqués autorise leur généralisation massive sur tous types d'engins et à toutes les phases d'avancement puisque ce sont jusqu'à 6 unités mobiles qui ont été utilisées simultanément en topographie, pré-réglage, traitement et fin réglage : leur coût unitaire est maintenant inférieur à 150 000 francs.



**une
ville
où
il
fait
bon
vivre**

**A
C
H
I
C
O
U
R
T**

Philippe Kasperczyk
I^{er} G

tion, pour un total de 300 logements, tant locatifs qu'en accession.

La ville comporte deux écoles maternelles et trois écoles élémentaires accueillant 850 élèves environ et un Collège pour 700 jeunes. Dotée d'une piscine et d'une nouvelle salle de sport, Achicourt veut répondre aux besoins de ses habitants en matière de loisirs et de sport, et l'intense activité qui règne dans ces lieux montre leur exploitation optimale.

ACHICOURT, UNE VILLE OU IL FAIT BON VIVRE

Ville de 8000 habitants, située au sud de la Communauté Urbaine d'Arras qui compte 21 communes, soit une population globale d'environ 80 000 habitants.

Achicourt, par sa vocation maraîchère d'antan a su garder son identité à travers ses habitations typiques, la préservation d'une « trouée verte » naturelle, l'entretien de la rivière « Le Crinchon », et récemment la reconstruction sur le site de son ancêtre du moulin Hacart, moulin fonctionnel et visité par 56 000 personnes à ce jour.

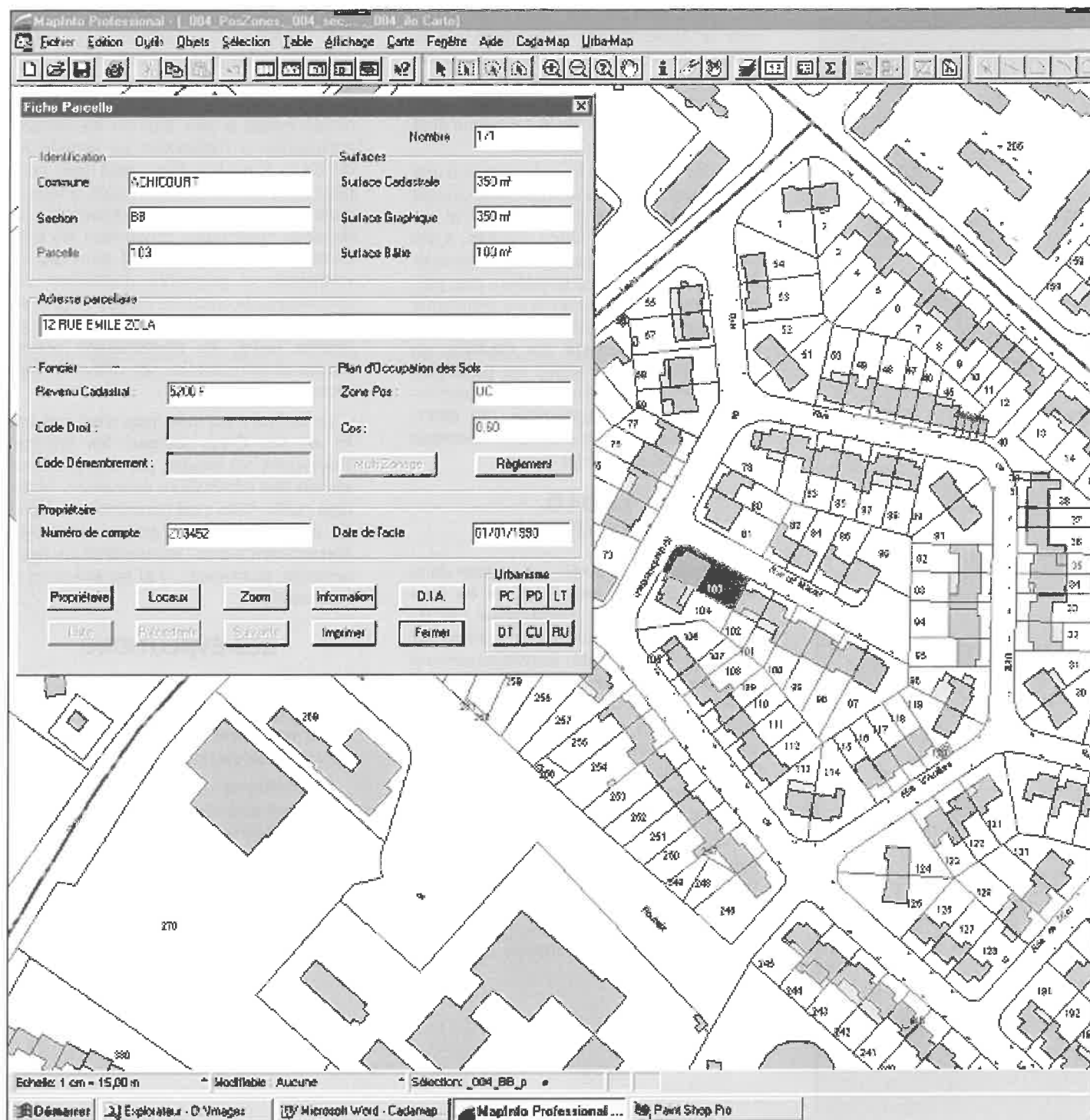
Depuis trente ans, la ville a connu une expansion démographique importante, par la construction de la cité des « 4 as » regroupant 400 logements HLM et de multiples résidences, répondant ainsi aux besoins du tissu économique arrageois. Actuellement, la cité du Petit Bapaume, ex-cité des cheminots est en cours de rénova-

L'HISTOIRE D'UN BESOIN

Depuis de longues années, les Services Techniques d'Achicourt utilisaient au quotidien de nombreux plans toujours appréciés dans le suivi de différents dossiers tels que les projets d'aménagement, la gestion des réseaux, les études diverses,...

Le seul défaut de ces plans résidait dans le fait qu'ils étaient « inertes », difficilement reproductibles et de mise à jour peu aisée.

Fort de cette expérience et de ce constat, l'ensemble de l'équipe municipale, déjà sensibilisée à l'outil informatique, a décidé de mettre en place aux Services Techniques de la commune un Système d'Information Géographique. L'arrivée de ce nouveau système a été ressenti comme une forte évolution de l'informatique déjà en place aux Services Techniques et dont la vocation était purement bureautique.



L'idée principale, lors de la mise en place du système, était d'être capable de gérer le territoire communal par un accès facile et rapide à des informations de provenances diverses, telles que le cadastre et le P.O.S.

Le système allait également permettre, par l'ajout de la dimension cartographique et donc la localisation des informations existantes, la confrontation de données a priori sans rapport.

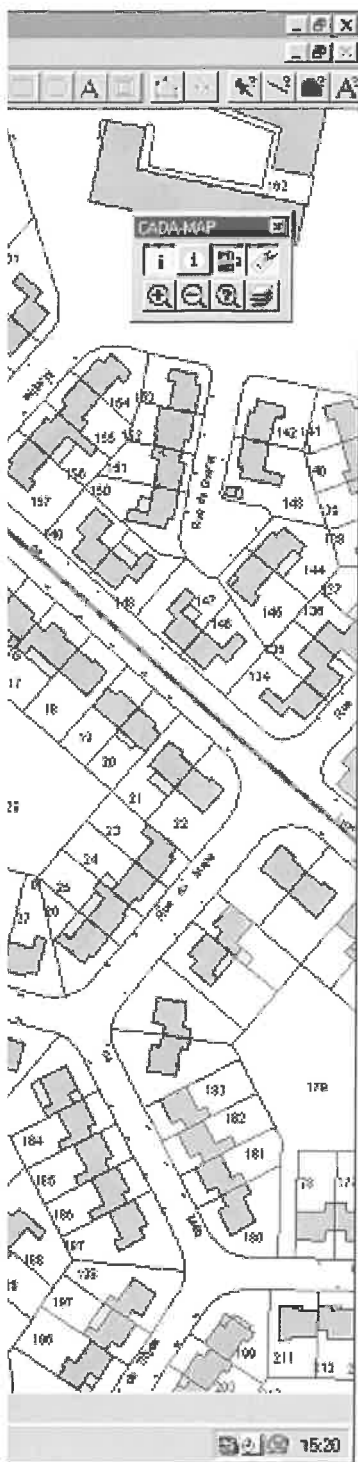
C'est donc en partant de ces idées simples et concrètes que la Mairie a décidé de mettre en place le S.I.G. aux Services Techniques. La volonté était présente, il fallait alors faire le choix d'une part, du système, et d'autre part, de la nature des données cartographiques de base nécessaires au fonctionnement de celui-ci.

LE CHOIX DES DONNÉES ET DU SYSTÈME

En ce qui concerne les données, le choix s'est appuyé sur l'expérience des Services Techniques qui utilisaient déjà au quotidien les planches cadastrales, ainsi que sur les besoins correspondant aux compétences communales.

Il a donc été choisi d'intégrer, dans un premier temps, la base cadastrale constituée des plans numérisés et des fichiers D.G.I. contenant les informations sur les propriétaires, les parcelles, les bâtis.

Ce choix a été favorisé par l'appartenance de la Commune d'Achicourt à la Communauté Urbaine d'Arras. En



effet, cette dernière, dès 1995, a fait numériser le cadastre des communes qui la composent. À ce titre, Achicourt a bénéficié gratuitement de l'ensemble des données cadastrales. Quelques mois plus tard, le zonage P.O.S. de la commune était également intégré au système.

Ce dernier, quant à lui, a fait l'objet d'une consultation au terme de laquelle le produit CadaMap/Urba-Map développé par la société **FG** sur la plate-forme Mapinfo, a été retenu. Ce logiciel permet aux Services Techniques d'avoir, au quotidien, une parfaite connaissance du territoire communal à travers les informations cadastrales. Il est désormais possible, par exemple, de mettre en évidence toutes les propriétés d'une personne, qu'elles soient ou non incluses dans une copropriété, de déterminer l'ensemble des propriétés touchées par l'emprise d'un projet donné.

LE S.I.G. AU QUOTIDIEN

Au quotidien, le S.I.G. est exploité dans le cadre du suivi des D.I.A. et de l'ensemble des dossiers d'urbanisme. Les tâches longues et fastidieuses d'écriture sur les registres ont été avantageusement remplacées par la saisie d'informations basées sur les données cadastrales. La génération des courriers types définis lors de la période de mise en place du système est désormais automatique, ce qui a engendré un gain de temps énorme au niveau du secrétariat.

Par ailleurs, la recherche de dossiers ayant concerné une zone donnée est désormais immédiate grâce aux relations graphiques entre couches que le logiciel est à même d'exploiter. En effet, chaque dossier d'urbanisme comporte un certain

nombre d'informations textuelles, mais en plus, l'emprise des parcelles concernées est mise en valeur sur le plan par un polygone. De même, le système réalise l'historique du cadastre en stockant les différentes mises à jour tout en les laissant accessibles à l'utilisateur. La version 3.0 de Cada-Map/Urba-Map, déjà très complète en terme de fonctionnalités, intégrera dans sa prochaine version, l'ensemble des données cadastrales concernant les bâtis (informations non présentes dans les microfiches), et permettra d'effectuer des simulations de calcul de l'impôt en prenant en compte différents paramètres tels que l'année civile, les exonérations permanentes et temporaires, les différents taux (communaux,...).

Le cadastre est utile mais n'est pas une fin en soi. C'est pourquoi les Services Techniques ont intégré, par leur soin, l'ensemble des informations concernant l'éclairage public. Cela s'est concrétisé par l'ajout de plusieurs couches d'information comportant entre autres : les candélabres (type, ampoule, puissance,...) et les armoires de commande.

LES ÉVOLUTIONS

Compte tenu des gains engendrés par la mise en place du S.I.G., il est très probable que d'autres données viennent encore enrichir la base existante.

Les différents réseaux d'eau et d'assainissement déjà numérisés seront prochainement intégrés.

Quant aux informations concernant d'autres domaines de compétence, tels que les espaces verts, les poubelles, etc., ce n'est pas une question de volonté, ce n'est plus qu'une question de temps !

AL-SIG'99

APPEL À COMMUNICATION

Le CNIG algérien organise un séminaire international sur les SIG les 15-16 et 17 novembre 1999, son but est de promouvoir l'emploi des SIG et de mettre en place une stratégie de développement et de généralisation de ces outils. Les thèmes : concepts et méthodes des SIG, sources, acquisition et intégration des données, problématique de développement et applications, perspectives d'utilisation.

Les langues de communications sont l'arabe, le français et l'anglais. Les auteurs intéressés doivent transmettre au secrétariat du séminaire un résumé dactylographié en format libre par fax ou email.

Secrétariat du séminaire :

CNIG-AL-SIG'99-s/c INCT, 123 rue de Tripoli, BP 430 Hussein Dey 16040 Alger
Tél. 312 (2) 23 36 99 / Fax 213 (2) 23 38 08 / email cnig@onssiege.ons.dz

à propos du calcul du point approché GPS

et de la correction d'aberration

INTRODUCTION

On a proposé une méthode de calcul, très simple, du point approché de GPS [1]. Toutefois, il semble que cette modeste démarche n'ait pas été bien comprise, et qu'on soit arrivé, sur ce sujet, comme les carabiniers, c'est-à-dire avec un léger retard... En effet, une méthode de calcul assez semblable, mais plus ambitieuse, avait été proposée par BANCROFT il y a douze ou treize ans [2], il semble qu'elle faisait suite à une autre publication, française celle-là [3]. Compte tenu de la quantité de ce qui se publie dans le monde, un tel oubli qui aurait été inexcusable il y a cinquante ans, est devenu véniel aujourd'hui, surtout lorsqu'on a omis de rechercher l'antériorité en cause dans un journal d'ingénieurs électriciens, ou dans les publications d'un laboratoire hors de cette spécialité, cela n'empêche pas qu'on doive le signaler, ce qui est le premier motif de ce « codicille » en forme d'« addendum ».

LE POINT APPROCHÉ

La nécessité de disposer d'un point GPS approché tient à ce qu'il faut connaître approximativement la position du point calculé pour :

1. Estimer, à l'aide des messages des satellites, les corrections de réfraction ionosphériques et troposphériques des pseudo-distances dont l'argument principal de calcul est la distance zénithale dZ qu'on apprécie à partir des positions approchées du récepteur et des satellites.

2. Calculer les corrections de « référentiel tournant » sur la position des satellites ; en effet, le système de référence est attaché à la terre, il n'est donc pas inertiel (D'où, entre autres, les effets centrifuges et la « force de Coriolis »). Cette correction est baptisée ECF (Earth Centered Frame) ou ECEF (Earth Centered Earth Fixed) dans les publications américaines. (Ce qui n'éclaire pas énormément le sujet !). Pour calculer cette correction il faut connaître la distance entre chaque satellite et le récepteur, donc leur position... Voir figure 1.

Par conséquent, on avait pensé qu'il n'y avait aucun inconvénient à ce que le résultat du calcul ne soit pas tout à fait rigoureux, puisque de toute manière **il fallait le recommencer** avec des relations linéarisées cette fois, après avoir calculé ces deux corrections.

En effet, cette correction se calcule habituellement de la manière suivante :

$$\Delta X = X_{\text{satellite}} - X_{\text{récepteur}} + rY, \quad \text{etc pour Z, On calcule la ro-}$$

$$\Delta Y = Y_{\text{satellite}} - Y_{\text{récepteur}} + rX.$$

tation de la position du satellite pour une unité de temps, rX, et rY :

$$rX = X_{\text{satellite}} \cdot \frac{\delta\Omega}{\delta t} \cdot \frac{d}{c}, \quad \text{Avec } \frac{\delta\Omega}{\delta t} \text{ vitesse de rotation de la}$$

$$rY = Y_{\text{satellite}} \cdot \frac{\delta\Omega}{\delta t} \cdot \frac{d}{c}$$

terre, constante de WGS84 et c vitesse de la lumière, constante universelle, enfin d distance entre le satellite et le récepteur.

Une autre formule m'a été donnée par Peter H DANA du Department of Geography de l'Université du Texas à Austin qui corrige directement la distance d par la formule suivante : $\frac{\delta\Omega}{\delta t} \cdot \frac{1}{c} \cdot (Y_{\text{récepteur}} \cdot X_{\text{satellite}} - X_{\text{récepteur}} \cdot Y_{\text{satellite}})$.

Quelle que soit la formule utilisée, il faudrait connaître la position du récepteur, même approchée, c'était le seul objectif de [1], et recalculer la position vraie du récepteur.

Apparemment, d'autres auteurs [2], [4], n'appliquent pas cette correction parce qu'ils n'ont en vue que des résultats orientés vers la navigation, laquelle ne requiert

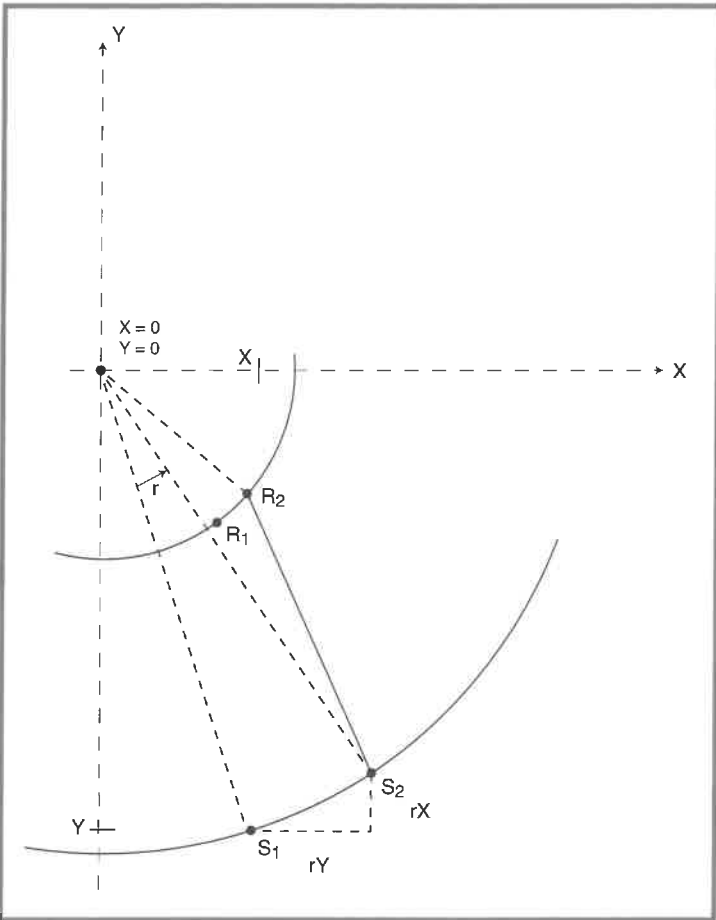


Fig. 1 - Au départ du signal le satellite est en S1 et le récepteur en R1, pendant le parcours de l'onde, le référentiel tourne de r radians. À l'arrivée du signal, le satellite est en S2 et le récepteur en R2. Cette dernière position du récepteur est celle qu'on cherche à déterminer, la distance R2 S1 est celle qu'on cherche à déterminer.

que peu de précision. Ils sont fondés dans cette démarche parce que la pseudo-distance est actuellement altérée volontairement par l'accès sélectif (SA), dans ce cas, évidemment, à quoi bon calculer des corrections pour obtenir des résultats qui seront faux de toutes les façons. Est-ce bien vrai ?

