

XYZ

61

Association  
Française de  
Topographie



# 3<sup>e</sup> CITOP

CONFÉRENCE  
INTERNATIONALE  
SUR LA  
TOPOGRAPHIE

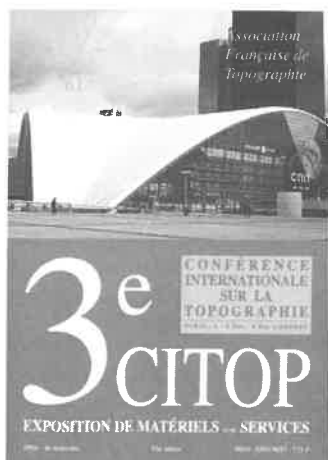
PARIS : 6 - 8 Déc. 9 Dec LONDRES

EXPOSITION DE MATÉRIELS ET DE SERVICES

1994 - 4<sup>e</sup> trimestre

16<sup>e</sup> année

ISSN 0290 9057 - 125 F



# Revue de l'Association Française de Topographie

**136 bis, rue de Grenelle  
75700 PARIS 07 SP**

**Tél. : 43.98.84.80**

**Fax : 47.53.07.10**

**PERMANENCE :**

**10 h - 12 h : MARDI  
VENREDI**

**ISSN 0290 - 9057**

*Trimestriel - le numéro : 125 F.  
Abonnement d'un an : France Europe  
(voie terrestre) : 470 F.  
Etranger (avion, frais compris) : 490 F.  
Les règlements payés par chèques  
payables sur une banque située hors  
de France doivent être majorés de 40 F.  
L'AFT n'est pas responsable des opi-  
nions émises dans les conférences  
qu'elle organise ou les articles qu'elle  
publie.*

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

**1994 4<sup>e</sup> trimestre**

## N° 61 SOMMAIRE

### DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

• André BAILLY

### REDACTEUR EN CHEF

• Michel SAUTREAU

### COMITE DE LA REVUE

• André BAILLY - Ingénieur ETP

• Jean BOURGOIN - Ingénieur  
Général Hydrographe ER

• Michel SAUTREAU - Directeur  
Div. honoraire - Cadastre

• Robert VINCENT - Ingénieur ECP

• Robert CHEVALIER - G.-Exp. DPLG

### COMITE DE LECTURE

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

### MAQUETTE ET MONTAGE

• Jack BIQUAND

### PUBLICITE

• Robert CHEVALIER

### ABONNEMENTS

• Mme CABANETTES

### CORRECTEUR

• Jean-Marie THIRIET

### COMPOSITION

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

### IMPRIMERIE MODERNE

USHA

AURILLAC 15001  
Tél. : 71.63.44.60

- LA 3 <sup>e</sup> CITOP	
• Plans d'accès aux conférences et à l'exposition .....	3
• Les conférences : dates, horaires et intervenants .....	5
• Les exposants par numéro et alphabétique .....	6
• Plan de l'exposition et situation des exposants .....	7
• Sur le stand de l'AFT (117) .....	8
• L'Association Française de Topographie .....	10
- INFO-TOPO	
• L'actualité topographique du trimestre, informations, annonces et bloc-notes .....	13
- GPS	
• Détermination précise des altitudes relatives et absolues par la méthode GPS par Eric DOERFLINGER .....	25
- LIBRES PROPOS	
• Géométrie et Géodésie par André FONTAINE .....	30
- DANS LA PROFESSION	
• FIG, commission 4 "hydrographie", XX <sup>e</sup> congrès, compte-rendu par Wilfried SCHLEIDER .....	35
• FIG, extension de la représentation de la France et adhésion à la FIG .....	41
• Résumé de thèse de doctorat de Pierre GRUSSENMEYER (contrôle géométrique de la saisie en photogrammétrie) .....	41
• TOPO C entre sur le circuit propos recueillis par XYZ .....	43
• Le pont de Normandie : montage des voussoirs métalliques par Ph. GROSSO et F. SAINT-SULPICE .....	47
• La page de "Géomètres Sans Frontières" .....	50
- SCIENCES ET TECHNIQUES	
• SAF : Ephémérides astronomiques 1995 - Utilisation en topographie (en encarté)	
• "CAPSY", le théodolite laissé sur place par le laser .....	51
- CAUSERIE HISTORIQUE	
• Eppure, si muove ! ou à propos de Galilée par Robert VINCENT .....	53
- HISTOIRE	
• Sciences géographiques, connaissances du monde et conception de l'univers dans l'antiquité. Suite du chapitre 10 : "l'œuvre astronomique d'Hipparque" (en encarté) par Raymond d'HOLLANDER	
- L'ART - LES LIVRES .....	69
- L'ART de VIVRE	
• Récréation mathématique par Michel SAUTREAU .....	76
- Les annonces AFT, recherches d'emplois et offres .....	20
- Annonceurs .....	34