LES VERTUS DES MÉTHODES DE DIFFÉRENCES

Lorsqu'on recherche, non plus la position absolue d'un point, mais les dimensions d'un vecteur, ce qui est le cas dans la pratique courante des topographes et des géodésiens, les choses se présentent différemment. En effet, si les différences premières éliminent **imparfaitement** les corrections de réfraction si le vecteur est long, les différences secondes éliminent **parfaitement** les biais d'horloge. S'il est suffisamment court (8 km pas plus) ces corrections seront parfaites au point qu'on puisse estimer les ambiguïtés entières avec un récepteur monofréquence. Les récepteurs bifréquences éliminent les erreurs de réfraction ionosphériques par un autre moyen, en effet l'ionosphère est dispersive, les mesures permettent à elles seules, par leurs différences de les estimer avec précision. Les erreurs de réfraction troposphériques sont **considérées** comme correctement « modélisées », c'est-à-dire que la formule qu'on applique est suffisamment sûre pour obtenir un résultat correct.

Il semble évident, quoique personne ne l'ait dit à propos de la correction de « référentiel tournant » (Sauf peut être [5]), que les différences premières en annulent une

grande partie si le vecteur est court, elles laissent subsister l'erreur due à la rotation du référentiel pendant les différences de parcours des satellites au récepteur, on fait comme si les différences secondes annulaient ces différences : Est-ce bien exact ? Encore une fois on peut répondre positivement pour les vecteurs courts, mais pour tous les vecteurs, ce n'est pas aussi sûr ! (On donnera, en annexe, la relation des différences secondes qu'on préconise, son examen sera propre à convaincre le lecteur). Voir également la figure 2.

La raison en est, peut être, que les équations d'observation en doubles différences utilisent d'autres mesures que les pseudo-distances : c'est-à-dire les phases. Or, les signaux de code n'arrivent pas exactement au même instant, la preuve en est que la mesure de pseudo-distance n'est que l'heure d'arrivée du signal en temps récepteur, elles sont toutes différentes, il suffit pour s'en convaincre de lire un relevé. La **mesure** des phases se fait au moment de l'arrivée du signal.

LA CORRECTION DE « RÉFÉRENCIEL TOURNANT »

Dans la profession le calcul d'un point isolé « tout seul » est de plus en plus rare, en raison des imprécisions introduites par l'accès sélectif (SA) ; toutefois, ce calcul reste nécessaire pour obtenir des valeurs suffisamment exactes à introduire dans les calculs ultérieurs en doubles-différences pour obtenir les composantes d'un vecteur (Annexe).

La correction dite de « référentiel tournant » est tout à fait semblable à celle de l'**aberration en astronomie**, elle tient compte du mouvement de la terre pendant le temps de propagation du signal. Comme le référentiel, en l'oc-

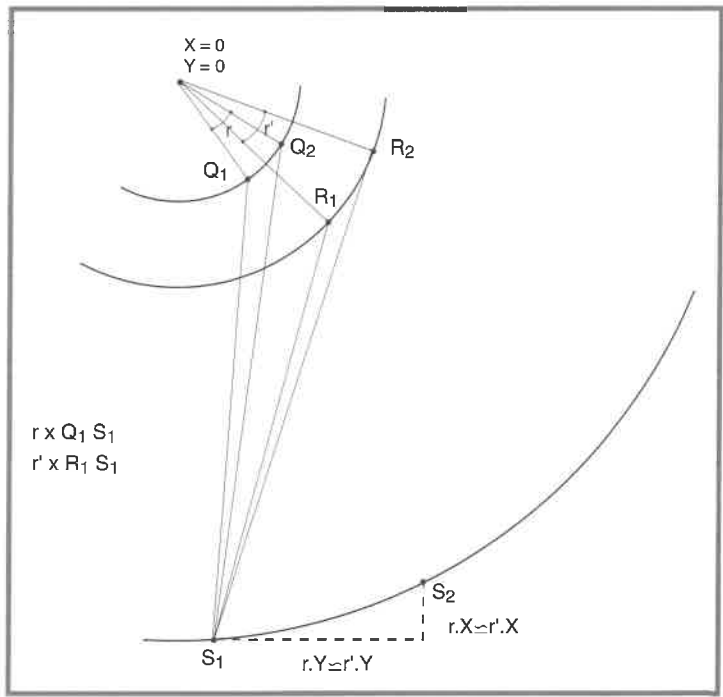


Fig. 2 - Les différences de coordonnées sont proportionnelles aux distances des récepteurs R et Q au satellite S sur lequel est faite la différence, si ces distances sont semblables, la différence s'annule car le temps de rotation est proportionnel à la distance que parcourt le signal vers les deux points de réception. En toute rigueur, cette différence est faible mais non nulle. C'est au moment où l'on fait les différences secondes que ce différentiel de rotation s'annule.

currence la terre, tourne pendant que le signal se déplace, il faut modifier les positions des satellites au moment de l'émission du signal de la rotation du référentiel, mais dans le sens inverse de son mouvement : La terre tourne en direction de l'est, les satellites seront déplacés vers l'ouest en proportion directe de leurs distances au récepteur. Les temps de parcours sont compris de 66 ms pour un satellite au zénith, à 84 ms (milliseconde) pour un satellite sur l'horizon. Omettre cette correction revient, à la longitude et à la latitude de la France, à introduire une erreur d'apparence accidentelle, d'écart-type égal à 2,75 mètres, mais ce qui est beaucoup plus grave une erreur systématique de 1" à 1,26" en longitude, sous nos latitudes cela représente de 22 à 27,5 mètres.

LES CORRECTIONS IONOSPHERIQUES

On peut, également, estimer les erreurs introduites en négligeant les corrections ionosphériques.

Disons, d'abord, que le rapport entre la correction ionosphérique au zénith et à 5° au-dessus de l'horizon, est de 3,2. Si on s'en tient aux valeurs mesurées au-dessus des États-Unis pendant la semaine GPS n° 951, le maximum, pour la correction au zénith, est de 7,29 mètres, avec un pic de fréquence à 1,51 mètre [6]. C'est, évidemment, beaucoup plus grave que de négliger la correction de « référentiel tournant », mais cela reste dans la limite des erreurs introduites volontairement par l'accès sélectif (SA) qui pour les erreurs d'horloge, qui se reportent sur les pseudo-distances, atteignent 41,59 mètres au maximum, avec un pic de fréquence vers 10 mètres. En revanche, les erreurs sur les positions des satellites diffusées, bien qu'assez élevées, restent dans des limites normales, soit un maximum de valeurs vers 10 mètres de vecteur d'erreur.

CONCLUSIONS

Si les logiciels de navigation paraissent fondés, en matière de précision, (encore que ce soit très limite) de négliger les corrections d'ionosphère et de « référentiel tournant », on ne voit pas, en pratique, pourquoi ils le font. En effet, le temps de calcul n'est plus un problème,

faire un calcul exact, après avoir fait celui du point approché, et calculé les corrections de réfraction et de référentiel tournant, ne prend que peu de temps avec les ordinateurs modernes, l'économie réalisée est négligeable et fera perdre, aux utilisateurs, l'effet d'aubaine que serait la fin de l'accès sélectif.

Dans cette optique, pour rester cohérents, si on fait, en final, un calcul exact de compensation, le mode de calcul du point approché n'est pas un problème important, en itérant à partir du centre de la terre, comme le fait Y. EGELS, on obtient un aussi bon résultat qu'avec la relation qu'on a donné sans y attacher une importance qu'elle n'a pas ; celle de BANCROFT est intéressante pour ses artifices mathématiques, en pratique elle n'a pas plus d'intérêt que la nôtre, d'autant que pour s'assurer que l'un des deux points trouvés par le calcul est le bon, il fait appel, comme on l'a fait, à un cinquième satellite ! (E-mail : Claude.Million@Wanadoo.fr – Site Internet : <http://perso.wanadoo.fr/claude.million>).

RÉFÉRENCES

- [1] **C. MILLION**, Calcul d'un point GPS approché. XYZ n° 68, 3^e trimestre 1996, pp. 99-101.
- [2] **S. BANCROFT**, An Algebraic Solution of the GPS pseudorange equations IEEE transactions Aerosp. Electr. Syst. AES-21 (nov. 1985), pp. 56-59.
- [3] **P.E. POMMELET**, Comparaisons et Optimisation d'Algorithmes pour le calcul du point GPS, Laboratoire de Recherches Balistique et Aérodynamiques Vernon.
- [4] **Y. ROBIN-JOUAN**, Le positionnement astronomique par la méthode du plan des sommets, XYZ n° 75, 2^e trimestre 1998, pp. 71-74.
- [5] **G. STRANG, K. BORRE**, Linear Algebra, Geodesy, and GPS Wellesley Cambridge Press Ed 1997.
- [6] **A. HANSEN**, The NSTB : A Stepping Stone in WAAS in GPS World : juin 1998.
- [7] **C. MILLION**, Un traitement des mesures GPS mono-fréquence pour la trajectographie, XYZ n° 71, 2^e trimestre 1997, pp. 69-72.

ANNEXE

L'influence des erreurs de positions diffusées des satellites sur le résultat du calcul du vecteur.

On renvoie à la référence [7] ci-dessus dans laquelle on a établi des relations de simples différences pour calculer le vecteur cherché. On a, en effet :

$\lambda_r \varphi_r(t) = \rho_r(t) + \lambda_r N_r + c \Delta \delta_r(t)$ – ion + tropo, avec $\lambda, \varphi, \rho, \delta$, respectivement la longueur d'onde reçue, la mesure de phase, la distance géométrique en mètres, et l'écart entre l'horloge du satellite et celle du récepteur, les indices hauts s indiquent le satellite et les indices bas r le récepteur, le temps (t) mis entre parenthèses indique l'époque de la mesure. Ion et tropo indiquent, respectivement, les corrections ionosphériques et troposphériques supposées calculées à l'aide des messages du satellite, dans ce qui suit, on suppose que ces corrections sont faites, mais on reviendra sur ce sujet. Si, pour simplifier l'écriture on fait les affectations suivantes :

$\lambda_r \varphi \leftarrow R, \lambda_r N \leftarrow N, c \Delta \delta(t) \leftarrow B$, avec R mesure de phase exprimée en mètres, N ambiguïté exprimée aussi en mètres, et B biais d'horloge exprimé de la même manière on a : $R = \rho + N_r + B_r, \rho = R - N_r, \rho = R - B_r$, on peut écrire la relation de calcul qui mène aux équations d'observation des moindres carrés :

$\rho^2 = (X^s - X_r)^2 + (Y^s - Y_r)^2 + (Z^s - Z_r)^2$, si les observations sont faites aux deux termes d'une base A-B, on a sur un des deux termes A, par exemple :

$\rho_A^2 = (X - X_A)^2 + (Y - Y_A)^2 + (Z - Z_A)^2$, et la même chose avec l'indice B pour l'autre terme, le satellite observé est le même aux deux termes de la base c'est pourquoi on ne met pas d'indice haut. On pose, pour plus de compréhension en fin d'exposé : $X_M = \frac{X_A + X_B}{2}, X_A = X_M - \frac{\Delta X}{2}, X_B = X_M + \frac{\Delta X}{2}$.



La même chose pour $X_B \dots \dots Y_B$ puis $Y_A \dots Z_A \dots \dots Y_B, Z_B$ pour le terme A on aurait :

$$(R_A - B_A - B' - N_A)^2 = \left(X - X_M + \frac{\Delta X}{2}\right)^2 + \left(Y - Y_M + \frac{\Delta Y}{2}\right)^2 + \left(Z - Z_M + \frac{\Delta Z}{2}\right)^2$$

On écrit la même relation pour le terme B, on développe puis on retranche la relation du terme B à celle du terme A. On élimine le terme de biais d'horloge du satellite s : B^s .

On pose encore : $R_A^i - R_B^i = \Delta R_{AB}^i, B_A - B_B = \Delta B_{AB}, N_A^i - N_B^i = \Delta N_{AB}^i$; puis : $\frac{R_A + R_B}{2} = R_m, \frac{B_A + B_B}{2} = B_m, \frac{N_A + N_B}{2} = N_m$ et pour simplifier encore : $\rho_m = R_m - B_m - B^s - N_m$, c'est la moyenne des distances géométriques du satellite aux deux termes de la base. (NB : ce n'est pas la distance du satellite au point M).

D'où, tous calculs faits, une équation d'observation obtenue en combinant, par **simple différence** les observations faites au même instant sur deux satellites (i et j) aux deux termes A et B de la base

$$\text{On a la formule (1) : } \Delta R_{AB}^i = \frac{X^i - X_m}{\rho_m} \cdot \Delta X + \frac{Y^i - Y_m}{\rho_m} \cdot \Delta Y + \frac{Z^i - Z_m}{\rho_m} \cdot \Delta Z + \Delta N_{AB}^i + \Delta B_{AB}^i$$

On écrit la même relation pour le satellite j et on fait une différence seconde en notant :

$$\nabla \Delta (R_{AB}^i) = \Delta R_{AB}^i - \Delta R_{AB}^j, \Delta B_{AB}^i \text{ disparaît, } \nabla \Delta N_{AB}^i = \Delta N_{AB}^i - \Delta N_{AB}^j$$

Puis, on note le vecteur quasi-unitaire en direction du satellite s : de composantes u, v, avec $u^2 + v^2 + w^2 \approx 1$,

$$\frac{X^i - X_m}{\rho_m} = u(1), \text{ etc., } \Delta u^i = u^i - u^j, \text{ etc. On a la formule (2) : } \nabla \Delta (R_{AB}^i) = \Delta u^i \cdot \Delta X + \Delta v^i \cdot \Delta Y + \Delta w^i \cdot \Delta Z + \nabla \Delta N_{AB}^i$$

Au cours des approximations il n'y a que ρ_m qui varie. Les positions des satellites i et j et du milieu du vecteur M ne bougent pas, c'est d'ailleurs le seul intérêt de cette formulation et son originalité.

On aura remarqué que la correction d'horloge s'annule. Mais, pour l'essentiel, on note que les positions des satellites i et j n'interviennent que par la différence entre les vecteurs unitaires de leurs directions. On doit donc pouvoir négliger la correction de « référentiel tournant », **pour autant que les premières positions des satellites en aient initialement tenu compte** (figure 2), puisqu'au cours des approximations successives on ne fait varier que ρ_m . Enfin, on remarquera que les corrections d'ionosphère et de troposphère, si on ne les avait pas négligées pour alléger l'écriture, subiraient le même sort que la correction d'horloge, elles apparaîtraient par leurs doubles différences, et resteraient très faibles si le vecteur était court.

On notera, en outre, qu'avec la formulation (1), former les différences secondes comme cela se fait partout avec (2) ne paraîtrait pas indispensable, il suffirait d'ajouter les équations d'observation des autres satellites au système pour qu'il devienne aisément soluble.

Enfin, on remarque que la **triple différence** élimine le terme d'ambiguïté $\nabla \Delta N_{AB}^i$.

$$\Delta \nabla \Delta R_{AB}^i (1 - 2) = \nabla \Delta u^i (1 - 2) \cdot \Delta X + \nabla \Delta v^i (1 - 2) \cdot \Delta Y + \nabla \Delta w^i (1 - 2) \cdot \Delta Z$$

(<http://perso.wanadoo.fr/claudeMillion/>)

FORUM TECHNIQUE GPS, APPLICATIONS GÉODÉSIQUES ET TOPOMÉTRIQUES

Judi 30 septembre 1999, 9 heures à 17 heures

(ENSG, Cité Descartes, Marne la Vallée)

Forum annuel de l'École Nationale des Sciences Géographiques destiné aux professionnels désirant actualiser leurs connaissances dans le domaine du positionnement GPS sub-décimétrique.

- Présentation et démonstrations de matériels GPS topométriques et géodésiques (récepteurs et logiciels) par les constructeurs et diffuseurs.
- Deux conférences sur des sujets d'actualité : nouvelles perspectives de positionnement précis par satellite : GPS Glonass et Galiléo (par Pascal Willis, le matin) et le nouveau modèle de référence d'altitudes françaises RAF98 et nivellement par GPS (par Henri Duquenne et Michel le Pape, l'après midi).

ENTRÉE GRATUITE, s'inscrire à

ENSG, forum GPS, 6 av. Blaise Pascal, Cité Descartes

Champs sur Marne - 77455 Marne la Vallée Cedex 2

Tél. 01 64 15 32 52 / Fax 01 64 15 31 07 / e.mail forumgps@ensg.ign.fr

L'INTERFACE GEODIMETER®



**Topographie
GPS**



Une Unité de Contrôle (PC avec écran tactile) basée sur Windows® et conçue pour passer facilement d'une Station Totale à un système GPS, sans calculs supplémentaires.

Véritable outil de terrain pouvant subir des conditions extrêmes de température et d'étanchéité, le Geodimeter® Geodat® Win est doté de toutes les fonctions de DAO permettant l'élaboration d'un plan directement sur le terrain. De plus, ce PC peut être chargé avec des programmes d'applications et des fonctions de calculs topographiques.

Robuste, puissant et souple, il vous permettra d'accéder à une productivité à ce jour inégalée !



**Topographie
Station Totale**

www.geodat.com/geowin

ou tél: 01 69 18 63 30

ou e-mail: geoinfo@geotronics.com



analyse statistique des formes quadratiques

la méthode des déterminants

Steffen Schön
dr. ing. Hansjörg Kutterer
Geodätisches Institut
Universität
de
Karlsruhe

Les auteurs, du texte qui suit appartiennent à l'Université de Karlsruhe, ils nous proposent un article de très haut niveau concernant l'identification de formes relevées au cours de travaux de métrologie industrielle. Ces relevés sont supposés s'appliquer à des formes quadratiques, les erreurs de mesures peuvent aussi affecter l'identification de la forme. Comme dans les cas élémentaires, on identifie une conique par les valeurs des paramètres ou de relations entre ceux-ci dans son équation canonique, les auteurs identifient les formes quadratiques à l'aide de la valeur des déterminants (valeur scalaire) des matrices 2X2, 3X3 ou 4X4, qui sont des paramètres ou des relations entre les paramètres ou des relations entre les paramètres des équations canoniques et quadriques et qui sont des invariants pour une forme déterminée. Ce qui est très intéressant c'est la manière de prendre une décision lorsque deux ou plusieurs formes conviendraient, en vérifiant que les résidus ne comportent plus aucun biais et ne sont dus qu'à des erreurs accidentelles.

La rédaction

RÉSUMÉ

Il est souvent nécessaire, en topométrie d'industrie ou en métrologie, d'effectuer des approximations mathématiques sur les séries de points discrets mesurés. Les formes quadratiques jouent un rôle important dans la résolution de ces problèmes que, ce soit en deux ou en trois dimensions.

Cet article présente une méthode d'identification des sections coniques tridimensionnelles en utilisant des déterminants de leur matrice de forme. Une idée clé est de propager les variances et covariances relatives aux mesures sur les paramètres qui servent à la classification. Nous montrerons l'influence d'un développement de Taylor jusqu'au second ordre (dans l'ordre deux dans la loi de la propagation des variances et covariances) sur les tests statistiques qui doivent être appliqués en vue de cette classification. Quelques exemples numériques clôtureront l'exposé.

ABSTRACT

The mathematical approximation of discrete points by continuous functions like quadratic forms (a.k.a. conic sections) is a common task in industrial surveying. A method for the identification of the special kind of quadratic form based on determinant evaluations is presented. Statistical tests are used to take the randomness of the parameters of the quadratic forms into account. Both a linear and a quadratic approach are applied for the variance propagation. The considerations are concluded by numerical examples.

INTRODUCTION

L'Institut de géodésie de l'université de Karlsruhe possède un système de topométrie industrielle et des logiciels de traitement de mesures et d'analyses. L'Institut est actuellement en train de les réécrire et de les enrichir. Dans ce contexte, il est souhaitable de perfectionner le logiciel d'analyse et d'identification de formes.

Une des principales tâches de la topométrie d'industrie est de déterminer avec une grande précision la position et la forme d'objets dans l'espace. Des théodolites et des tachéomètres sont utilisés pour ce travail (Schwarz, 1995).

On obtient les coordonnées des points objets $w = [x, y, z]^T$ et leur matrice de variance-covariance (MVC) C_w . Suppo-

sons un objet industriel approximé par une forme quadratique (1) :

$$w^T A w + 2a^T w + a_0 = 0$$

$$\text{avec } A = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ a_2 & a_4 & a_5 \\ a_3 & a_5 & a_6 \end{pmatrix} \text{ (matrice de forme)}, a = \begin{pmatrix} a_7 \\ a_8 \\ a_9 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Dans une première étape, il s'agit de déterminer les 10 paramètres $\hat{p} = [a_i]$, dits paramètres de forme et leur (MVC) $C_{\hat{p}}$, par la méthode des moindres carrés. Pour éviter l'introduction de valeurs approchées dans ces paramètres lors de l'estimation, une solution à l'aide de valeurs propres est proposée par E. Drixler (1993).

Dans une deuxième étape, on s'intéresse à la forme elle-même. Deux possibilités standards d'identification sont envisageables pour résoudre ce problème :

Une transformation sur axes principaux donne accès à la classification de la forme par valeurs propres et à l'orientation dans l'espace par vecteurs propres. Cette démarche est développée par Bock (1998) et Bock et Kutterer (1998).

LA CLASSIFICATION PAR DÉTERMINANTS

Si on s'intéresse uniquement à la forme de l'objet, celle-ci peut être parfaitement identifiée à l'aide des quatre invariants suivants : $q = [\Delta, D, J, B]^T$

où :

$$\Delta = \det A$$

$$D = \det A^*$$

$$J = \det A_{11} + \det A_{22} + \det A_{33}$$

$$B = \det A_{11}^* + \det A_{22}^* + \det A_{33}^*$$

$$A^* = \begin{pmatrix} A & a \\ a^T & a_{10} \end{pmatrix} \text{ et } A_{ii}^*, A_{ii}^* \text{ sont les mineurs des matrices } A, A^*$$

pour l'élément a_{ii}, a_{ii}^* .

La figure 1 donne un aperçu de la classification. Les cas pathologiques, comme par exemple ceux des ellipsoïdes complexes, ne sont pas pris en compte.

LA PROPAGATION DES VARIANCES

Une des idées centrales de cet article est la supposition de l'existence d'une certaine incertitude au niveau de l'identification des formes quadratiques. Ceci est bien compréhensible. Les mesures sont plus ou moins biaisées. Ces erreurs accidentelles se propagent sur les coordonnées w sous forme de la MVC C_{ww} . Les paramètres de formes sont estimés grâce aux positions des points et donc les invariants déterminés sont eux aussi stochastiques.

Pour déterminer la MVC des invariants, on utilise habituellement « la loi de la propagation des variances et covariances ». Si les relations entre les paramètres à déterminer et ceux qui sont donnés sont non-linéaires, il faut linéariser ce système ce qui s'effectue traditionnellement

par développement de Taylor. Les équations (3, 4) montrent les formules obtenues lors d'un développement de premier ordre en point de développement m_f (appelé « cas linéaire » par la suite). La MVC du vecteur aléatoire g de dimension $q \times 1$ donné par :

$$C_{gg} = J C_{ff} J^T$$

$$\text{avec : } g = g_0 + J(f - \mu_f)$$

Dans l'équation ci-dessus :

f représente un vecteur aléatoire de dimension,

$\mu_f = E(f)$ son espérance,

$J = \left[\frac{\partial g}{\partial f_j} \right]_{j=1, \dots, q}$ la matrice non-stochastique des premières dérivées

g_0 un vecteur quelconque, non-stochastique,

Dans le cas d'un développement jusqu'à l'ordre 2 du vecteur aléatoire h (« cas non-linéaire »), on obtient d'après Grafarend, Schaffrin (1993) :

$$h = h_0 + J(f - \mu_f) + \frac{1}{2} H((f - \mu_f) \otimes (f - \mu_f)) \quad (6)$$

où :

\otimes désigne l'opérateur du produit de Kronecker,

$$H = [\text{vec} H_1, \dots, \text{vec} H_q]^T$$

la matrice des deuxièmes dérivées

$$H_i = \left[\frac{\partial^2 g_i}{\partial f_j \partial f_k} \right]_{j=1, \dots, q, k=1, \dots, q}$$

où $\text{vec} H_i$ transforme la matrice H_i dans un vecteur contenant les colonnes de H_i .

Dans ce cas la MVC est exprimée par :

$$C_{hh} = J C_{ff} J^T + \frac{1}{4} H (C_{ff} \otimes C_{ff} + E((f - \mu_f) \otimes C_{ff} (f - \mu_f))) H^T$$

Dans notre cas concret (6) a pour forme :

$$C_{qq} = J C_{ff} J^T + \frac{1}{4} H (C_{ff} \otimes C_{ff} + E((\hat{p} - \mu_p) \otimes C_{ff} (\hat{p} - \mu_p))) H^T \quad (7)$$

et la matrice jacobienne est définie par :

$$J = \left[\frac{\partial \Delta}{\partial a_j}, \frac{\partial D}{\partial a_j}, \frac{\partial J}{\partial a_j}, \frac{\partial B}{\partial a_j} \right]_{j=1, \dots, 10}^T \quad (8)$$

Par souci de place, nous ne montrerons pas explicitement les éléments de la matrice jacobienne ni hessienne.

Classification des formes quadratiques (sections coniques)	D ≠ 0 Section conique régulière		D = 0 Section conique irrégulière		
	D > 0	D > 0			
$\Delta \neq 0$ section conique avec point central	Hyperboloïde	Ellipsoïde	Cône		
$\Delta = 0$ section conique sans point central	Paraboloïde hyperbolique J < 0	Paraboloïde elliptique J < 0	B ≠ 0	J < 0	Cylindre hyperbolique
				J = 0	Cylindre parabolique
				J > 0	Cylindre elliptique
			B = 0	J < 0	Plan
				J = 0	Plan double

Fig. 1 - Classification des formes quadratiques par déterminants

LES TESTS STATISTIQUES

Pour tenir compte de la stochasticité des invariants vue au paragraphe précédent, il faut appliquer des tests statistiques en vue de la classification.

Une première approche pourrait consister à tester la significativité des invariants en fonction de la forme à identifier (démarche unidimensionnelle). L'influence des corrélations entre les invariants y serait négligée.

La figure 2 illustre une autre stratégie (démarche multidimensionnelle).

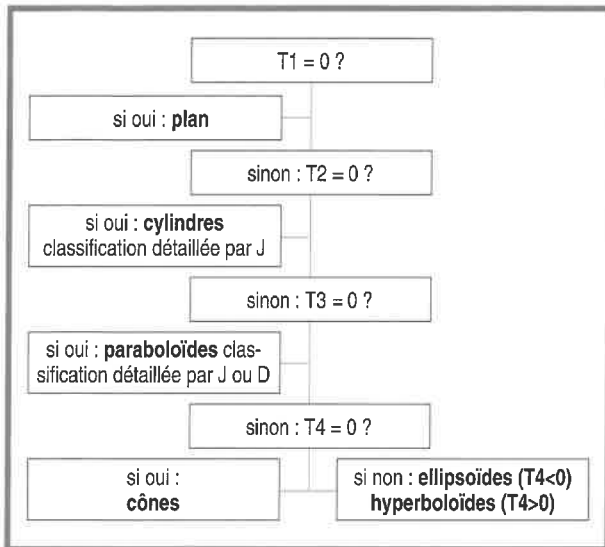


Fig. 2 - Stratégie multidimensionnelle

On regroupe les tests de façon suivante :

$$T_1 = \frac{1}{3\hat{\sigma}_0^2} \begin{pmatrix} \Delta \\ D \\ B \end{pmatrix}^T Q_{\Delta,D,B}^{-1} \begin{pmatrix} \Delta \\ D \\ B \end{pmatrix}, \quad T_2 = \frac{1}{2\hat{\sigma}_0^2} \begin{pmatrix} \Delta \end{pmatrix}^T Q_{\Delta,B}^{-1} \begin{pmatrix} \Delta \\ B \end{pmatrix}$$

$$T_3 = \frac{\Delta}{\hat{\sigma}_\Delta}, \quad T_4 = \frac{D}{\hat{\sigma}_D}$$

où $Q_{\Delta,D,B}$, $Q_{\Delta,D}$, $Q_{\Delta,B}$ sont les sous matrices des invariants correspondants de $C_{pp} = \frac{1}{\hat{\sigma}_0^2} Q_{pp}$.

Ces valeurs de décision T_i obéissent à la loi de Fisher $F_{f,r}$ de degré de liberté $f = 3$, 2 ou 1 et de redondance r .

Dans un premier temps, on tient compte de trois invariants Δ, D, B . Si le test n'est pas significatif, on ne peut pas refuser l'hypothèse nulle : $T_1 = 0 | H_0$. La forme est donc classifiée comme étant un plan. En cas d'échec, l'opération suit son cours avec T_2 . L'acceptation de l'hypothèse nulle $T_2 = 0 | H_0$ mène à un cylindre. Sinon la décision se fera avec T_3 et T_4 , en accordant les risques de première espèce α . L'invariant J permet d'effectuer des classifications détaillées, du type cylindre parabolique, elliptique ou hyperbolique.

EXEMPLES

Des exemples numériques ont pour but de mettre en évidence les différences entre les méthodes citées ci-dessus. Nous présenterons l'influence de l'ordre du dé-

veloppement de Taylor dans la démarche par déterminants. Des calculs de simulation sont effectués par des logiciels développés sous Matlab® version 5.1. Les formes sont discrétisées par 100 points dont les coordonnées sont biaisées à l'aide d'un générateur de nombres aléatoires non-corrélés obéissant à la loi normale de moyenne 0.0 et d'écart type 0.01.

Exemple 1 : Classification d'un cône

Dans ce cas, 500 répétitions de simulations ont été effectuées. Les deux histogrammes de la figure 3, représentent : le cas linéaire (histogramme supérieur) et le cas non-linéaire (histogramme inférieur). Dans la partie droite, une légende indique les formes classifiées et le graphique du bas montre la forme choisie pour la simulation. La figure 4 présente les histogrammes des quatre variables de décision T_i . Le cas linéaire est présenté dans la première ligne et le non-linéaire dans la seconde. Les traits tirés limitent la région critique des tests.

Référons-nous tout d'abord à la figure 3 : Dans le cas linéaire, pour à peu près 75 % des cas, la forme est identifiée en cône, dans 25 % en hyperboloïdes ou ellipsoïdes. Cependant dans le cas non-linéaire, 100 % sont classifiés en cône. En utilisant les informations données en figure 4, on constate que la variable de décision T_4 joue un rôle clé, car toutes les autres variables de décision sont comparables dans les deux cas au niveau de leur significativité. Dans le cas non-linéaire, T_4 est toujours en dehors de la région critique. Par contre, dans le cas linéaire, T_4 se trouve dans la région critique pour environ 25 % des cas. Ceci entraîne le rejet de l'hypothèse nulle, d'où les 25 % d'hyperboloïdes ou ellipsoïdes.

Exemple 2 : Cas limite entre des formes

Ce deuxième exemple met en évidence le comportement des tests, pour les cas limites entre des formes. Choisissons un paraboloides elliptique peu courbé. Les conditions de simulation et la conception des schémas des résultats sont les mêmes que dans l'exemple précédent.

Référons-nous tout d'abord à la figure 5 : Dans le cas linéaire, pour près de 30 % des cas, la forme est identifiée à un paraboloides hyperbolique ou plan, pour 20 % à des cylindres et pour 10 % des cas à un cône.

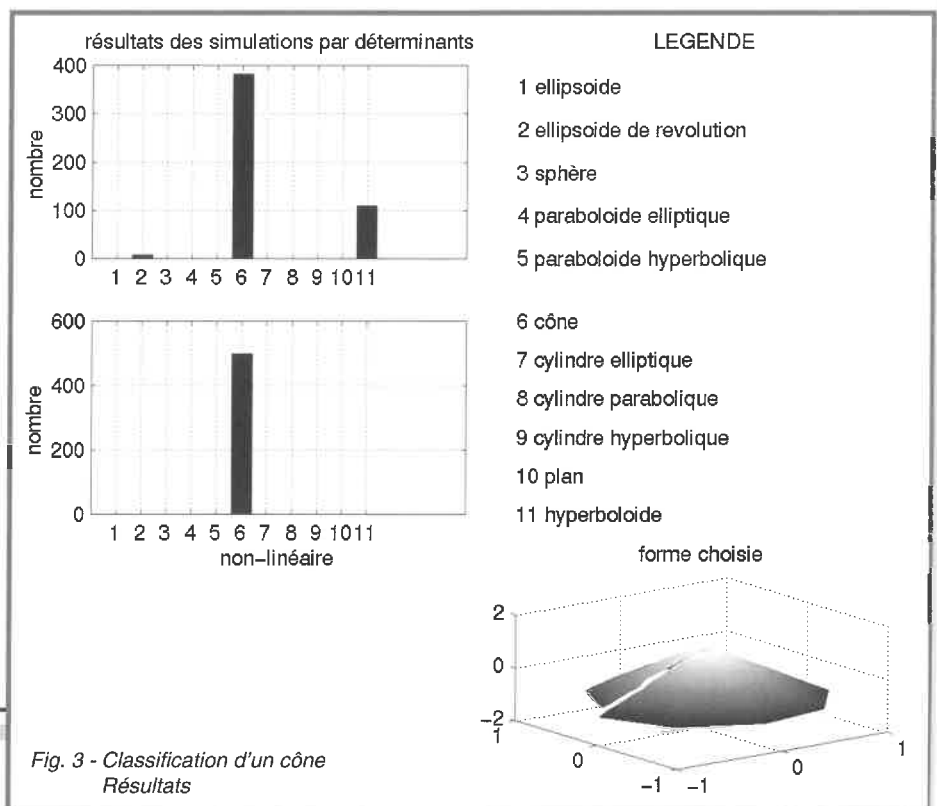


Fig. 3 - Classification d'un cône
Résultats

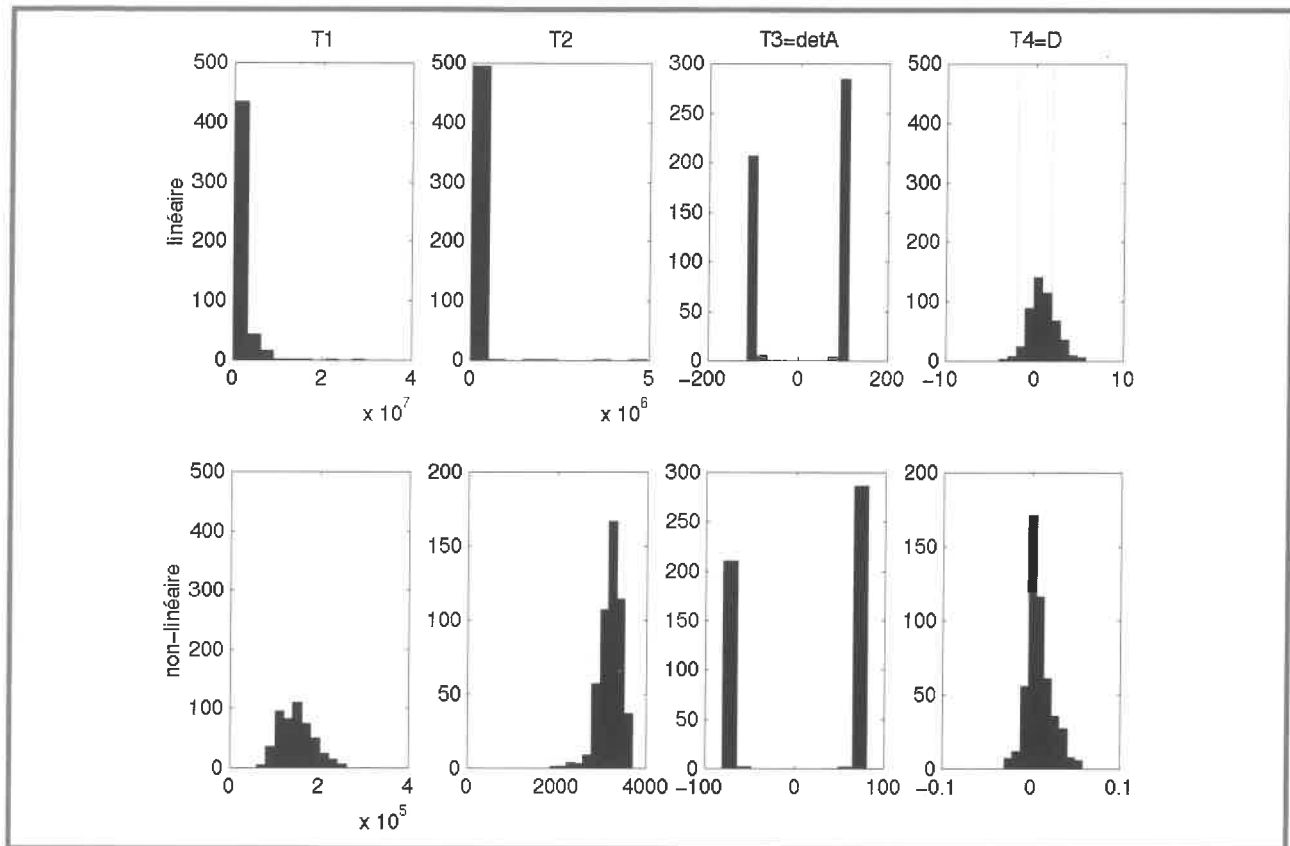


Fig. 4 - Classification d'un cône – Répartition des variables de décision

Cependant, dans le cas non-linéaire, 90% des cas sont classifiés en plan. Les 10% restants sont identifiés comme étant des paraboloïdes elliptiques et des cylindres elliptiques.

En utilisant les informations issues des figures 6 et 2, on constate que toutes les variables de décision T_i jouent un rôle important. Dans le cas non-linéaire, les T_i sont toujours plus petites que dans le cas linéaire. Ceci est lié au fait que le développement de Taylor amené à l'ordre deux (dans la détermination de la $MVCC_{pp}$) mène à des variances plus grandes. Les différentes hypothèses nulles ont été refusées plus tard et une forme plus simple a été sollicitée. Dans notre cas concret, à cause du phénomène décrit ci-dessus, moins de variables de décision tombent dans les régions critiques des tests, d'où les résultats obtenus.

Par contre dans le cas linéaire, la variable de décision T_i qui tombe dans la région critique nous amène à continuer les tests avec T_2 . Lors de ce test, l'acceptation de l'hypothèse nulle identifie la forme quadratique comme étant un cylindre. La répartition de la variable de décision T_3 qui ne dépasse que de peu sa région critique, explique l'existence d'une deuxième grande classe (les paraboloïdes). Finalement la classification en cônes est liée à la répartition de T_4 .