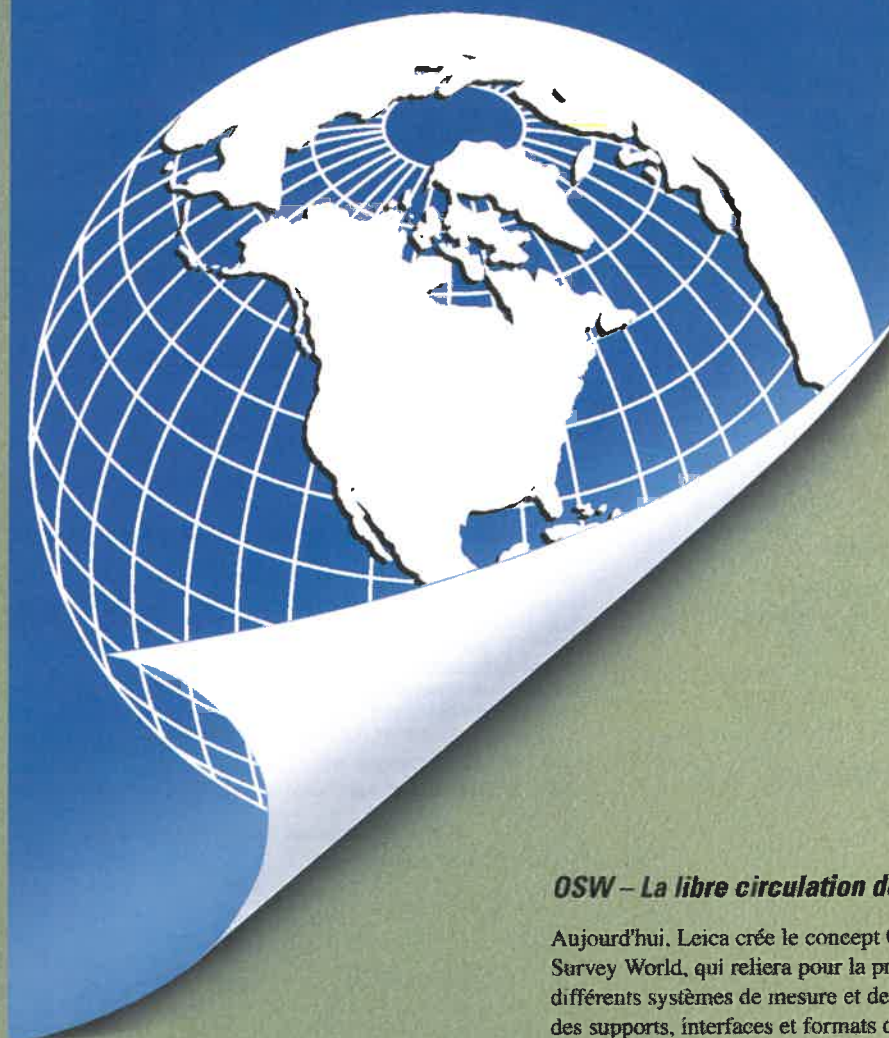
Le douzième chapitre du "Lexique Topographique", "photogrammétrie", paraîtra dans le prochain numéro de XYZ (62), le 15 février 1995. Les onze chapitres précédents seront présents à la CITOP au stand de l'AFT (117).



*Open Survey World ...*

*... et le monde de l'information géographique s'ouvre à vous!*

# OSW



## ***OSW – La libre circulation des données***

Aujourd'hui, Leica crée le concept OSW, Open Survey World, qui reliera pour la première fois différents systèmes de mesure et de traitement par des supports, interfaces et formats de données identiques. Avec OSW, les données s'exporteront librement vers votre système de traitement. Avec OSW, stations totales et GPS dialogueront enfin!

Si vous ne pouvez pas attendre le 6 décembre prochain, contactez-nous !

GEO 54 94

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

**Leica**

# 3<sup>ème</sup> CONFÉRENCE INTERNATIONALE sur la TOPOGRAPHIE

15ème anniversaire de l'A.F.T.

Paris - 6, 7 & 8/12/1994

London - 8 & 9/12/1994

GÉODÉSIE ET TOPOMÉTRIE  
DES GRANDS PROJETS LINÉAIRES  
GEODESY AND ENGINEERING  
SURVEY OF LARGE LINEAR PROJECTS

## Organisateurs / Organisers



Association Française de Topographie (A.F.T.)  
Royal Institution of Chartered Surveyors (R.I.C.S.)



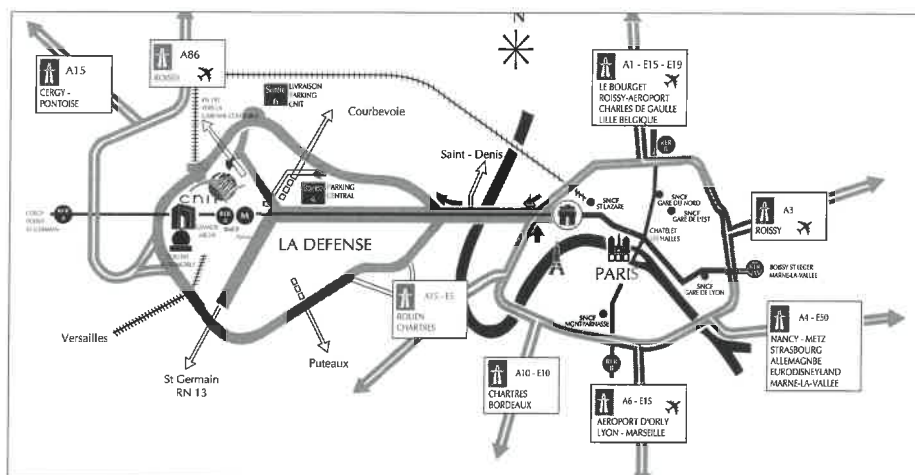
## Patronages Nationaux / National Patrons

Ministère de l'Équipement, des Transports & du Tourisme (M.E.T.T. Paris)  
Direction de l'Aménagement du Territoire et de l'Action Régionale (D.A.T.A.R.)  
Fédération Nationale des Travaux Publics (F.N.T.P. Paris)  
Comité National de l'Information Géographique (C.N.I.G., Paris)  
Institution of Civil Engineers (I.C.E.S./I.C.E., Joint Engineering Survey Board, London) Ordnance Survey

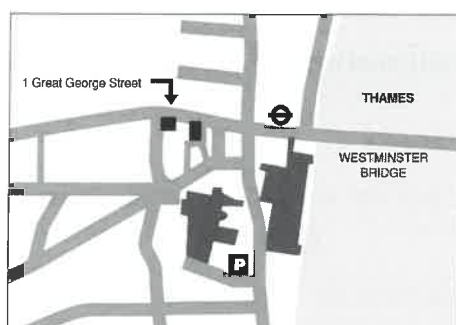
## Patronages Internationaux / International Patrons

Association Internationale de Géodésie (A.I.G.)  
Special Commission on Application of Geodesy to Engineering  
Fédération Internationale des Géomètres (F.I.G.) Commissions 5 & 6

## PARIS : PLAN D'ACCES CNIT



## LONDRES : PLAN D'ACCES A LA SESSION BRITANNIQUE



**Que vous soyez  
un professionnel  
de la Topographie**



**Que vous soyez  
un utilisateur  
de la Topographie**

- Bureaux d'Etudes
- Cabinets de Géomètres - Experts
- Services Publics
- Enseignement spécialisé
- Conception et diffusion de produits et matériels topographiques...

- Maître d'œuvre
- Services Techniques des villes
- Entreprises de Travaux Publics
- Architectes
- Urbanistes
- Industriels
- Organismes fonciers et d'aménagement...

## **VOUS TROUVEREZ RÉUNIS AU SEIN DE L'ASSOCIATION FRANÇAISE DE TOPOGRAPHIE (L'A.F.T.)**

*Tous les professionnels et utilisateurs, des techniques de la topographie,  
de la géodésie, de la photogrammétrie, de la topométrie, de l'hydrographie,  
de la cartographie, de la métrologie,  
des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG)...*

### **EN ADHÉRANT**

à cette association, vous serez en contact direct avec tous les intervenants de la topographie.

### **EN PLUS :**

vous participerez à l'action et au soutien de la profession.

### **A TRAVERS :**

ses publications (une revue trimestrielle : XYZ,  
un annuaire professionnel, des brochures...)

### **GRACE À :**

ses manifestations (colloques, rencontres, congrès nationaux et internationaux, journées d'études...)

————— Pour être informé sur la vie de la profession et ses techniques —————

**ADHÉREZ :**



**A.F.T. : 136 bis rue de Grenelle - 75700 PARIS 07 SP**

**Tél. : 43 98 84 80 - Fax : 47 53 07 10**



PARIS LE CNIT : CONFERENCES (Avec interprétation simultanée)

6/12/1994 - 10h00

SÉANCE D'OUVERTURE - OPENING SESSION

**Président 3ème CITOP : J. Chapon**, Ing. général des Ponts & Chaussées, F  
Allocutions Présidents AFT et RICS  
Allocutions parrains nationaux (CNIG) et Internationaux (AIG, FIG)

GÉODÉSIE DES GRANDS PROJETS LINÉAIRES - GEODESY OF LARGE LINEAR PROJECTS

**Présidence C. Boucher**, IGN, Secrétaire général de l'AIG, F  
**C. Boucher, P. Willis**, IGN-LAREG, F  
*L'Unification des Références géodésiques : l'Exemple du Tunnel sous la Manche*  
**A. Carosio, O. Reis**, ETH Zurich, CH  
*Méthodes géodésiques et Modèles mathématiques pour l'implantation des nouvelles Transversales alpines*