CONCLUSION

Nous avons montré que les déterminants peuvent très bien être introduits au niveau de la classification des formes quadratiques. Comparée à la démarche par valeurs propres, cette solution est d'une plus grande simplicité conceptuelle (Schön, 1999). Un développement de Taylor jusqu'à l'ordre deux dans la détermination de la MVC mène à des variables de décision plus petites, car

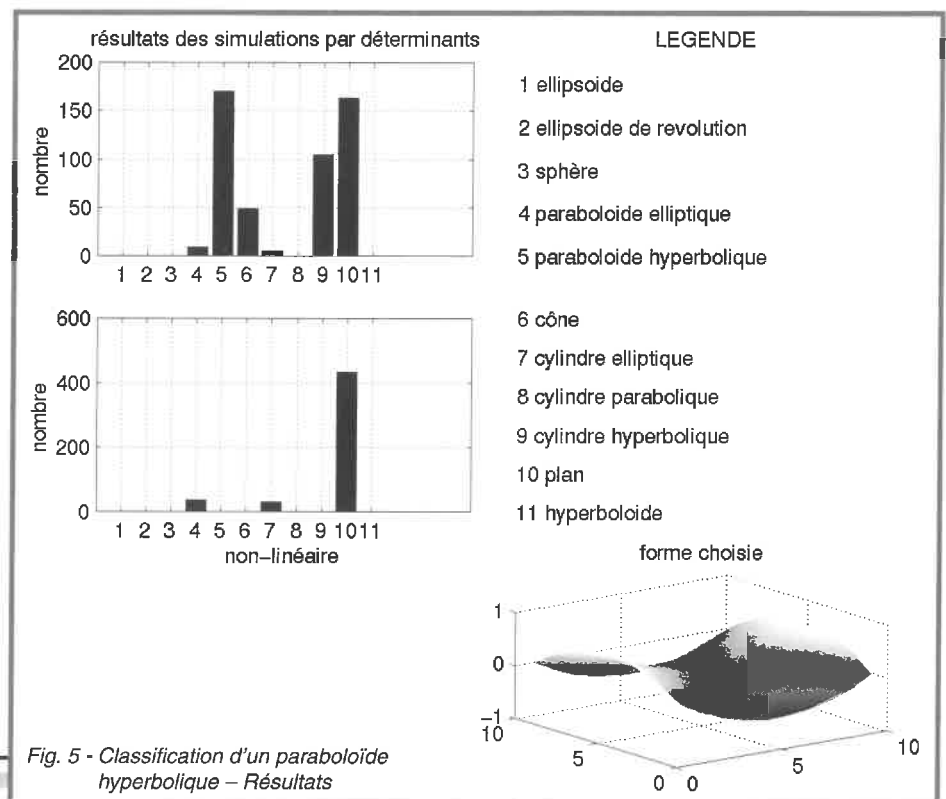
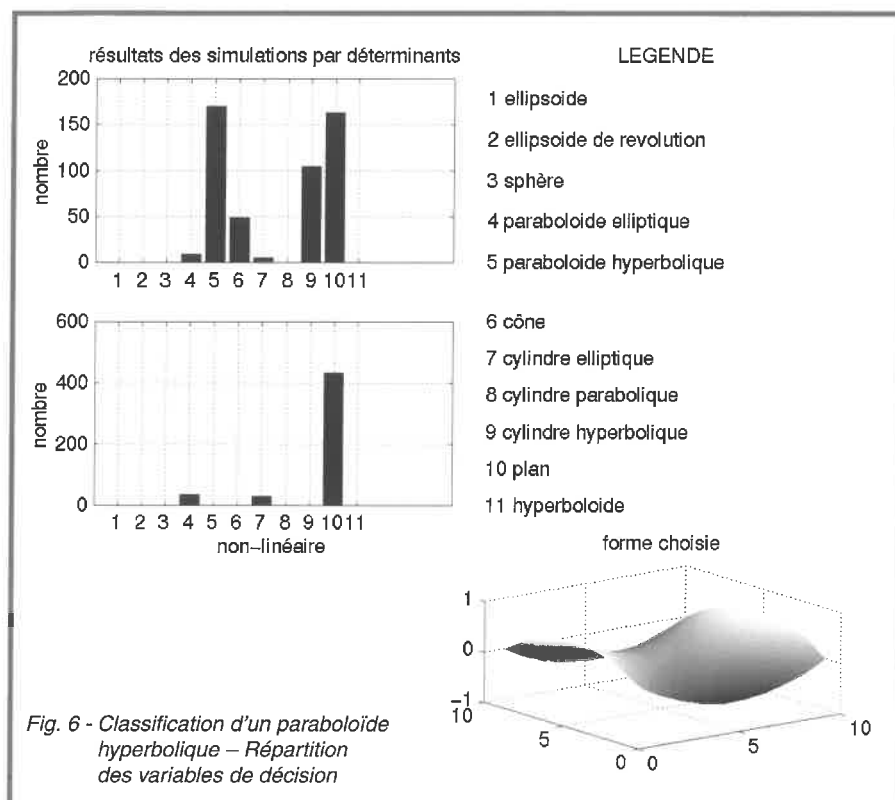


Fig. 5 - Classification d'un paraboloïde hyperbolique – Résultats



les variances sont plus grandes que dans le cas linéaire. Ceci entraîne un comportement plus « conservateur » ce qui veut dire que l'hypothèse nulle est refusée plus tard. Le choix se fera donc en faveur d'une forme plus simple. Ce phénomène était déjà remarqué par Xu, Grafarend (1996) dans le contexte d'analyse de déformations. Cette caractéristique peut être très utile, lorsqu'il s'agit de cas limites entre deux formes.

Pour conclure, il faut constater que la configuration des mesures joue un rôle important dans la qualité de la classification et nécessite d'être approfondie. De même il serait souhaitable d'introduire des estimateurs robustes pour une détection de « bosses » dépassant une forme quadratique.

Cet article est issu d'un travail d'études mené par Steffen Schön.

BIBLIOGRAPHIE

- Bock, H. (1998) : Statistische Beurteilung der Identifikation quadratischer Formen in Ebene und Raum, travail de fin d'études à l'institut de géodésie de l'Université de Karlsruhe, non publié.
- Bock, H., Kutterer, H. (1998) : Identifikation ebener quadratischer Formen mit statistischen Methoden dans : Freeden W. (Ed) : Progress in Geodetic Science at Geodetic Week 98, p.217-224, Proceedings de la semaine géodésique 1998 à Kaiserslautern, Shaker, Aix-la-Chapelle.
- Drixler E. (1993) : Analyse der Lage und Form von Objekten im Raum DGK série C, No.409, Munich.
- Grafarend E., Schaffrin B. (1993) : Ausgleichsrechnung in Linearen Modellen BI Wissenschaftsverlag, Mannheim
- Kutterer, H., Schön, S. (1999) : Statistische Analyse quadratischer Formen - der Determinantenansatz Allgemeine Vermessungsnachrichten, en cour de parution.
- Schön, S. (1999) : Statistische Methoden zur Identifikation quadratischer Formen im Rahmen von Industrievermessungen, travail d'étude, à l'institut de géodésie de l'Université de Karlsruhe, non publié.
- Schwarz, W., Ed. (1995) : Vermessungsverfahren im Maschinen und Anlagenbau. Deutscher Verein für Vermessungswesen, n° 13, Wittwer, Stuttgart.
- Xu, P., Grafarend, E. (1996) : Probability distribution of eigenspectra and eigendirections of an twodimensional, symmetric rank two random tensor, Journal of Geodesy 70, p. 419-430.

Steffen Schön et Dr.-Ing. Hansjörg Kutterer – Geodätisches Institut der Universität Karlsruhe – Englerstraße 7
D- 76 128 Karlsruhe – Kutterer@gik.uni-karlsruhe.de

REPERTOIRE DES ANNONCEURS - N° 80

LEICA	2° couv.
SETAM	3° couv.
TOPO CENTER	4° couv.
AEROSCAN	29
AZIMUT	89
CARL ZEISS.....	100
DIAPRINT	56
DIEUTEGARD	75
ECOLE CHEZ SOI.....	45
GEOMEDIA.....	4
ENSG	41

GEOPIXEL	48
GRETA.....	92
LA BOYERE.....	92
MAURY-INFORMATIQUE	85
NIKON-SERCEL.....	1
PC VISION.....	2
PENTAX.....	99
PIX-EDIT.....	83
SPECTRA PRECISION.....	69
SUZUKI	89
TOPOCOM.....	83
TRIMBLE	6



Cercle de Gambey qui servit à la mensuration du méridien terrestre et portant sur son piétement l'indication
"Dépôt de la guerre" n° 9 - 1823"

**Instruments scientifiques, objets de marine, haute curiosité
ACHAT VENTE ECHANGE DE TOUS INSTRUMENTS ANCIENS DE GEOMETRE**

ETS DIEUTEGARD

LA FILLE DU PIRATE

Tél. 01 42 93 42 01

Fax 01 43 87 56 30

Internet : www.louvre-antiquaires.com/fille-pirate

LE LOUVRE DES ANTIQUAIRES

2, place du Palais-Royal, Paris 1^{er}
(1, allée Weisweiler, sur rue St-Honoré)
Tél. 01 42 60 20 30
Fax 01 42 60 20 31

AUX ARMES DE FURSTEMBERG

1, rue Furstemberg
(angle 3, rue Jacob) Paris 6^e
Tél. 01 43 29 79 51
Fax 01 43 25 12 55

travailler à l'export

QUELQUES « TUYAUX »



À l'heure où beaucoup de nos confrères semblent se préoccuper du développement de leur activité topographique hors de nos frontières, j'ai pensé que certains pouvaient être intéressés par le fruit d'une expérience acquise au cours de nombreuses années de gestion de travaux à l'export et de quelques dizaines de missions de prospection et de reconnaissance hors de France.

Quand on parle d'export dans notre métier, il faut bien comprendre qu'en général, il s'agit de travaux dans les pays qu'on appelle pudiquement en voie de développement.

Il est en effet évident, sauf cas particulier, que les pays à haute technologie n'attendent pas après nous pour réaliser leurs études topographiques.

À noter que la plupart des DOM TOM présentent des conditions de travail, dont le contexte s'apparente à celui rencontré dans ces pays, essentiellement sur le plan physique et géographique, mais avec l'énorme avantage de se réaliser dans le cadre du système français. Certaines des indications ci-après s'appliqueront donc aussi à ces territoires.

De nombreuses conférences et réunions ont été organisées sur ce sujet, mais généralement les gens qui s'ex-

primaient étaient plutôt des financiers, des économistes, des juristes, (voir des philosophes !).

Ces aspects sont évidemment essentiels, mais ils ne doivent pas laisser dans l'ombre des considérations plus terre à terre, qui peuvent être décisives pour éviter des erreurs à la fois lors de l'établissement des devis, et pour la mise en place du chantier en cas de succès.

Sans avoir la prétention de jouer les donneurs de leçon, c'est dans ce domaine pratique, que je voudrais indiquer quelques « ficelles », qui peuvent éviter des défauts d'appréciation, et que j'émaillerai de quelques exemples anecdotiques. Certaines pourront paraître évidentes, d'autres dérisoires, mais dans ce domaine tout à son importance, et il vaut mieux rabâcher que de pêcher par omission.

Tout d'abord, il ne faut pas ignorer que chaque pays comporte ses spécificités et que l'expérience acquise en un lieu n'est pas forcément transposable en un autre.

Ceci veut dire que :

1. Si on a eu connaissance d'un projet grâce à une prospection commerciale efficace ou grâce à des informations fiables.



Cameroun

2. Si on a obtenu d'être consulté.
3. Si on estime devoir s'intéresser à l'appel d'offres, après avoir pris la précaution élémentaire d'analyser au mieux les données économiques et politiques du pays concerné.

Il devient absolument nécessaire de se rendre sur place pour examiner et quantifier toutes les données permettant de chiffrer ses propositions et d'évaluer les risques.

Je n'apprendrai à personne qu'établir un devis, c'est estimer les coûts et dans une activité de services comme la topographie, c'est essayer d'évaluer les temps d'exécution et d'apprécier les impondérables.

Ce type d'investigation s'apparente souvent à une véritable enquête policière, compliquée par le fait qu'à ce stade on ne dispose d'aucun mandat officiel et que les maîtres d'œuvre ou leurs ingénieurs conseils n'apporteront généralement aucune aide.

Le nombre et la diversité des renseignements nécessaires m'avaient personnellement amené à rédiger un aide-mémoire qui ne comportait pas moins d'une vingtaine de pages et que j'améliorais après chaque mission en fonction de la découverte de problèmes toujours nouveaux.

Je n'en extraierai que les points les plus représentatifs.

La mission sur place est évidemment un investissement assez lourd, quand on considère que sur un appel d'offres international, les chances de réussite varient généralement de 10 à 25 % (statistiques purement personnelles...).

Il faut bien savoir qu'on se trouve souvent confronté à une concurrence acharnée et contre laquelle il est parfois difficile de lutter (sur certains marchés africains, nous avons été battus par des sociétés pakistanaises et coréennes, qui envoyaient du personnel payé moins que notre SMIG et sans frais de déplacement !...) mais on ne peut le deviner avant le dépouillement des offres et c'est une des grandes inconnues du problème.

En cas d'insuccès, c'est évidemment une dépense à fond perdu, mais qui s'avère néanmoins enrichissante quant à la manière de cerner les problèmes.

Dans ce genre de reconnaissance, je pense qu'il faut distinguer trois volets bien distincts :

1. Les renseignements à caractère topographique.
2. La reconnaissance sur site (directement liée à 1.).
3. Les renseignements que je qualifierais de généraux, c'est-à-dire tout ce qui touche les problèmes administratifs, financiers, législatifs, fiscaux etc. et en particulier tout ce qui concerne l'intendance et la logistique.

RENSEIGNEMENTS TOPOGRAPHIQUES

a) Documentation technique :

Chacun de nous sait évidemment, qu'il faut, comme pour tout chantier, s'informer de ce qui concerne :

- le réseau géodésique, ou ce qui en tient lieu.
- le réseau de nivellement.
- en essayant de s'assurer de leur niveau de qualité, de précision ou de densité.
- les documents cartographiques ou topographiques, et photos aériennes (existants ou en cours d'établissement).

Quand il s'agit de pays, ex-colonies françaises on trouve souvent de la documentation, même ancienne, auprès de l'IGN, sans oublier d'interroger l'IGN international qui est impliqué dans de nombreux pays.

Ailleurs, le problème de l'obtention de cette documentation n'est pas toujours aisé à maîtriser, car souvent ce domaine est sous contrôle de l'Armée, qui obsédée par les risques « d'espionnage » n'est guère coopérative à cet égard pour ne pas dire totalement hostile.

Je citerai en exemple un pays du Moyen-Orient, où j'ai perdu deux précieuses journées en étant littéralement baladé de service en service, avec l'espoir d'obtenir des cartes au 1/50 000 qui m'auraient été bien utiles pour la

reconnaissance sur le terrain, mais s'avèrent finalement « top secret ».

Si l'on pense envisager et proposer une solution photogrammétrique, il faut étudier les possibilités de prises de vue aériennes, mais outre le fait que les moyens locaux sont généralement inexistant on se heurte assez souvent à des interdictions ou à des complications importantes. La même chose bien sûr si l'on veut faire intervenir une mission de prises de vue étrangère au pays. Ne pas prendre le risque de faire un vol sans autorisation (« au Zaïre le survol du barrage d'INGA, zone stratégique entraînait le risque de se faire "canarder" par la D.C.A. » !)

b) Assistance ou sous-traitance locales :

Il ne faut pas ignorer ou sous-estimer l'intérêt de celles-ci, pour des tâches spécifiques et plus encore, de l'opportunité de louer ou embaucher des brigades indigènes susceptibles de participer ponctuellement aux opérations, sous contrôle évidemment. Il faut souligner le fait que les Africains en particulier, ont beaucoup de goût et de compétences pour la topographie. Ils peuvent s'avérer être de précieux auxiliaires grâce à leur connaissance du terrain et à leur capacité à s'adapter à des conditions de vie difficiles.

c) Questions foncières :

En général hormis les zones urbaines et quelques gros villages, ces questions ne se posent pas pour les travaux de topographie pure, notamment en zones de forêt, de savane ou de désert.

Cependant même sans titre de propriété, le sol ou les végétaux peuvent appartenir à quelqu'un ou à une communauté, ce qui peut entraîner des difficultés si l'on cause des dégâts, par exemple lors de layonnages indispensables dans les zones boisées. En Afrique en particulier, les villageois exploitent des arbres à fruits (caféiers, cacaotiers,...) ou diverses cultures vivrières noyées dans la nature, ce qui peut les faire paraître à nos yeux pour des espèces sauvages.

Risque encore plus grand si on traverse des forêts sacrées (tabous) indécélables au premier abord. Gros incident en perspective, mais qui s'arrange généralement après moult palabres avec le chef de village ou le sorcier moyennant quelques cadeaux.

« En Côte d'Ivoire, une de nos missions a été stoppée plusieurs jours à la suite de ce genre de maladresse. Cela ne s'est arrangé qu'avec l'offrande d'une chèvre et de quelques sacs de riz (pour calmer les dieux...) ».

Ceci ne peut être quantifié dans un devis, mais doit être classé au chapitre des impondérables.

La meilleure précaution, consiste, faute d'arrêt de pénétration, à informer préalablement des travaux les responsables locaux (chefs de village, de tribu, gros propriétaires identifiables) pour éviter tout incident, même dans des zones réputées vierges. Là encore grosses pertes de temps en discussions interminables.

d) Cahier des charges :

– Lors des contacts avec le donneur d'ordre, les seuls officiels, bien analyser les cahiers des charges, parfois très différents de ceux auxquels nous sommes habitués, surtout en pays non francophones. Se faire présenter des plans modèles et préciser les unités de mesure et les langues utilisées pour les écritures.

– Vérifier si le client exige un bornage des points de base. Souvent, les bornes sont d'un type imposé et normalisé (au Maroc, l'ONE prêtait des moules pour réaliser des bornes en béton avec son logo - petit inconvénient, chacune pesait 80 kg ; quand il y en avait 6 dans le Land Rover, les essieux pliaient...). À propos de la matérialisation des points, un petit détail qui pourrait paraître amusant, s'il ne causait pas mal de soucis : Ne pas perdre de vue que dans les pays pauvres tout a une valeur : en zone désertique, les piquets en bois sont récupérés par la population pour faire du feu, ailleurs les jalons sont volés pour être retravaillés par le forgeron local, ou pour faire des pipeaux... (authentique).

– Bien insister pour savoir si les travaux doivent obligatoirement être rattachés aux réseaux existants, ce qui peut s'avérer une contrainte considérable, vu la faible densité des points d'appui et le couvert végétal dans certaines régions (je me réfère à une période sans GPS, encore que celui-ci n'est pas efficace partout).

e) Matériel topographique et assimilé :

Aux questions topographiques, il faut lier cette importante question.

Vu la complexité de certaines importations et le coût du transport, il peut être avantageux d'acheter sur place, quand c'est possible. Difficile généralement pour le gros matériel de précision (distancemètres, théodolites,...) plus facile pour le matériel non moins nécessaire que sont entre autres les tronçonneuses ou les groupes électrogènes ainsi que pour le petit matériel d'arpentage (mires, jalons, décamètres...) et les talkies-walkies. Se





renseigner aussi sur les possibilités de location (et tarifs) ainsi que sur les capacités de réparation et réglages sur place, souvent limitées.

Il vaut mieux ne pas tomber en panne, car outre l'immobilisation de l'appareil, il faut le convoier parfois très loin du chantier (en Nouvelle Calédonie, le plus proche agent d'une grande marque suisse était à Sydney !). Une bonne solution est d'avoir toujours n appareils + 1 ou 2 en réserve, ces derniers de préférence non électroniques, pour cause de fiabilité sous des climats extrêmes.