GRANDS PROJETS FERROVIAIRES - LARGE RAILWAY PROJECTS

**Second FIG "Open Rail" Session (Working Group 6B)**  
**Présidence Dr. T. Engel**, CFF, Lausanne, CH  
**M. Leroy**, SNCF, Lyon, F  
*Pose de la Voie sur ligne à grande Vitesse*  
**M. Menu**, Tuc-Rail, Bruxelles, B  
*Applications géodésiques et topographiques de Tuc-Rail dans le Projet TGV*  
**L. Gründig**, Inst. für Geodäsie & Photogrammetrie, Berlin, D  
*Computation and Management of Geometrical and Topological Data for Railways*  
**S. Lunden, M.-L. Lundgren**, Swedish Nat. Rail Administration, Borlänge, S  
*Establishing and Using the National Network along the Swedish Railways*  
**J. Bahndorf**, Institut für Anwendungen der Geodäsie im Bauwesen, Stuttgart, D  
*Automated Determination of the Elements of an Existing Track Alignment*

7/12/1994 - 8h30

IMPLANTATIONS EN TUNNEL - SURVEYING OF TUNNEL INFRASTRUCTURES

**Présidence Prof. Dr. Ing. L. Gründig**, Institut für Geodäsie & Photogrammetrie, Berlin, D

**F. Dupont**, Eurotunnel / Setec T.P.I. Coquelles, F  
*Installation des Infrastructures et Equipements fixes*  
**J. M. Joseph**, Setec, St-Jean-de-Maurienne, F  
*Eurotunnel : Topographie après la Jonction du Tunnel de Service*  
**C. Eymard**, Bouygues, F  
*Mise en place de la Voie définitive dans les Tunnels ferroviaires sous la Manche*  
**H. R. Riesen**, Riesen & Stettler AG, Schönbühl-Urtenen, CH  
*L'Implantation de la Voie à  $\pm 1$  mm de Précision dans le Tunnel CFF du Graubolz-un Record ?*

STABILITÉ DES OUVRAGES - SURVEYING OF CONSTRUCTIONS

**Présidence Prof. Dr Ing. K. Linkwitz**, Institut für Anwendungen der Geodäsie im Bauwesen, Stuttgart, D  
**K. Linkwitz, H.-J. Möncke**, Institut für Anwendungen der Geodäsie im Bauwesen, Stuttgart, D  
*Geodetic Measurements for Control of the Dynamic of Bridges*  
**M. Hofman, R. Molendijk**, Survey Department of Rijkswaterstaat, Delft, NL  
*Monitoring the Storm-Surge Barrier in the Oosterschelde*

DISTRIBUTION DE SERVICES - DISTRIBUTION OF SERVICES

**Présidence J. Bourgoin**, Ingénieur général de l'Armement (Hydrographie), F  
**J. P. Farrow, D.E.B. Jones**, Thames Water Utilities, Middlesex, GB  
*The Thames Water Ring Main*  
**R. Salvador**, France-Télécom, F  
*Câbles sous-marins de Télécommunication et Topographie : Reconnaissance des Tracés et Exécution des Travaux de Pose et de Réparation*  
**M. Thimouy**, EDF-CERT, F  
*Etudes topographiques associées aux Lignes électriques THT.*

8/12/1994 - 8h30

UTILISATION DE L'IMAGERIE NUMERIQUE - USE OF DIGITAL IMAGES

**Présidence P. Maurel**, Spot-Image, F  
**P. Maurel**, Spot-Image, F  
*Contributions de l'Imagerie satellitaire aux Etudes d'Avant-Projet*  
**M. Taylor**, Ima-Geo, Nortech Surveys, C  
*DVG : Un Système aéroporté de Saisie de Données géographiques tridimensionnelles pour Projets d'Ingénierie linéaires*

LONDRES - INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS, 1 GREAT GEORGE STREET, WESTMINSTER  
CONFERENCES (Avec interprétation simultanée)

8/12/1994 - 18h00

OPENING SESSION - SEANCE D'OUVERTURE

**Chairman Dr A. L. Allan**, University College London, GB  
**D. Hill**, Divisional President of RICS, welcome adress  
**M. Mayoud**, CERN, Genève, CH  
*The High Precision Metrology of Quasi-Linear Networks*

9/12/1994 - 9h30

SESSIONS 1 & 2

**Chairman D. Hill**, President L & HS Div. RICS, London, GB  
**J. Humphrey**, Brown & Root Civil, London, GB  
*Great Man-Made River Project*  
**G. T. Johnston, R. Evans**, Racal Survey Ltd, GB  
*Surveying the World's Deepest Undersea Pipeline Route: the 1000 km Oman-India Gas Pipeline*  
**O. Katowski**, Leica AT, CH  
*Precision Monitoring of Large Linear Projects with Automatic*

*Monitoring Systems*  
**M. May**, London Underground, GB  
*Jubilee Line Extension. Control of Surveying Activities along the Project*

SESSIONS 3 & 4

**Chairman I.C.D. Fugeman**, Costain Engineering & Construction Ltd, GB  
**C. Calvert**, Ordnance Survey, GB  
*The Difference in Height between the French and British Levelling Datums*  
**V. Ashkenazi**, University of Nottingham, GB  
*Is the Impact of GPS on Surveys for Engineering Projects a Blessing or a Curse?*  
**M.A.R. Cooper**, City University, London, GB, & **F.J. Leahy**, University of Melbourne, AUS  
*Kinematic Control for Linear Route Mapping*  
**K. Egger**, Walter Schneider Ltd, Chur, CH  
*The Survey of the Gotthard Base Tunnel*

## LISTE DES SOCIÉTÉS EXPOSANTES PAR NUMÉRO

1	UNISYS
2	COLLINET
3	COLLINET
4	3 IG
5	UNISYS
6	COLLINET
7	COLLINET
8	JS INFO
9	NIKON
9bis	MGI
10	SINTEGRA
11	BOLIVIA
12	ATLOG--ELEXSYS
13	ALSOFT
13bis	BAYOT-MOTOROLA
14	TRIMBLE
15	NIKON
16	STAR INFORMATIC
17	SETAM INFORMATIQUE
17bis	TOPO CENTER
18	BAECHLER
18bis	TOPO CENTER
19	GEOMEDIA
20	EMD SAT
21	GEOIDE SYSTEMES
22	GEOTRONICS
23	CARL ZEISS
24	CARL ZEISS
25	DIAPRINT
26	INBC SYSTEMES
27	TELLURA
28	SOFT CONSTRUCT
29	GEOTRONICS
30	CARL ZEISS
31	LEICA
32	LEICA
33	PENTAX
33bis	CORALIS
34	TOPCON-SLOM
35	TOPCON-SLOM
36	EUROSENSE
37	CONSULT INFRA
38	LEICA
39	LEICA
40	TECHMATION
41	EUROBORNE
42	SOROSPACE
43	MATRA
44	TOPO LASERS
45	MAURY INFORMATIQUE
45bis	GEOTECH
46	MESURES ET SYSTEMES
47	FAYNOT
48	VILLE de PARIS
49	GEOID
50	SPECTRA PHYSICS
51	de SCHUTTER
51bis	ECOLE CHEZ SOI
52	MESURES ET SYSTEMES
53	AEROTOPO
54	G5 TECHNOLOGY
55	BSP LINE
56	GEOMETRI-INFORMATIQUE

57	FOGALE NANOTECH
59	SOKKIA-SETP
60	SOKKIA-ASA
61	RADIODETECTION
62	GEOIMAGE, IMAGEO, NORTECH
101	SITES
102	CADASTRE (SNDC)
103	SNCF
104	IGN et SPOT IMAGE
105	IGN et SPOT IMAGE
106	ORTEA
107	ORTEA
108	SITES
109	EDF
110	EDF
111	EDF
112	EDF
113	EDF
114	EDF
115	EDF
116	EDF
117	AFT
118	DOREL
Véhicules :	
122	NISSAN FRANCE
123	ARO FRANCE