S'il y a possibilité d'importation temporaire, bien examiner les problèmes douaniers et les taxes à acquitter, dont on peut être exonéré si le marché le prévoit.

RECONNAISSANCE DU TERRAIN (EXAMEN DES DIFFICULTÉS GÉOGRAPHIQUES)

Absolument indispensable, mais très contraignante, surtout dans le cas de chantiers concernant de grandes étendues. Dans le domaine TP qui était le mien, il s'agissait de projets linéaires, s'étendant souvent sur plusieurs centaines de kilomètres.

Là il faut improviser, trouver un véhicule, de préférence 4 X 4, accepter souvent de coucher et se nourrir sur le pays, sans espoir d'assistance aucune. Le tout avec des cartes insuffisantes et très anciennes (souvent 1/200 000 ou même 1/500 000...).

Maintenant avec un petit GPS de randonneur, on peut contrôler grossièrement sa position et éviter des erreurs de plusieurs km ou plus...

Il est très utile de se faire accompagner d'un indigène débrouillard, qui peut servir d'interprète et d'intermédiaire avec les populations locales.

Bien pratique aussi si l'on s'enlise, ce qui arrive sans cesse (à deux c'est mieux) ou en cas de panne car si on laisse la voiture pour aller chercher de l'aide, au retour elle risque d'être complètement désossée en un temps record. Donc, sécurité élémentaire... et puis ça tient compagnie ! (parfois des auto-stoppeurs peuvent rendre les mêmes services).

Souvent, il faut envisager un survol aérien des zones inaccessibles, à basse altitude.

Pour limiter les frais, il est bon de contacter des aéro-clubs éventuels, car de nombreux pilotes amateurs ont besoin de faire des heures de vol pour valider leur licence et acceptent de voler pratiquement pour le prix du carburant.

L'énumération rapide des points qui suivent est de mise en tous lieux, mais elle revêt une importance particulière en pays à environnement difficile.

– **Végétation** : la principale difficulté provenant de celle-ci du fait du manque de visibilité, il faut localiser les zones boisées, leur nature et leur densité (afin de cerner les difficultés de layonnage) ainsi que les plantations comportant des cultures de grande hauteur (mil, canne à sucre,...). Si le chantier doit se dérouler quand ces cultures sont à maturité, attention aux complications, au temps passé et aux indemnités et palabres, pour régler les dégâts, le cas échéant.

– **Accidentation du terrain** : conditionne à la fois les temps d'accès et la progression physique sur le terrain, ainsi que la densité des points de nivellement.

– **Accès et temps d'amplitudes** : voir réseau et praticabilité des pistes et routes (selon saison !) en V.L., en 4 X 4, ou accès pédestres, ainsi que la nature des sols et leur consistance. Attention aux zones marécageuses, aux marigots et au réseau hydrographique qui peut obliger au pire à créer des ponts sommaires. Voir aussi possibilités de transport par voie d'eau (bacs, pirogues,...).

– **Problèmes climatiques** : se renseigner sur le régime des pluies, la fréquence des intempéries (y compris cyclones, dans certaines îles) leur incidence sur les réseaux routiers et hydrographiques (crues saisonnières, enneigement dans certaines régions). Températures extrêmes nécessitant des horaires de travail particuliers.

En résumé :

- noter tous obstacles pouvant créer des difficultés dans les opérations de terrain.
- évaluer au mieux les temps d'exécution des différentes opérations, sans sous-estimer les temps morts incontournables, quoique difficiles à chiffrer.
- faire des photographies si possible.

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX (PLUS SPÉCIALEMENT POUR PAYS ÉTRANGERS)

Nous entrons là dans un domaine qui pourrait donner lieu à un inventaire à la Prévert, tant les questions à élucider et les pièges sont nombreux. En voici une énumération condensée et non exhaustive :



a) Main d'œuvre locale :

Disponibilité (sur place ou déplacée) - Grilles de salaires et contrats (même dans les pays les plus reculés, il existe des services de la main d'œuvre, avec lesquels il ne faut pas badiner) - Charges, impôts sur salaires - Indemnités de déplacement, de panier, d'outillage - Logement à assurer (réglementation parfois très stricte) - Location (genre intérim) : coût et disponibilité.

Un point particulier, mais qui peut n'être pas négligeable pour la bonne marche de l'affaire, concerne la connaissance des relations et inimitiés inter-ethniques.

On notera que, dans certains pays il ne faut pas mélangier des aides de races ou tribus différentes et souvent antagonistes dans la même équipe (les rancunes tribales ce n'est pas rien).

Quand il y a beaucoup de personnel (parfois plusieurs dizaines d'hommes sur de gros chantiers) il est indispensable de choisir des chefs d'équipe servant en même temps d'interprètes, seuls capables de transmettre les ordres et d'assurer un minimum de discipline et un rendement conforme aux prévisions.

Attention aux jours chômés (souvent très nombreux, fêtes locales, pouvant durer plusieurs jours et laisser des traces suite aux libations...).

b) Main d'œuvre expatriée :

Majoration éventuelle pour dépaysement - **Indemnités** de déplacement : voir usages locaux, sinon difficile à définir quand il n'y a pas d'hôtels permettant de fixer un prix de pension. Il m'est arrivé de faire le tour des supermarchés dans les villes les plus proches pour essayer de définir le coût approximatif de la vie - Dans les zones désertiques prévoir une prime de boisson - **Charges et impôts** à régler sur place. Ces derniers pouvant être à charge de l'expatrié ou de l'entreprise - **Permis de séjour** et contrats soumis à l'administration du pays (avec visas de travail)...

c) Lois sociales et réglementations locales :

Personnel local : conventions collectives, sécurité sociale éventuelle, horaires de travail, surveillance médicale (en Arabie Saoudite, nous avons eu droit à une grève avec appui des syndicats suite à une sombre histoire de prime de licenciement) - **Matériel** : assurances véhicules et divers (R.C., dégâts...), utilisation réglementée des postes radio (voir fréquences autorisées).

d) Taxes et impôts sur les Sociétés :

Impôts directs : sur sociétés, sur chiffre d'affaires, sur bénéfices, patentes, impôts libératoires sur transfert de fonds - **Impôts indirects** : Droits d'enregistrement - TVA ou équivalent (récupérable ou non, précisé dans les marchés) - Législation sur les sociétés étrangères - Convention fiscale éventuelle avec la France.

e) Douanes :

Importation temporaire ou définitive (de France ou d'un autre pays) pour matériel et véhicules - Nécessité transitaire. Attention quand tout semble réglé, rien n'est vraiment réglé (au Zaïre, malgré toutes les autorisations, 3 pick-up sont restés bloqués un mois dans le port de Matadi. Ailleurs un douanier voulait démonter un distance-mètre pour savoir ce qu'il contenait...) - Attention il arrive que le matériel importé ou acheté sur place doive être laissé au client en fin de chantier (c'est stipulé dans le contrat).



f) Hébergement :

Hôtels, restaurants, (quand il y en a !) localisation, tarifs - **Locations** (meublées ou non) - **Campements** : frais d'installation et d'équipement (litterie, mobilier, matériel de popote...), achat ou location baraquements ou tentes - Approvisionnement en vivres, points d'eau potable, gardiennage (très important sinon gare à la fauche ! Mais souvent le gardien est de mèche avec les voleurs...) - Proximité des villages pour dépannage occasionnel (il existe généralement des cases de passage).

g) Véhicules et moyens de transport :

Achat sur place : voir prix, disponibilité (souvent limitée) et régime des taxes - Marques les plus répandues et les plus fiables (facilité de réparation) - **Location** : tarifs et conditions générales, contrats longue durée (à négociation), compagnies internationales (Hertz, Avis,...) permettant le règlement en France. Attention celles-ci imposent généralement un chauffeur fourni par leurs soins pour les déplacements en brousse - **Carburants** : prix, densité des points de vente - Possibilités réparations locales et achat pièces détachées (dont pneus). Souvent celles-ci proviennent de véhicules pillés, ce qui réciproquement peut vous arriver une autre fois - **Autres transports** : air = lignes intérieures ; affrètement = avion, hélicoptères ; transports fluviaux ; lignes d'autocars ; voies ferrées (pour passagers ou fret) ; animaux de bât ou de selle (chevaux, mulets, dromadaires,...)

h) Langues :

Officielle/en usage - Nécessité interprètes ou hommes à tout faire pour démarches diverses (en Iran, on les appelait « démerdaris » personnages incontournables pour régler tous les problèmes locaux en particulier avec l'administration) - Attention aux pièges des contrats rédigés dans une langue étrangère.

i) Économique et financier :

D'autres seront plus compétents que moi sur ce sujet. Je me bornerai à citer les points les plus importants à vérifier :

- Réglementation des changes et transfert de fonds, souvent gros problème (au Maroc, nous avons eu une somme considérable réglée par le client mais bloquée dans une banque pendant trois ans pour des raisons purement politiques).
- Ouverture compte bancaire local.
- Cours et fluctuation des monnaies : attention aux courbes d'inflation qui peuvent conduire un marché à la catastrophe, s'il a été traité en monnaie locale ou étrangère (en ABU Dhabi, un marché traité en dollars US lors de son plus haut cours, a plongé lors du rè-

glement final car cette devise avait chuté de 20 % durant la durée du chantier).

- Gros problème des commissions et bakchich en tous genres et à tous niveaux. Impossible à éviter, difficile à prévoir.
- Assistance locale en matière juridique, financière et fiscale.
- Représentation sur place : nous abordons là un problème essentiel pour éviter les gros pépins. Essayer de trouver une société pouvant servir de correspondant local qu'on associera à l'affaire (moyennant rétribution) même si elle n'apporte que son nom et ses connaissances du pays. Il peut être avantageux de s'appuyer sur elle pour les questions de logistique et de comptabilité. La difficulté est de détecter le bon partenaire (en Jordanie, nous avons trouvé un bureau d'études dont le patron se prétendait cousin du roi. Vrai ou faux, mais il s'est avéré qu'il était aussi à la solde d'un de nos concurrents lors de la remise des offres). De toute façon, dans certains pays, le gouvernement impose l'association avec une entreprise locale faute de quoi on ne peut travailler (au Maroc, il fallait être associé à 50/50 avec une société marocaine).



solde depuis des mois. Il faut bien vivre, mais quelles frayeurs !

On peut à juste titre se demander comment obtenir ces informations.

Outre la reconnaissance visuelle, il y a de nombreuses sources possibles pour les problèmes que j'ai qualifié de généraux :

Le client, bien sûr (s'il est coopératif) - Les chambres de commerce - Les syndicats d'entrepreneurs - Les services de la main d'œuvre - Des responsables d'entreprise locales gérées par des expatriés - Les services fiscaux et douaniers - Les transitaires - Les vendeurs et loueurs de véhicules et de matériel et autres sociétés de services (intérim) - Les consulats et ambassades (souvent de peu de secours - tout dépend de l'efficacité de l'attaché commercial) - Les syndicats d'initiative (eh oui ! Il peut y en avoir), hôtels, restaurants - Et bien sûr le correspondant local si on a réussi à en dénicher un, de préférence fiable - etc.

Liste non limitative, laissée à l'initiative, à la débrouillardise et à l'esprit d'entreprise de chacun.

Ce sont bien là les valeurs clés pour assurer quelques chances de succès, ici comme ailleurs, mais qui ne supprimeront jamais une part de risque non négligeable.

Dernière recommandation : essayer de recouper toutes les informations auprès d'au moins deux sources, car les renseignements fournis sont souvent peu fiables, généralement par manque de compétence ou désinvolture, parfois par souci de nuire.

Il faut parler avec le maximum de gens, lier des contacts diversifiés, ne pas hésiter à jouer les curieux.

Enfin, si l'affaire se traite, ce que je vous souhaite, il faut prévoir l'envoi de personnel compétent bien sûr, mais surtout solide nerveusement et psychologiquement. La capacité à surmonter les situations les plus complexes est seule de nature à garantir le succès du chantier. Il ne faut surtout pas craquer face aux nombreux problèmes inhabituels pour quelqu'un d'inexpérimenté, qui risquerait de demander son rapatriement sous un prétexte médical fallacieux au bout de 15 jours (ça s'est vu).

Si la mission de reconnaissance a été bien conduite, votre chef de mission nous saura gré des renseignements que lui transmettez et qui lui feront gagner du temps et éviter quelques déboires.

j) Problèmes d'hygiène et de sécurité :

- Vaccins et préventions diverses des maladies locales (paludisme, fièvre jaune, bilharziose,...).
- Possibilités d'hospitalisation et de soins sur place.
- Contrats d'assistance-rapatriement indispensables, ne serait-ce que pour rassurer le personnel, car souvent on se demande bien ce qu'ils pourraient faire...
- Faune dangereuse (ce n'est pas une blague ! Au Gabon, un campement a été pulvérisé par le passage d'un troupeau d'éléphants). En général, le plus gros risque est constitué par les serpents en tous genres et par les petites bêtes...
- Populations hostiles et risques liés aux situations de belligérance et de banditisme (dans certains pays d'Amérique du Sud il faut se déplacer armé). Problème souvent imprévisible, compte tenu des évolutions politiques. On peut citer le triste exemple du RWANDA, pays réputé pour son calme, peuplé de paisibles paysans. On a vu ce qui est arrivé ! Autre exemple anecdotique : au Zaïre, près de la frontière angolaise, nos géomètres avaient été dénoncés par des villageois qui voyaient en eux des mercenaires armés de mitrailleuses (leurs théodolites) et plantant des drapeaux ennemis (des balises de triangulation). Ils eurent droit, rien moins que ça, à l'arrivée d'un engin blindé de l'Armée, qui les mit en joue avant que tout s'explique ! En règle générale dans certains pays, les individus les plus à craindre sont ceux qui portent un uniforme et qui sont armés, car forts de leur autorité ils en profitent pour vous racketter, voir vous terroriser, jusqu'à ce que tout s'arrange avec un peu d'argent. Il faut dire pour les excuser que bien souvent, ces gens-là n'ont plus de

chomolungma

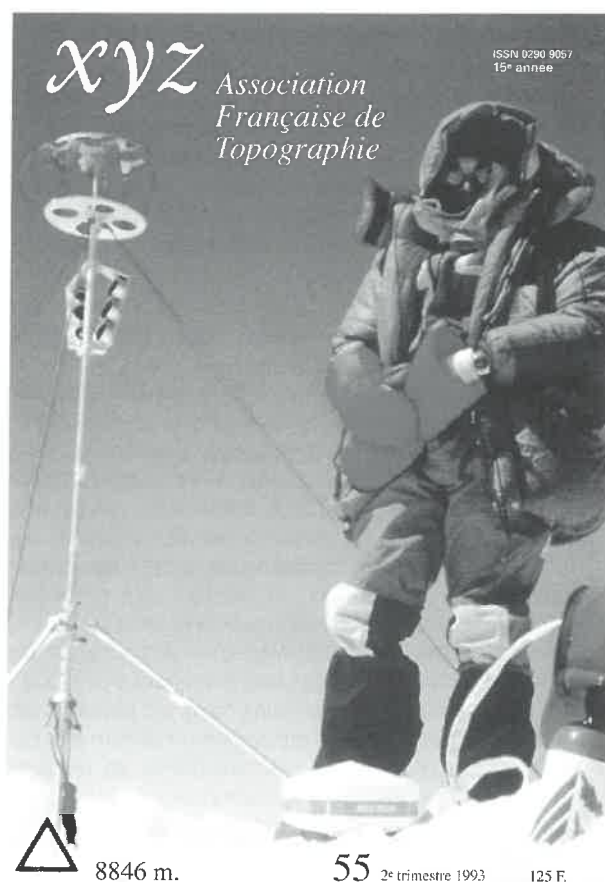
(Mt Everest)

la
première
mesure
date
de
150 ans



Les mesures de 1992 ont définitivement confirmé l'altitude des deux plus hauts sommets du monde et par conséquent leur rang respectif : 1^{er} l'Everest, 2^e le K2. La rumeur laissait entendre que le K2 était plus haut que Chomolungma. Pour connaître la vérité on décida une nouvelle mesure autorisée par les progrès technologiques, et un comité s'est proposé pour former l'équipe des alpinistes et amener les instruments au sommet, il se proposa également pour l'envoi de géographes pour exécuter les mesures côté népalais et traiter les données. De son côté le NBSM, organisme national de cartographie et de mesure chinois, se déclarait prêt à participer aux mesures en se plaçant côté tibétain. L'ascension de l'Everest fut prévue pour septembre 1992, et l'alpiniste Benoit Chamoux installait sur le sommet la cible pour les mesures. C'était la première fois dans l'histoire qu'un appareil GPS était placé au sommet de l'Everest et il fonctionna parfaitement après avoir passé une nuit par une température de -30°, notre revue a relaté l'exploit technique de cette mission en son temps dans le numéro 55 de XYZ (2^e trimestre 1993). Le Leica GPS200 installé a saisi pendant 54 minutes des données toutes les deux secondes. La distance de visée entre les stations dans les vallées et le point au sommet était de dix à douze km. Les trois prismes du sommet auraient pu suffire pour obtenir de bons résultats, mais deux séries de trois prismes furent utilisées, une dirigée vers la vallée népalaise, l'autre vers le cloître de Rongbuk au Tibet.

Et ce fut dit, une fois pour toutes on crédita l'Everest d'une altitude de 8846 m par rapport au niveau moyen de



la mer dans le golfe du Bengale. Le matériel utilisé avait été sélectionné par Leica : au sommet la cible, munie de prismes visible de six stations dans les vallées, reposant sur un trépied spécialement conçu par la firme, son poids ne dépassait pas dix kilos et se composait de deux éléments en aluminium et d'un ancrage en acier inoxydable dans la glace, il était surmonté d'une station GPS, le système Wild GPS 200, quatre stations GPS du même type étaient positionnées sur des sites dans les vallées. On utilisa les signaux des 18 satellites GPS Navstar. Les deux méthodes employées, GPS et nivellement trigonométrique, donnèrent le même résultat. La méthode photogrammétrique fut également utilisée. Les photos prises par les alpinistes sur le sommet permirent la reconstitution tridimensionnelle de la situation du sommet au moment des mesures, le traitement et l'intégration de toutes ces valeurs a permis l'affinement des mesures et leurs certifications.

On fête aujourd'hui les 150 ans de la première mesure anglaise de James Nicolson et le traitement des données de l'ancienne British India Survey. À l'époque les mesures avaient été effectuées par triangulation verticale à partir de six points éloignés de plus de 150 km du sommet. Il n'était pas encore question de différence entre géoïde et ellipsoïde, ni des déviations de la verticale cau-

sées par la masse de la chaîne himalayenne, ni des effets de la réfraction de l'atmosphère.

Mais la rage de mesure des sommets du monde ne s'arrêta pas là puisqu'une nouvelle mesure du K2 eut lieu

en 1996, avec de nouveaux concepts et un matériel performant. Le réseau de base se composait d'un triangle : deux points ancrés dans la roche et un point sur la moraine du glacier Goldwin Austen. Le point sur la moraine était couplé à un point de connexion situé à 98 km au K2 Motel, à Skardu, coté dans le réseau altimétrique de l'office national de cartographie du Pakistan. À ce point la hauteur de l'ellipsoïde est à 2222,583 m. Une mesure GPS de 30 heures a établi la connexion entre le K2 Motel et le point de la moraine a une hauteur de 4934,338 m. La différence moyenne de hauteur entre

le réseau de triangulation et le sommet s'élevait à 3656,920 m, ce qui amène une altitude de 8591,528 m à partir de l'ellipsoïde et, en tenant compte d'une épaisseur de neige de 2,22 m, et une différence ellipsoïde/géoïde de 25,23 m (selon la NASA/DMA 1996 Global Geoïde), le sommet du K2 est situé à 8614,27 m +/- 0,6 m au-dessus du niveau moyen de la mer dans le golfe du Bengale.