## LISTE ALPHABÉTIQUE DES SOCIÉTÉS EXPOSANTES

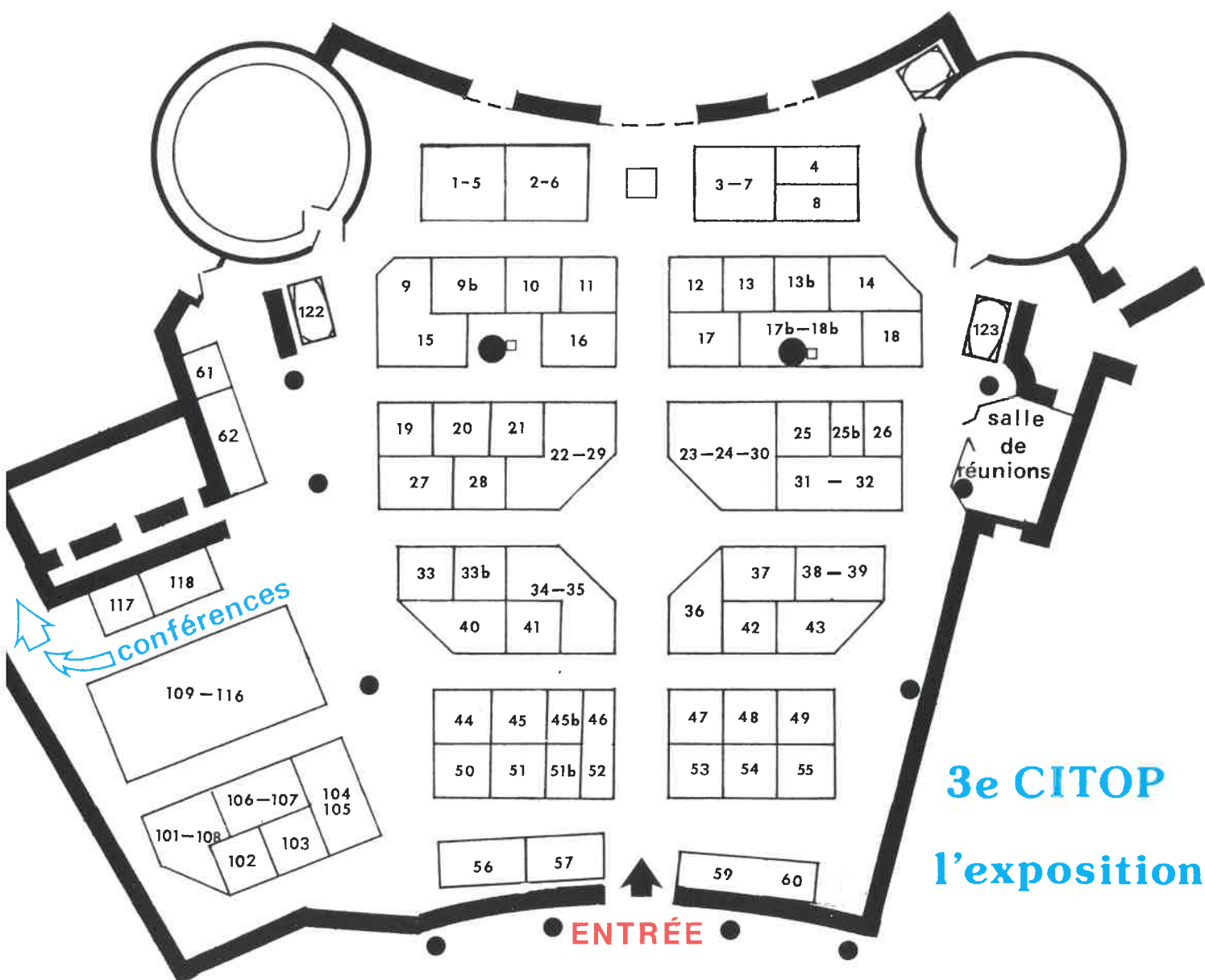
AEROTOPO (53)  
 AFT (117)  
 ALSOFT (13)  
 ARO FRANCE (121)  
 ATLOG (12)  
  
 BAECHLER (18)  
 BAYOT-MOTOROLA (136)  
 BOLIVIA (11)  
 BSP LINE (55)  
 CADASTRE (SNDC) (102)  
 CARL ZEISS (23-24-30)  
 CGP (13bis)  
 COLLINET ((2-3-6-7)  
 CONSULT INFRA (37)  
 CORALIS (33bis)  
 DIAPRINT (25)  
 DOREL (118)  
 ECOLE CHEZ SOI (51bis)  
 EDF (109 à 116)  
 ELEXSYS (12)  
 EMD SAT (20)  
 EUROBORNE (41)  
 EUROSENSE (36)  
 FAYNOT (47)  
 FOGALE NANOTECH (57)  
 G5 TECHNOLOGY (54)  
 GEOID (49)  
 GEOIDE SYSTEMES (21)  
 GEOIMAGE (62)  
 GEOMEDIA (19)  
 GEOMETRI-INFORMATIQUE (56)  
 GEOTECH (45bis)  
 GEOTRONICS (22-29)  
 IGN (104-105)



IMAGEO (62)  
 INBC SYSTEMES (26)  
 JS INFO (8)  
 LAND ROVER (123)  
 LEICA (31-32-38-39)  
 LE PONT EQUIPEMENTS (48)  
 MATRA (43)  
 MAURY INFORMATIQUE (45)  
 MESURES ET SYSTEMES (46-52)  
 MGI (9bis)  
 NIKON (9-15)  
 NISSAN FRANCE (122)  
 NORTECH Canada (62)  
 ORTEA (106-107)  
 PARIS VILLE de (48)  
 PENTAX (33)  
 RADIODETECTION (61)  
 de SCHUTTER (51)

SETAM INFORMATIQUE (17)  
 SETP (59)  
 SINTEGRA (10)  
 SITES (101-108)  
 SNCF (103)  
 SOFT CONSTRUCT (28)  
 SOKKIA (59-60)  
 SOROSPACE (42)  
 SPECTRA PHYSICS (50)  
 SPOT-IMAGE (104-105)  
 STAR INFORMATIC (16)  
 TECHMATION (40)  
 TELLURA (27)  
 TOPCON-SLOM (34-35)  
 TOPO CENTER (17bis-18bis)  
 TOPO LASERS (44)  
 TRIMBLE (14)  
 3 IG (4)  
 UNISYS (1-5)

Voir également les panneaux installés sur murs et cloisons  
où d'autres sociétés annoncent leurs produits, matériels et services.