(D'après un article de REPORTER 41, le magazine de Leica Geosystems – Avril 1999).



Mario Panzeri au sommet du K2

Photo Leica Geosystems

TOPOCOM Le carnet intelligent

<http://www.technipipe.com/topographie.html>
Tél: 06 09 06 37 97



TRANSFORME VOTRE ANCIENNE STATION
EN UNE MACHINE HAUTES PERFORMANCES
Des menus qui parlent "Topo"
Tous calculs en chaîne en temps réel
Implantations automatisées
Levés optimisés
Compatibilité Excel et AutoCAD
PLATE-FORME : HP200LX - console trépied
PACK DE CONNEXION PC
Gestion : 50 000 points minimum
Autonomie : 1 mois/2 piles bâton
Existe en Version spéciale « servomoteurs »



PixEdit est un éditeur de fichiers raster pour le
scannage de grands plans, cartes, cadastre, A0 et
plus : dessin modifications impression archivage.
Version téléchargeable, tarifs et descriptif sur :

<http://www.pixedit.net>

AFT INTERNATIONAL

semaine de travail

FIG WORKING WEEK 1999

Michel Mayoud - Président du CFR-FIG

LIEU DE LA RENCONTRE

La FIG WW 99 s'est tenue en Afrique du Sud, en un curieux endroit nommé « Sun City » et situé à environ 160 km au Nord-Ouest de Johannesburg. Il s'agit d'un mini Las Vegas d'assez mauvais goût, composé de trois hôtels et d'un « Centre d'Amusement » (Entertainment Centre), où des familles entières et nombre de désœuvrés viennent perdre stupidement leur argent : plus de 1000 machines à sous (bandits pas si manchots que cela...) et toutes sortes de jeux payants sur le site, et bien sûr un casino. Cette désolante pompe à fric appartient à une richissime personne, et elle abrite accessoirement un « Convention Centre » caché parmi les jeux, magasins, bars et restaurants – juste après le cinéma porno ! Pas du tout l'endroit pour découvrir le Pays et son peuple...

Le Comité Français de Représentation à la FIG (CFR-FIG) était représenté par B. Bour et J.-C. Landry pour l'OGE, et par l'auteur de ce rapport pour l'AFT – lequel terminait là son mandat (tournant) de Président du CFR-FIG. Nicolas Paparoditis (IGN/ESGT) et deux collègues exposants de Sercel/Dassault complétaient la présence française.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ET RÉUNIONS CONNEXES

Lors d'une réunion plénière tenue le 22 avril, le Bureau puis l'ensemble du CFR-FIG avait pris position sur les différents points de l'ordre du jour. En conséquence des décisions statutaires du congrès de Brighton et en raison de l'évolution imposée à la FIG par les tenants des systèmes anglo-saxons d'organisation (type RICS), nous étions amicalement convenus de nous doter de deux voix par le découplage des adhésions OGE et AFT. Cela est maintenant entériné par la FIG : les deux organismes adhérent et cotisent séparément en leur nom – mais ils continuent à se coordonner via le CFR-FIG.



De gauche à droite : Michel Mayoud - Présid. comm. 6
Peter Dale - Présid. FIG, Bernard Bour - OGE et J. Smith - RICS

L'évolution non souhaitée continue, d'autres sortes de « surveyors » se présentent et sont admises – alors que ces métiers très différents ont déjà leurs propres organisations internationales : une association Anglaise comportant essentiellement des économistes de la construction et une association Nigérienne de métreurs. Nous avons eu néanmoins le plaisir d'accueillir une nouvelle et authentique association de géomètres : celle de la Palestine.

La politique de rapprochements et d'accords internationaux du Bureau Anglais – dont c'était la dernière Assemblée Générale – est de la même veine et s'adresse essentiellement au business de la construction et de la vente ou de la gestion des biens (ententes avec FIABCI, ICEC, CIB) en s'éloignant de la technique (relâchement avec ICSU, rupture avec IUSM). Néanmoins, une réflexion collective est engagée quant à la gestion et au fonctionnement de la FIG pour le futur, et de nouvelles orientations sont à espérer sous la conduite prochaine du Bureau Américain puis Allemand. Nous retrouvons là des analyses et des sensibilités plus proches de nos réflexions sur ces diverses questions.

Le CFR-FIG n'a pas voté les augmentations de cotisation telles que définies à Brighton, puisque cela n'avantage essentiellement que la RICS – dans ce concept bric-à-brac de « surveyors » à tout faire qui est totalement inadéquat pour les autres et qui ne peuvent de ce fait augmenter de la même manière leurs représentations nationales. Nous nous sommes aussi répartis dans les sous-groupes de travail discutant les recommandations des « task forces » (Groupes sous-représentés, Standards, Reconnaissance mutuelle des qualifications, Développement soutenable) – avec une vigilance particulière sur les tendances « régionales » dans ces discussions. L'Assemblée Générale a enfin choisi la Grèce comme hôte de la future FIG WW 2004, au détriment de la Hollande et de la Suède – bons perdants et probablement à nouveau candidats pour le prochain choix.

SESSIONS TECHNIQUES

Toutes les commissions ont eu le plus grand mal à composer un programme, par le fait d'une très faible implication des professionnels locaux et d'une plus grande absence de participants des autres continents (distance, prix, choix des lieux, etc.). J'ai dû annuler des sessions de la Commission 6 et préparer à la hâte une présentation technique pour meubler des déficiences... Même si les participants français s'avouaient très mitigés sur ce qu'ils ont suivi, quelques communications remarquables – dont celle de Nicolas Paparoditis – sont venues rehausser ce constat. Notre collègue et ami Jean-Marie Becker (Président de la Commission 5) et son vice-président Matt Higgins ont en effet réussi à regrouper un ensemble cohérent et intéressant de papiers.

GROUPE FRANCOPHONE

Si la participation hexagonale était faible, celle des francophones d'autres pays l'était tout autant... Nous avons eu néanmoins le plaisir de rencontrer des col-

lègues francophones de Belgique, d'Italie, de Slovaquie, du Burkina Faso. Le repas prévu s'est finalement complété avec nos collègues Grecs, pour une soirée amicalement méditerranéenne.

FUTUR ET RENCONTRES À VENIR

La FIG ne se résume heureusement pas à ses Assemblées Générales et au Symposium qui lui est associé, dont les réussites sont diverses, selon les thèmes choisis, selon les organisateurs, mais aussi en fonction de bon nombre de paramètres aléatoires... Sa mission est d'organiser des rencontres techniques, et on y trouve davantage son bonheur dans les colloques, séminaires et conférences organisées par les Groupe de Travail des commissions, souvent en collaboration avec d'autres organismes nationaux et internationaux.

Pour savoir ce qui s'y passe, consultez le « FIG TREE » (figuier) sur le web, en pointant sur Erreur! Signet non défini.

Vous y trouverez toute l'information utile et divers liens, y compris celui avec le Groupe Francophone.

NDLR : Site internet du Groupe Francophone :
<http://www.cern.ch/cern/divisions/est/su/groupefrancophone/qff.htm>



Rollei
fototechnic
MSR



Logiciel de redressement numérique d'images

- Logiciel 32 bits fonctionnant sous Windows 95/98/NT
- Utilise des clichés numériques jusqu'à 16 millions de couleurs provenant de :
 - Caméras numériques
 - Photo CD
 - Caméras argentiques métriques/non métriques, numérisés à l'aide de :
 - * Scanners de diapos/négatifs
 - * Scanners de bureau à plat
- Assemblage en mosaïques jusqu'à 100 plans et/ou 100 photos avec 4 à 32 points de calage par plan
- Fonctions de mesure de coordonnées, surfaces, polygones dans l'image redressée
- Report à l'échelle sur imprimante laser ou imprimante/traceur à jet d'encre avec ou sans cotation

MAURY INFORMATIQUE - 1, résidence Avel Mor - 56250 SAINT-NOLFF
Tél./Fax : (33) 297 45 42 65 - E-mail : mauryinfo@csi.com

aménagement foncier urbain en Afrique francophone

colloque régional des professionnels africains

**OUAGADOUGOU
20/23 AVRIL 1999**

Un colloque : "aménagement foncier urbain et gouvernance locale en Afrique francophone" a été organisé par le Centre des Nations Unies pour les Etablissements Humains (CNUEH) par sa section "habitat". On sait que des problèmes spécifiques se posent en Afrique sur la propriété des sols, son aménagement et son organisation. Les lois des anciennes colonies et les droits coutumiers ancestraux créent des situations partout différentes, souvent inextricables, et qu'on ne peut résoudre sans démocratie parce que c'est l'essence même des populations dont il est question. Les pays étudiés pour le colloque étaient : Bénin, Burkina-Faso, Cameroun, RD du Congo, Côte d'Ivoire, Guinée-Conakry, Mali, Niger, Sénégal, Tchad.

Les études de cas permettent d'individualiser trois groupes de pays : 1- les pays où il n'y a pas de politique de décentralisation (Niger, RD du Congo)... 2- les pays où une décentralisation amorcée a été bloquée (Guinée, Tchad). 3- les pays où une décentralisation est en cours (Côte d'Ivoire, Mali, Sénégal, Burkina-Faso, Bénin).

Il apparaît que, pour avoir négligé de prendre en compte le lien étroit entre les conditions d'appropriation et d'usage des sols et l'exercice de l'autorité, les tentatives de réformes se sont souvent avérées peu efficaces et même inapplicables. Les politiques foncières étatistes et centralisées sont peu opérantes et paralysent souvent une véritable politique d'aménagement foncier. L'État résiste à transférer au niveau local, seul en connaissance des problèmes pratiques, la mise en œuvre d'une réforme admise et applicable.

Cependant il apparaît que la mise en œuvre d'une politique de décentralisation se met en place dans plusieurs pays depuis environ trois années.

Les professionnels de l'aménagement sont bien entendu les premiers concernés et les premiers acteurs de cette politique, et, au premier chef les urbanistes, les géomètres, les topographes. Or, les résistances et les blocages n'ont pas de justifications techniques, urbanistiques ou même politiques, mais viennent principalement des agents en charge de la gestion foncière au sein des administrations de l'État. Une distinction doit donc être faite clairement entre les aménageurs et les géomètres.

On distingue différents niveaux d'organisation de la profession : 1- les pays où les professionnels sont peu organisés (RD du Congo, Niger, Guinée, Cameroun), 2- pays où ils sont en cours de structuration (Bénin, Burkina-Faso, Tchad, et 3- pays où les organisations sont formellement reconnues et organisées (Sénégal, Mali, Côte d'Ivoire).

Dans plusieurs pays les aménageurs et géomètres restent dépendants de l'arbitraire du pouvoir central (validations obligatoires des services publics etc.) ce qui bloque le développement de la profession trop soumise aux "bons contacts" avec les administrations qui s'approprient une part consistante du marché.

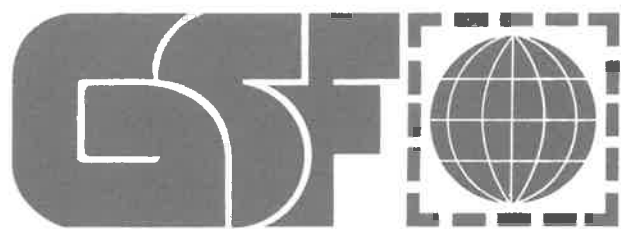
Il sera donc souhaitable d'adopter un cadre légal et réglementaire qui garantisse le bon exercice des professions et en particulier celle de géomètre, c'est-à-dire : clarifier les attributions et les responsabilités, structurer la profession et favoriser la formation de bureaux d'études et de cabinets. Par contre l'état doit assurer la création et l'entretien de réseaux géodésiques et la mise en place de SIG régulièrement mis à jour ainsi qu'assurer la formation.

La spécificité africaine, dans presque tous les pays est que, traditionnellement, les États ou les communes doivent négocier avec les propriétaires coutumiers les conditions de libération des terrains, il n'y a pas de règles mais seulement des pratiques avec des rapports de force. C'est pourquoi le rôle que joue l'État dans la gestion foncière est au cœur de toute réflexion. Il faut trouver les voies et les moyens d'une politique d'aménagement foncier respectueuse de l'Histoire et des traditions de chaque pays et de chaque ville, et que cela se fasse dans la médiation et surtout la transparence.

Le colloque avait pour objectifs l'analyse et l'échange des expériences en cours, l'étude du rôle des professions intervenantes et leur développement, la formulation d'un programme de suivi permettant de définir la poursuite de la coopération internationale.

Le rapport final et l'engagement des professionnels ont été diffusés à la session de la commission des Etablissements Humains en mai à Nairobi, il sera présenté au forum International sur la réduction de la pauvreté Urbaine à Yamoussoukro le 12/15 octobre et à la session spéciale de l'Assemblée Générale des Nations-Unies en 2001.

la page de **Géomètres Sans Frontières**



Du soleil par télécopie

à partager avec des gens formidables

« Je suis bien arrivé à Ouaga. Je n'ai pas eu de problème pour franchir la douane avec le matériel. Tout le matériel marche bien. Je tiens à vous remercier... ».

Quelques mots sur le télécopieur du matin, en provenance du Burkina Faso.

Ils réchauffent le cœur en attendant de savoir avec un peu plus de recul comment la formation complémentaire reçue par notre ami Burkinabé (cf. XYZ n° 79) a été mise à profit.

Dans les deux mois qui ont suivi le départ de notre étudiant, plusieurs demandes de formation sont parvenues à Géomètres Sans Frontières, dont une particulièrement interrogatrice qui a transité par l'AFT : un groupe de quinze élèves topographes du Bénin voit ses cours théoriques suspendus brutalement et risque de se trouver dans l'incapacité de terminer sa formation technique commencée il y a un an.

Le côté collectif de cette demande retient l'attention du bureau de GSF tout en ayant conscience de la faiblesse de nos moyens : comment envisager le déplacement éventuel d'un professionnel féru d'enseignement et assurer sa subsistance sur place pour aider ces élèves désemparés ?

Une bonne fée devait veiller sur l'association depuis la région Lyonnaise... où un groupe de 25 professionnels avait en effet créé il y a 15 ans une association sous forme de club d'utilisateurs de logiciels informatiques, association tombée doucement en sommeil lorsque l'offre informatique s'est stabilisée peu à peu.

Est-ce le Prince charmant Béninois qui a doucement éveillé l'endormie ? Toujours est-il que les adhérents ayant décidé tout récemment de liquider ladite association ont fait don du solde bancaire à Géomètres Sans Frontières et cette somme n'est pas négligeable puisqu'elle ouvre la possibilité d'un voyage et d'un séjour de quelques semaines pour un professeur bénévole.

Sans présager de l'évolution de cette mission, dont nous attendons de plus amples informations, merci Messieurs de tout cœur pour votre don généreux qui nous donne l'immense pouvoir d'attraper la main qui se tend vers nous.

Ce soleil Lyonnais réchauffe autant notre cœur que le message reçu de Ouagadougou et nous serions bien mesquins, au bureau, de ne pas remercier tous ceux qui aident Géomètres Sans Frontières en leur faisant partager ce petit moment de chaleur...

Adhésion 1999 à Géomètres Sans Frontières :

(à adresser au 15 rue Joyeuse – 18 000 BOURGES)

Nom : Prénom :

Adresse :

Membre adhérent : 300 francs

Membre sympathisant : 200 francs

Membre bienfaiteur : 500 francs

Étudiant : 100 francs

Montant de ma cotisation :

Fait à : Le :

AFT

section alsace moselle



Le 31 mai 1999, une délégation mixte composée de membres de la Section régionale Alsace-Moselle de l'AFT et d'étudiants de deuxième année de la section Topographie de l'ENSAIS s'est rendue à Bâle pour y visiter le Service du cadastre (*cf. annonce parue dans le n° 79 de XYZ*). M. Messmer, directeur du Service, et l'ensemble de ses collaborateurs ont accueilli notre groupe d'une trentaine de personnes auxquelles trois heures de présentations consacrées au fonctionnement du service et au développement des applications informatiques ont été proposées.

Les missions du service sont multiples, de sorte que de nombreuses disciplines sont sollicitées. Elles couvrent des domaines aussi classiques que la Mensuration officielle (c.-à-d. l'arpentage), le registre foncier, le cadastre des conduites souterraines, l'évaluation foncière et immobilière ou le plan officiel de la ville, s'ouvrent aux techniques actuelles avec les modèles tridimensionnels urbains, la gestion d'une photothèque ou l'utilisation d'orthophotos et leur combinaison avec d'autres types de données. Nous avons aussi appris que le service était responsable de la gestion du registre des bateaux naviguant en haute mer sous pavillon suisse (ils ne sont plus guère qu'une vingtaine).

Bien entendu, la gestion de données de types et de provenances diverses a été au cœur de plusieurs présentations, s'agissant d'un thème essentiel auquel le service accorde une importance toute particulière. Ainsi, la

Visite du cadastre du canton de Bâle-Ville

Olivier REIS
et Pierre GRUSSENMEYER

longue expérience acquise avec le cadastre des conduites souterraines, dont l'origine à Bâle remonte à 1913 et qui implique des échanges de données fréquents entre divers partenaires, a été mise au service de l'établissement de recommandations puis plus récemment d'une norme suisse relative aux informations géographiques des conduites souterraines (disponible en allemand et en français). L'importance de l'échange et plus encore de la diffusion d'informations s'est encore accrue avec l'introduction de la « Nouvelle Gestion Publique » dans le cadre de laquelle le Service du cadastre joue le rôle de service pilote. Des objectifs sont négociés avec l'administration de tutelle et le Service s'engage à les tenir à échéance d'une ou de plusieurs années. Le Service y gagne une plus grande marge de manœuvre dans sa gestion quotidienne, mais est soumis à des impératifs de productivité et de rentabilité concrétisés par la publication régulière des résultats financiers.

La grande maîtrise acquise dans la gestion des données de toutes natures (des photos aériennes sur support argentique aux orthophotos numériques) se traduit également par des combinaisons de plusieurs types de données. Les plans cadastraux, récents ou plus anciens (à caractère historique), sont ainsi associés avec des orthophotos. Le développement de modèles tridimensionnels du paysage urbain (incluant la configuration détaillée des toitures) et leur association avec le plan de la ville permettent de calculer des modèles photos réalistes animés pour l'ensemble du territoire dont le Service a la charge et par conséquent de simuler l'impact de nouveaux projets.

Tous les membres de notre délégation ont été vivement intéressés par cette visite et en ont retiré un grand profit, tout spécialement les étudiants qui ont pu découvrir le fonctionnement d'un service topographique d'une grande ville, étrangère qui plus est, ses attributions et les moyens dont il dispose pour les atteindre.

Enfin, les orateurs s'étant tous exprimés en allemand lors de cette visite, Olivier Reis a endossé le rôle d'interprète.