## SUR LE STAND DE L'AFT

### LA REVUE XYZ

Tirée à plus de 3 000 exemplaires, c'est la revue trimestrielle de l'association. Chaque numéro apporte les informations d'actualités sur la profession dans une chronique "Info-Topo" qui passe au crible la vie topographique. Les produits nouveaux sont décrits et disséqués, en liaison avec les entreprises et les professionnels.

Des articles théoriques et techniques, souvent signés de noms prestigieux, enrichissent les connaissances topographiques, et des rubriques GPS et SIG donnent chaque trimestre l'état des techniques et du marché.

Les interventions dans les conférences et les colloques organisés par l'AFT sont publiées dans la revue.

L'histoire également tient sa place dans une chronique régulière, et comme notre profession se perd dans la nuit des temps, la richesse des textes est souvent passionnante.

Dans "l'art, les livres" et "l'art de vivre" vous trouverez, souvent en liaison avec la topographie, la détente alliée à la littérature et à l'art.

### L'ASTROLABE - LES ASTROLABES DU MUSÉE PAUL DUPUY DE TOULOUSE

Raymond d'Hollander a fait toute sa carrière à l'IGN et il a dirigé l'Ecole Nationale des Sciences Géographiques de 1971 à 1980 - Il signe là un ouvrage important dont le double titre est justifié parce qu'il présente d'abord l'astrolabe planisphérique classique en général avec sa prodigieuse histoire, son principe, son mode de construction, ses multiples utilisations ; à ce titre il constitue une véritable encyclopédie de tous les problèmes d'ordre astronomique, astrologique, religieux que l'on peut résoudre à l'astrolabe : des exercices sont proposés au lecteur qui dispose à cet effet d'une araignée transparente qu'il peut faire tourner par rapport à un tympan situé à l'intérieur de l'ouvrage. Le livre comporte ensuite les descriptions et les modes d'utilisation des quatre astrolabes différents et complémentaires que possède le Musée Paul-Dupuy : il comble un vide dans l'édition en langue française concernant l'astrolabe, puisque les deux éditions du classique "traité de l'astrolabe" d'Henri Michel sont épuisées.

### MESURER LA TERRE 300 ANS DE GÉODÉSIE FRANÇAISE

*De la toise du Châtelet au satellite.  
Par Jean-Jacques Levallois.*

*Avec la collaboration de C. Boucher, J. Bourgoin,  
A. Comolet-Tirman, A. Roubertou.*

*Préface de H. Lacombe,  
membre de l'Académie des Sciences.*

De Jean Picard aux conclusions tirées de l'observa-

tion des satellites artificiels, en nous décrivant l'œuvre des Cassini, les expéditions de Laponie et du Pérou (XVIII<sup>e</sup> siècle), l'observation de la méridienne de Delambre et Méchain, les travaux des ingénieurs géographes du XIX<sup>e</sup> siècle et ceux de leurs successeurs modernes, l'auteur et ses collaborateurs se sont proposés de retracer l'histoire de la contribution française à la géodésie.

*"C'est une histoire assez typique de la façon dont progresse une science avec ses théories, ses expériences, ses querelles scientifiques ou personnelles, ses tâtonnements et ses succès. Il n'est pas mauvais que ceux qui ne la connaissent point puissent se faire une idée de l'ingéniosité, du labeur, des concours qu'a exigé la lente élaboration du canevas géodésique de notre pays, et de la part due à des devanciers ou à nos contemporains".*

Emaillé de multiples citations originales, le texte est illustré de nombreux documents souvent anciens. L'ouvrage est complété des cartes du réseau géodésique en 1744, 1864 et 1973 (3 planches hors texte format 70 x 100 cm) et un tableau des travaux hydrographiques.

L'auteur a poursuivi une carrière de géodésien pendant 40 ans, d'abord au Service Géographique de l'Armée puis à l'IGN dont il fut le chef du Service Géodésie de 1961 à 1974. Professeur écouté, il a rédigé de nombreux articles et communications. Elu en 1955, secrétaire adjoint de l'Association Internationale de Géodésie, il en devint le secrétaire général de 1960 à 1975, enrichissant ainsi sa carrière d'une dimension internationale.

### SCIENCES GÉOGRAPHIQUES ET CONCEPTION DE L'UNIVERS DANS L'ANTIQUITÉ

Par le même auteur que "l'Astrolabe", R. d'Hollander, une contribution importante à l'histoire de ces sciences. Edité au départ dans la revue XYZ à la chronique "Histoire", cet ouvrage paraît maintenant, toujours dans la revue, mais en encarté. C'est le fascicule I, qui traite de la Haute Antiquité, et de la période grecque jusqu'aux conquêtes romaines, qui vous est présenté aujourd'hui dans une présentation provisoire.

### LEXIQUE TOPOGRAPHIQUE

Cet ouvrage de la commission d'enseignement de l'AFT comportera douze chapitres.

Commencé en 1985 il paraît par fascicule de huit ou dix pages encarté dans chaque parution trimestrielle de la revue XYZ.