SUZUKI

GRAND VITARA

3 portes

à partir de

107 800F_{TTC}

NOUVEAU

- Moteur 1.6 L • 16 soupapes
- 94 CV DIN • 7 CV fiscaux
- Direction assistée
- Coussins gonflables de sécurité passager et conducteur
- Lève-vitres électriques
- Peinture métal
- Jantes aluminium



GARANTIE 3 ANS

OU 100 000 KM PAR SUZUKI FRANCE

**SUZUKI
FINANCE**

**SUZUKI
ASSURANCE**

**36 15
SUZUKI**
2,23 F la minute

Visitez
nos concessions

SUZUKI

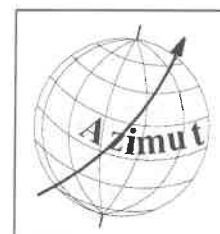
AUTOMOBILES

SUZUKI FRANCE • TÉL. 01 34 82 14 00 • FAX 01 34 82 80 76

The Foundation

MicroStation

for Enterprise
Engineering Modeling



AZIMUT

MicroStation J[®] et tous les logiciels Bentley
topographie, géocodification, CARTO200, MNT, profils
digitalisation DXF-CADASTRE, cartographie, SIG
formation agréée FAF PL
internet/intranet
support, configuration, paramétrage

**MICROSTATION
SYNERGY
PARTNER**

The Foundation

MicroStation

for Enterprise
Engineering Modeling



Donnez le bon cap à votre informatique !

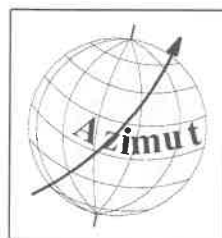
JC Fischer 305 route de Schirmeck 67831 STRASBOURG-TANNERIES Tél. : 03 88 78 40 50 Fax : 03 88 78 42 29

JM Arsac Quartier Souliès 83440 SAINT-PAUL-EN-FORET

Tél : 04 94 39 06 61 Fax : 04 94 39 06 71

www.azimut.fr

info@azimut.fr

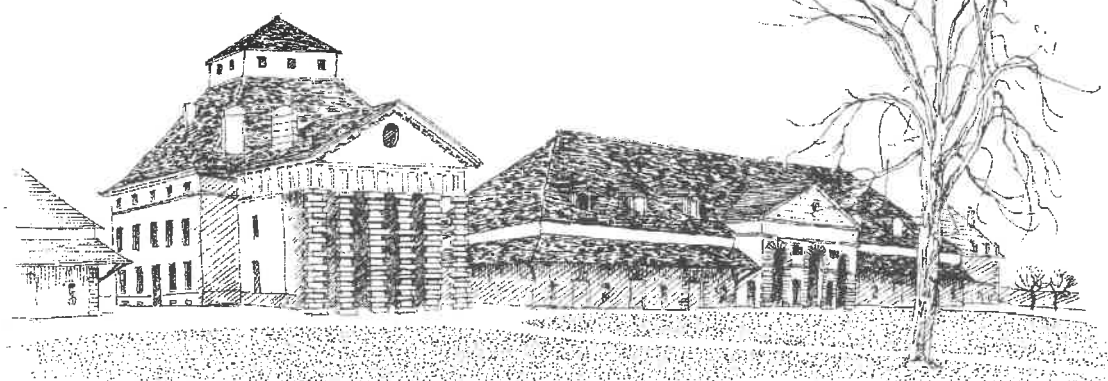


revenir à arc-et-senans

l'histoire
de
la
cartographie

est toujours un plaisir

Dominique Vinot



Encore plus quand l'occasion nous est offerte d'y visiter l'exposition coproduite par l'Institut Claude-Nicolas Ledoux et la Cité des Sciences et de l'Industrie.

DESSINER LE MONDE... DE L'AQUARELLE AU PIXEL...

- L'AFT vous invite à ce détour sur la route de vos vacances, pour y apprécier l'exceptionnelle présentation qui y est faite de l'histoire de la cartographie, du 27 avril au 31 octobre 1999.

- Le cadre clair et harmonieux de ces grands bâtiments se prête bien à une telle exposition qui fait le point sur une discipline, née il y a 4000 ans du désir de découvrir et reproduire le monde.

- Sur cette imposante surface de 1000 m², c'est un véritable parcours initiatique qui nous est proposé.

- Modeste initié, j'ai pu pendant deux heures parcourir le long chemin qui nous a conduits des gravures anciennes aux images satellite actuelles, et je ne peux qu'inviter nos lecteurs de tous âges et de toutes formations à suivre ce périple, tout à la fois scientifique et artistique.

- Nos plus sincères remerciements aux services d'information et de presse de l'Institut Claude-Nicolas Ledoux, en la personne de Madame Bizouard-Cardot, qui a mis à notre disposition, outre la documentation, une collaboration aussi aimable que compétente pour la présentation de cette exposition.

- Ajoutons enfin que les documents ne sont pas seulement statiques, mais que de nombreux modules informatiques sont accessibles à tous, permettant de se retrouver tant dans les systèmes de projection que dans les S.I.G. qui nous sont maintenant familiers.

- Vos enfants seront passionnés, et ils apprendront même à utiliser le G.P.S.



Salines-royales d'arc-et-senans

25610 Arc-et-Senans

Tous les jours juillet et août
de 9 heures à 19 heures.

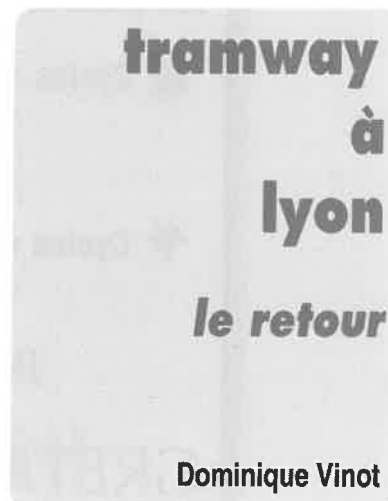
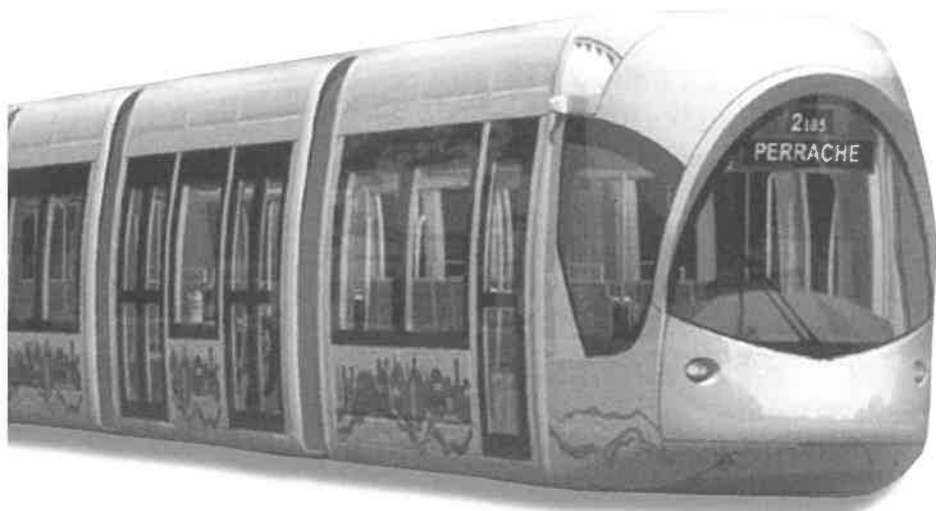
Septembre et octobre
de 9 heures à 12 heures
et de 14 heures à 18 heures.

Informations :
Tél. 0381 544545



L'exposition se transportera à Paris, Cité des Sciences-la Villette, le 21 décembre 1999, jusqu'en avril 2000.

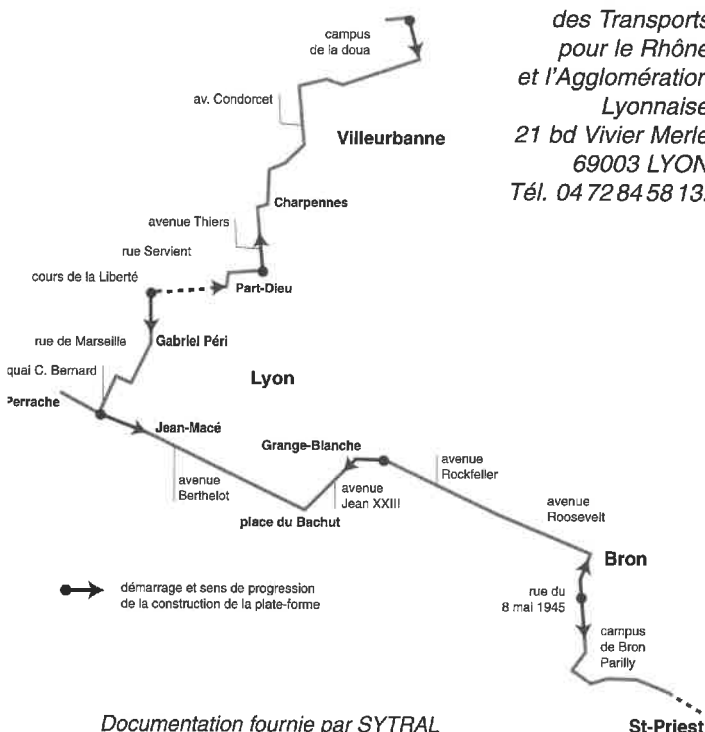
Le voyageur qui arrive à Perrache ou à la Part Dieu ne pourra pas l'ignorer. Encore moins s'il circule dans les principales artères de la ville. Les travaux de



construction de deux lignes de tramway entrepris par le SYTRAL sont menés avec rapidité. Simultanément aux opérations de déviation des réseaux, l'aménagement des rues, le coulage de la plate-forme et la pose des rails interviennent en différents points des itinéraires.

C'est à un véritable remodelage du paysage urbain que les usagers de la communauté rhodanienne vont assister, l'année 2000 verra leur réseau renouer avec un mode de transport moderne et efficace.

SYTRAL
SYndicat mixte
des Transports
pour le Rhône
et l'Agglomération
Lyonnaise
21 bd Vivier Merle
69003 LYON
Tél. 04 72 84 58 13.



Documentation fournie par SYTRAL

L'AFT vous propose un premier coup d'œil sur ces travaux, dont une présentation a été faite lors de la dernière foire de Lyon, comprenant notamment une maquette grandeur nature d'une rame et d'une station...

Rendez-vous pour une prochaine visite lors des essais et mises en service...



Photos AFT



Qualifiez des jeunes de moins de 26 ans !

CYCLES DE FORMATION CONTINUE EN ALTERNANCE DE NIVEAU III
pour jeunes en contrat de qualification ou salariés en congé de formation.

✱ **Cycles diplômants de 18 à 24 mois : BTS**

Aide Conducteur de Travaux - Bâtiment et TP
Economiste de la Construction
Géomètre-Topographe

✱ **Cycles qualifiants de 9 à 12 mois : BTS**

Dessinateur Option CAO/DAO Bâtiment et Topographie

INSCRIPTIONS ET RENSEIGNEMENTS :



GRETA Nîmes Camargue
48 bis, rue de Générac - 30900 NIMES
Tél. : 04 66 84 76 64

Fermeture pour congé du 23 juillet au 24 août 1999

TeraVue
TeraVue-Ortho

Télédétection
Cartographie numérique
Ortho-rectification

Des outils performants pour traiter les données de
satellite, pour rectifier les photographies aériennes



Prix : 3800F

**Editions
de la
Boyère**

Immeuble Ophira 2, 630 Route des Dolines
06560 - Valbonne - France
Tel 33 (0)4 93 65 26 86 , Fax 33 (0)4 92 96 08 80
Courrier : teravue@compuserve.com

la page 4 X 4

Robert Chevalier

ISUZU « TROOPER » un vrai 4 X 4



ISUZU créé en 1916, est un des plus anciens constructeurs automobiles japonais. Cette marque est peu connue en France, puisque jusqu'à ce jour elle n'importait pas ses véhicules, mais tous ceux qui ont participé à de grands travaux, sur des chantiers difficiles dans les pays à infrastructure routière réduite connaissent bien les camions de cette firme.

Ceux-ci se sont rapidement imposés comme une des meilleures alternatives à la succession des incontournables G.M.C. de la dernière guerre, réputés dans les T.P. pour leur robustesse et leur efficacité.

ISUZU produit depuis longtemps le TROOPER, qui est maintenant importé dans l'hexagone. Les lecteurs d'XYZ qui prennent la peine de lire cette page ont compris depuis longtemps que ce marché se divise en deux catégories : les petits 4X4 polyvalents, plutôt tous-chemins (ce n'est pas péjoratif !) et les vrais 4X4 de franchissement, recherchés par les professionnels du hors piste. Ceux-ci ont été longtemps traités davantage comme des engins à tout faire, plutôt rustiques, mais la tendance est maintenant orientée vers des véhicules capables de faire aussi de la route dans de bonnes conditions, avec un équipement de berline.

Le TROOPER entre totalement dans cette définition.

Il est proposé en châssis court, 3 portes et en châssis long, 5 portes.

Deux motorisations : d'abord et ce sera sans doute la plus prisée :

- un **turbo-diesel** de 3 litres, 4 cylindres, 16 soupapes pourvu de l'indispensable et moderne Injection directe électronique intégrale (Common Rail). Il permet une vitesse de 160 km/h avec une consommation moyenne

de 10,9 l (ville/route). Il est à noter à ce propos que les consommations en tous-terrains ne sont jamais indiquées pour ce genre de véhicule, on comprendra que celles-ci varient considérablement selon le travail demandé. La puissance est de 159 CV (12 CV fiscaux) au régime exceptionnellement bas de 3 900 t/m, avec un compte de 340 Nm à 200 t/m, particulièrement important,

- l'autre moteur est un **V6 essence** de 3,5 l et 215 CV, qui par son niveau d'équipement (et son prix) se positionne parmi les tous-terrains de luxe. La bourse de nos collègues géomètres n'étant pas celle d'un émir, on peut penser que ce n'est pas cette version qui les attirera. La transmission du TROOPER est du type 4X4 non permanent permettant sur route de réduire la consommation et les bruits de roulement. Dès que l'adhérence devient précaire, elle bénéficie du système « shift on the fly » permettant en pressant un bouton au tableau de bord, d'enclencher les 4 roues motrices, tout en roulant (en dessous de 100 km/h et en ligne droite). L'aptitude au tout-terrain est valorisée par un robuste châssis composé de 2 longerons et 5 traverses et par son train à roues indépendantes, alors que l'essieu AR, rigide est guidé par une suspension à plusieurs bras avec des ressorts hélicoïdaux progressifs permettant des débattements importants, indispensables au franchissement des terrains accidentés. Celui-ci est en outre facilité par un rapport de réduction de 2,05 l en gamme courte, par une garde au sol de 210 mm. et par des angles d'attaque de 40° et de fuite de 31°.

Ajoutons une capacité de remorquage de 3 300 kg et une habitabilité remarquable pour 5 adultes et leurs bagages (profondeur de coffre = 0,75 m en 3 portes, 1,00 m en 5 portes). Il existe en outre un coffre supplémentaire sous la banquette AR (rabattable 1/3, 2/3) permettant de charger du petit matériel. Le dossier de celle-ci offre la particularité de s'incliner selon 11 réglages différents.

La direction est assistée, tandis que le freinage est assuré par 4 grands disques ventilés (2 tonnes à arrêter !). Gageons que le TROOPER fera honneur à la réputation de la marque. Il devrait conjuguer un bon agrément en déplacement routier à une aptitude marquée pour un usage professionnel intensif.

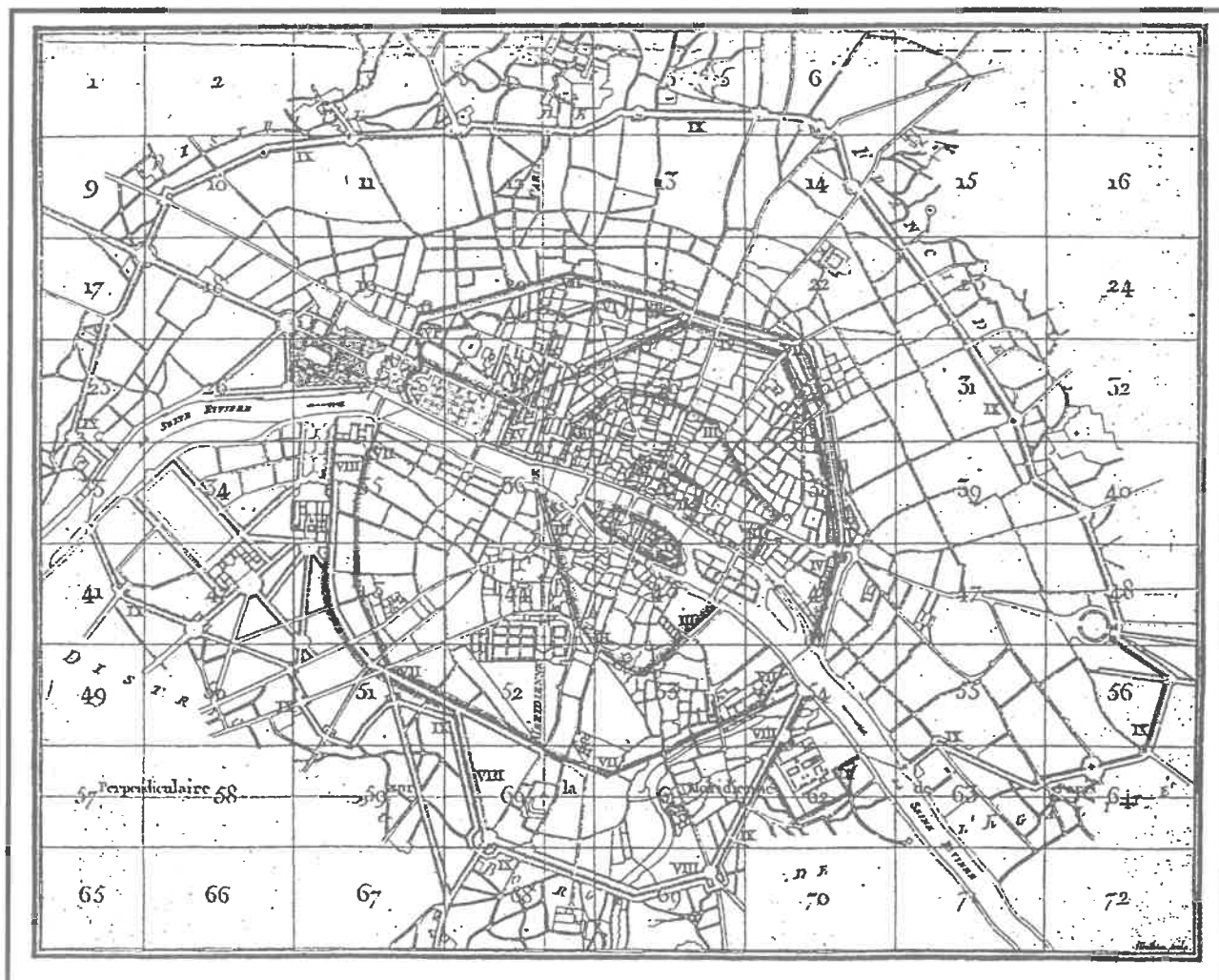
Trois niveaux de finition. Premiers prix (déjà très bien équipés), Turbo-Diesel :

- 149 500 F en 3 portes (126 866 HT en V. U.)
- 169 000 F en 5 portes (144 196 HT en V. U.)

Science
 Littérature
LES LIVRES
 Technique

Jack Biquand

■ Le dessus des cartes : un atlas parisien



« Atlas du plan général de la ville de Paris, levé géométriquement par le citoyen Verniquet 1796 »

Les cartes d'aujourd'hui sont filles des cartes d'hier, c'est à cette évolution que s'est attachée une exposition créée par le Pavillon de l'Arsenal, qui se tient au premier étage de ce lieu jusqu'au 3 octobre, sur le thème : « le dessus des cartes : un atlas parisien », avec le concours de la BNF et de la ville de Paris.

Depuis Lutèce jusqu'au sourire qui orne le flanc des autobus, le visage du plan de Paris nous est familier, de Philippe Auguste à la RATP ! Et c'est plus vrai qu'on le croit quand on est convaincu que la carte est le reflet de l'histoire et de la vie, la projection (sans jeu de mots) de la culture d'une époque. La réalité passe, la carte reste, comme toute œuvre de créateur.

Cette exposition récolte cinq siècles de cartographie parisienne, saisissant la réalité qui change tout en restant présente par la lumière qu'elle a apportée de l'image disparue. C'est poétiquement dit, et pourrait laisser penser que nous sommes loin de la rigueur mathématique dont la carte doit être l'unique maîtresse. Il n'en est bien sûr pas ainsi puisque la carte s'adapte et se transforme pour de nouveaux usages, s'enrichissant de nouvelles méthodes, superposant les connaissances et les savoirs.

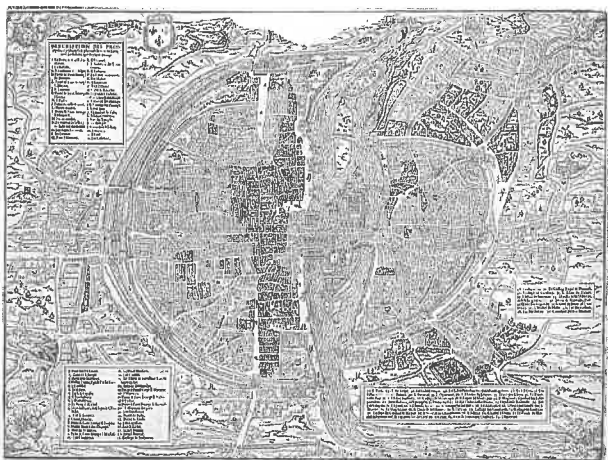
C'est l'histoire que nous propose l'exposition en illustrant l'évolution qui fait qu'insensiblement change la forme d'une ville, pourquoi et comment. De notre repré-

sentation du réel dépend notre capacité à changer les choses, ainsi de la carte qui, aujourd'hui, peut se comporter comme une abstraction si nous la manipulons sur notre écran, et nous livrer les secrets que le graphisme nous aurait dissimulé, qui peut aussi nous révéler l'avenir et ce que nous désirons en faire.

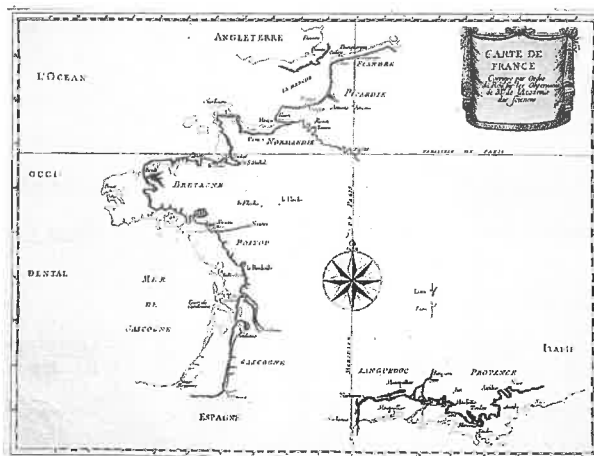
Le parcours de cette exposition est étonnant par sa conception déambulatoire et son architecture insolite et convaincante. Une sorte d'éclatement organise les cinq grands thèmes, mais sans parcours obligé. Un grand moment est celui, très symbolique, où le visiteur est placé sur la passerelle qui le situe entre deux événements majeurs : la carte de Paris que le citoyen Verniquet établit en 1796, et l'immense tableau informatique qui visualise en direct les flux de circulation dans Paris. Deux siècles qui ont changé l'odeur de la capitale, du crottin de cheval au gazoil des chevaux-vapeur.

Cette mise en scène remarquable est de l'architecte Pierre-Louis Faloci sur les conceptions de Jean-Paul Robert, architecte journaliste, et de l'ingénieur des P et C architecte et historien, Antoine Picon. Ces deux derniers sont également les auteurs du livre qui donne le titre de cette exposition.

288 pages, 243 illustrations, format 19x30 cm, éditions du Pavillon de l'Arsenal, Picard éditeur (juin 99), prix 330 F.



La ville, cité, université et faubourg de Paris
François de Belleforest - 1575 - BNF



Carte de France corrigée par ordre du roy sur les observations
des Messieurs de l'Académie des Sciences - 1693 - BNF

ÉVÈNEMENT

**« L'Éclipse est arrivée
pour saluer la fin du millénaire »
Où exactement ?**

AU CARROUSEL DU LOUVRE
Fossé Charles V

L'IGN en partenariat avec l'Institut de Mécanique Céleste et de calcul des Ephémérides (Observatoire de Paris/Bureau des Longitudes - CNRS) expose au sol à partir du 14 juillet une carte géante :

233 cartes à l'échelle du 1/25 000 - 1 cm = 250 m, représentant la bande de centralité de l'éclipse. De Cherbourg à Strasbourg, elle s'est étendue sur 30 m d'Ouest en Est et sur 5 m du Nord au Sud.



■ Dictionnaire technique multilingue de la FIG

Ce dictionnaire réunit les termes relatifs aux travaux géodésiques, topographiques et cartographiques, en langue allemande, avec les équivalents en anglais et en français. Ce travail important de terminologie est très apprécié des spécialistes internationaux. Ce vaste ouvrage a été commencé à la fin des années 60 et une première édition « provisoire » est parue en 1971, sous les auspices d'un « Bureau permanent du Dictionnaire Multilingue » dirigé par le professeur H. Seeger, président de « Bundesamt für Kartographie und Geodäsie » (Stauffenberg Strasse 13 DE - 10785 - Berlin).

La contribution française à cette œuvre est importante, un « Comité de traduction » a été constitué par les bilingues Français-Allemand : Louis Tschaen et Pierre Grussenmeyer (ancien et nouveau professeurs à l'ENSAIS), René Koecher, Lucien Faber, Michel Klopfenstein, Victor Kieffer et Roger Schaffner, rejoint par les collègues de la SMAF : P. Gfeller, R. Fasel, J.-R. Amstein et H. Dupraz, pour les termes spécifiques utilisés en Suisse Romande.

Le dictionnaire comportera au final 15 volumes qui, vu l'ampleur et la diversité du travail, paraissent en désordre.

Voici un tableau de l'état actuel de l'ouvrage :

DICTIONNAIRE MULTILINGUE DE LA FIG Échéancier et tableau de charge (Situation au 1^{er} novembre 1998)				
Band/Volume	État d'avancement Fin prévue	Spécialité	Nbre de termes	Prise en charge et coordination
1 - Ausgleichsrechnung	Attente	Calcul de compensation		CNFGG et I.G.N. MM. BOUCHER - WILLIS
2 - Erdmessung	Attente	Géodésie		A.F.T. M. TSCHAEN
3 - Grundlagenvermessung	Terminé	Établissement des réseaux de base	570	A.F.T. MM. TSCHAEN - SCHAFFNER
4 - Katastervermessung und Liegenschaftskataster	IMPRIMÉ IMPRIMÉ	Cadastre parcellaire et levés cadastraux	894	A.F.T. M. SCHAFFNER consult. S.V.V.K.
5 - Geodätische Instrumente	IMPRIMÉ	Instruments géodésiques	974	A.F.T. M. TSCHAEN consult. S.V.V.K.
6 - Topographie	IMPRIMÉ	Topographie	529	A.F.T. MM. TSCHAEN - FABER consult. S.V.V.K.
7 - Photogrammetrie	En cours 30/04/99	Photogrammétrie	1 150	A.F.T. M. GRUSSENMEYER M. GILLIERON E.P.F.L. et S.V.V.K.
8 - Kartographie	Attente	Cartographie		C.F.C. MM. PLANQUES - ROUBERTOU consult. S.V.V.K.
9 - Photographie	—	Photographie	—	(Matière abandonnée)
10 - Ingenieurvermessung	IMPRIMÉ	Topométrie industrielle génie civil	381	A.F.T. M. FABER consult. S.V.V.K.
11 - Seevermessung	Terminé	Levées hydrographiques	380	S.H.O.M. MM. BOURGOIN - ROUBERTOU A.F.T. MM. TSCHAEN - SCHAFFNER
12 - Markscheidewesen	IMPRIMÉ	Topométrie souterraine	1 190	A.F.T. MM. KIEFFER - SCHAFFNER
13 - Grundstückswertermittlung	IMPRIMÉ	Évaluation financière	337	O.G.E. M. KLOPFENSTEIN consult. S.V.V.K.
14 - Flurbereinigung	IMPRIMÉ	Remembrement	262	A.F.T. M. KOECHER consult. S.V.V.K.
15 - Stadt-und Regionalplanung	IMPRIMÉ	Planification urbaine et régionale	498	O.G.E. M. KLOPFENSTEIN consult. S.V.V.K.
16 - Datenverarbeitung	—	Exploitation des données	—	(Matière abandonnée)
17 - Allgemeines	En cours	Généralités (formation, etc.)	650	A.F.T. MM. TSCHAEN - SCHAFFNER consult. S.V.V.K.

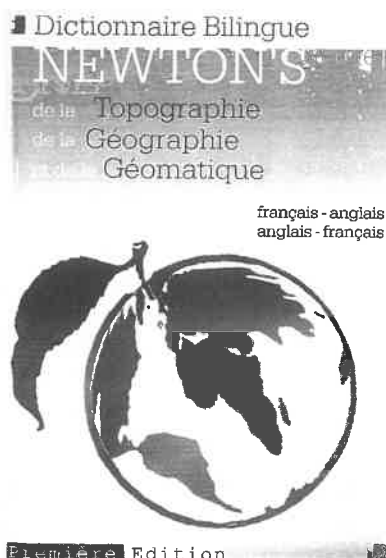
Un avion pour immortaliser l'éclipse.

Le 11 août, une éclipse totale de soleil a traversé l'Europe d'ouest en est. Il s'agit de la dernière éclipse du millénaire visible en France métropolitaine. Le CNRS tenait donc à capturer cette image de science, quelles que soient les conditions météorologiques. Le jour J, trois caméras embarquées à bord d'un Mystère 20, avion de recherche atmosphérique de l'Institut Géographique National (IGN) affrété par l'Institut national des sciences de l'univers (INSU) du CNRS, permettra à France 2 de retransmettre les images de l'éclipse lors d'une émission spéciale.

■ Newton's

Dictionnaire bilingue Français-Anglais, Anglais-Français, de la Topographie, de la Géographie et de la Géomatique

La venue de la géomatique, des SIG, du GPS et d'appareils électroniques qui, de plus en plus, intègrent des logiciels informatiques à leur fonctionnement pose un sérieux problème pour le géomètre moderne : la nécessité de maîtriser l'anglais technique.



La solution tient en un outil simple et pratique : Newton's Dictionnaire bilingue Français-Anglais, Anglais-Français, de la Topographie, de la Géographie et de la Géomatique.

Voici le fruit de plus de cinq années de compilation de termes techniques relatifs aux métiers de géomètre-topographe, de cartographe et aux nombreux domaines annexes (les SIG, le GPS, la géodésie, la métrologie, la télédétection, la photogrammétrie, l'urbanisme, le cadastre, les BTP, le génie civil, la géographie, etc.)

Il ne s'agit pas d'un simple glossaire qui n'offrirait qu'une traduction par terme, car en plus de sa richesse (plus de six mille termes), ce dictionnaire propose au lecteur un choix de traductions selon le contexte, avec des annotations qui le guideront vers le bon terme. Il contient plusieurs entrées par terme composé afin de faciliter les recherches.

Le lecteur trouvera à la fin de l'ouvrage deux chapitres indispensables aux gens du métier : un sur les nombres, poids et mesures, comprenant des tables de conversion entre le système anglo-saxon et le système métrique, et un autre qui consiste en une liste complète de tous les pays du monde (actualisée en décembre 1997), précisant le type de régime.

L'objectif essentiel de cet ouvrage est d'offrir aux professionnels et aux étudiants un recueil bilingue le plus exhaustif possible à un prix abordable. Son prix est de 470 francs. Il se présente en format A4, avec une couverture souple, lavable.

Disponible uniquement par correspondance :
Newton : 81 rue Crozatier - 75012 Paris
Tél. et fax : 01 43 43 45 13

■ Nouveautés IGN

SÉRIE DÉCOUVERTE RÉGIONALES



Limousin 1 : 200 000

6 routes particulières sont balisées : St Jacques de Compostelle, Ventadour, Richard Cœur de Lion, Marches du Quercy, Georges Sand, Haut Limousin.

Au recto : carte touristique avec informations sur les loisirs de plein air et les loisirs culturels.

Au verso : carte routière et administrative et liste des communes des trois départements composant le limousin : Corrèze, Creuse et Haute Vienne.

Prix : 35 FTC
(5,34 euros)



L'art roman dans le Massif Central 1 : 500 000

Plus de 250 curiosités du patrimoine exceptionnel de l'art roman sont recensées sur cette carte : églises, cloître... linteaux, statues...

Une version « lumineuse » au 1 : 200 000 est exposée à l'espace Art Roman, à la maison du Tourisme de Clermont-Ferrand.

Prix : 35 FTC (5,34 euros)

SÉRIE FRANCE THÉMATIQUE

Jardins de France

La carte IGN 917, au nom bucolique « Jardins de France » a été réalisée en étroite collaboration avec le Conservatoire des Jardins et Paysages.

Le Conservatoire a fourni le positionnement exact de plus de 400 parcs et jardins classés par département. Ils sont référencés avec leur adresse, leur numéro de téléphone et leur spécificité. Chaque jardin est identifiable par un pictogramme thématique : Orangerie, serre, jardin d'eau, jardin alpin ou de rocaille, jardin botanique d'orient ou à l'anglaise...

15 catégories de styles de jardins sont répertoriées au dos de la carte.

Prix : 29 FTC (4,42 euros)

SÉRIE CULTURE ET ENVIRONNEMENT

Parc naturel régional du Luberon 1 : 60 000

Carte touristique de l'Espace et du Patrimoine Culturel, naturel ou paysager. Information, accueil, loisirs de plein air, produits du terroir, tout y est répertorié et explicité :

Bon à savoir, bon à lire, le Lubéron à vélo, les vins des côtes du Lubéron, les produits régionaux, les marchés paysans...

Un guide complet pour découvrir et aimer cette magnifique région de France.

Prix : 16 FTC (7,01 euros)

■ Michelin services de Tourisme : Changement de nom pour 1999 !



Nées avec l'automobile, les éditions Michelin conseillent et accompagnent le voyageur dans ses déplacements depuis bientôt un siècle. Elles sont aujourd'hui leaders de l'édition touristique en France et en Europe.

Afin d'affirmer cette position, Michelin a décidé de regrouper ses services Cartes et Guides, la Télématic et le Numérique sous une seule et nouvelle appellation.

Michelin™ Éditions du Voyage

Ce nouveau nom positionne clairement cette activité sur le marché de l'édition et des voyages et lui donne une identité propre, tout en maintenant l'appartenance au Groupe Michelin, leader mondial du pneumatique.

Au sein d'une seule entité, le voyageur trouve ainsi aujourd'hui une solution adaptée à tous ses déplacements :

- les cartes trajets routiers,
- le Guide Rouge pour les étapes
- les Guides Verts, Néos et Escapades pour les loisirs,
- le service d'aide au voyage, le Minitel et Internet pour préparer par avance son itinéraire,
- les systèmes de navigation embarquée pour le guidage à temps réel.

Sur papier ou sur écran, en France ou à travers le monde,

les conseils de Bibendum sont une référence connue et reconnue.

La confiance y répond à la compétence.

C'est désormais sous cette signature qu'ils seront dispensés :

Michelin™ Éditions Voyages

NOUVEAU : Paris plan poche Michelin

Ou comment s'offrir la capitale pour 15 F seulement. Le nouveau plan PARIS MICHELIN format 8 x 15 cm fera la joie des quelque 23 millions de touristes qui visitent Paris chaque année...

■ Les Éclipses du Soleil

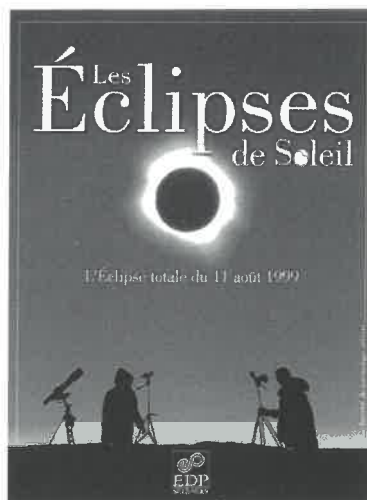
L'Éclipse totale du 11 août 1999. Par l'Institut de mécanique céleste, Observatoire de Paris

Le 11 août, visible de l'Atlantique Nord jusqu'en Inde, en passant par la France, se produira pour ce siècle, la dernière éclipse du soleil.

Le lecteur néophyte ou astronome amateur, découvrira dans ces pages l'indispensable à la compréhension du phénomène, encore mystérieux pour le plus grand nombre, d'une éclipse de Soleil. Histoire, physique solaire, mécanique céleste et calcul prédictif, cartes et tableaux pour la France et l'étranger... Tous les détails aptes à satisfaire sa curiosité et lui permettre de se trouver au bon endroit au bon moment.

Et, pour que cette journée profite à tous, de nombreux conseils, tant techniques que pratiques, y sont développés, conseils d'observation bien sûr, et de protection oculaire en particulier.

Alors, en simple promeneur ou observateur avisé, curieux ou passionné, rendez-vous le 11 août 1999, sous le soleil. Attention, la prochaine Éclipse totale en France n'aura lieu qu'en 2081 !



Édition EDP SCIENCES

■ Signalons à nos lecteurs, l'article « *La naissance du satellite héliosynchrone* », de notre ami R. Genty (traduit par J. Hamon) dans la revue *La Météorologie*, n° 25 - mars 1999.

■ Les Éclipses Totales

Histoires Découvertes Observations

par P. Guillemer - S. Koutchmy
avec la participation de la SAF

Le spectacle d'une éclipse totale de Soleil est grandiose. Par une extraordinaire coïncidence, la Lune est 400 fois plus petite que le Soleil, mais aussi 400 fois plus proche de la terre. Elle peut donc cacher complètement le Soleil pendant un bref instant.

Mais, en un lieu donné de la terre ce phénomène se produit environ une fois tous les 370 ans. Ce spectacle est donc très rare. La vocation essentielle de ce livre peut donner à tous l'envie d'être témoin des prochaines éclipses de Soleil et de Lune. Dans un langage clair et vivant, cet ouvrage passe d'abord en revue les mythes et les légendes liés aux éclipses au fil des siècles. Il explique ensuite simplement les mécanismes célestes qui régissent ces phénomènes et, au-delà de la beauté du spectacle, la moisson d'informations que les éclipses apportent aux scientifiques.

Pierre Guillemer est ingénieur en physique nucléaire.

Serge Koutchmy est astrophysicien à l'Institut d'Astrophysique de Paris, CNRS.

Masson Éditeur - 185 F