Sa diffusion a commencé avec le numéro 47 en avril 1991. Le numéro 60 a vu la parution du onzième chapitre, au total à ce jour 112 pages ont été éditées. Le nombre de termes recensés dépasse 1 200.

Dans chaque chapitre les mots sont classés par ordre alphabétique avec renvoi aux différents chapitres

où ils se trouvent.

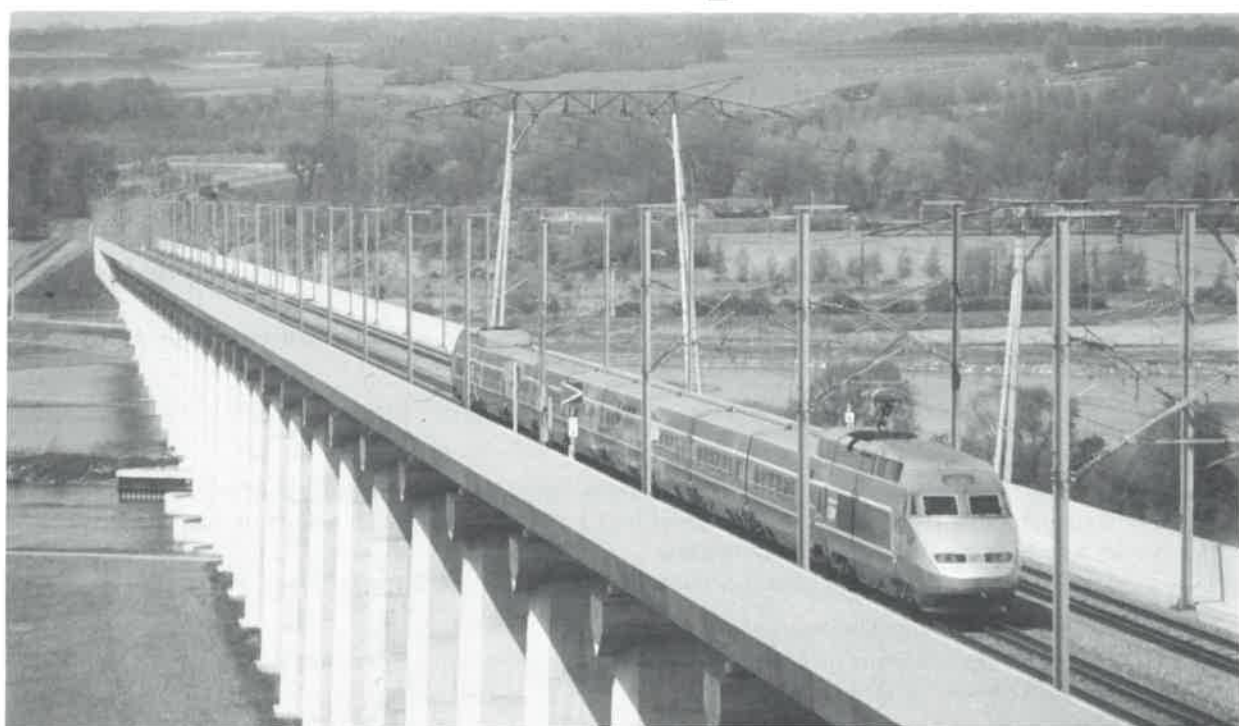
De nombreuses figures et croquis explicatifs illustrent les mots et locutions. Le choix des mots et leur définition ont été déterminés en fonction du but qui est de servir à la formation du topographe, à tout niveau.

*Plan général de l'ouvrage*

- 1 Généralités
- 2 Mesures des longueurs
- 3 Mesures des angles horizontaux

- 4 Mesures des altitudes
- 5 Canevas
- 6 Cadastre et travaux fonciers
- 7 Levé tachéométrique
- 8 Levé au goniographe (planchette)
- 9 Implantations
- 10 Calculs
- 11 Représentation cartographique
- 12 Photogrammétrie

# LA TOPOGRAPHIE au service du produit TGV



**Cette année encore,  
la SNCF s'expose....**



**... au CITOP  
les 6, 7 et 8 décembre 1994  
Paris La Défense**

***SNCF, le progrès ne vaut que s'il est partagé par tous***



## OBJECTIFS

- **RAPPROCHER** tous les producteurs, utilisateurs, spécialistes, enseignants de la Topographie

**Ce terme, signifiant ethymologiquement "la description d'un lieu", est pris ici dans son sens large : il regroupe la description, sous forme graphique ou numérique, des formes du terrain avec les détails naturels ou artificiels qu'il porte.**

- **PROMOUVOIR ET DIFFUSER** l'évolution de l'instrumentation ainsi que les nouvelles conceptions de la saisie et du traitement de l'information géographique (SIG).
- **ENCOURAGER** la recherche scientifique afin de favoriser le progrès technique dans les différentes disciplines liées à la topographie.
- **RÉPONDRE** aux demandes d'information techniques et professionnelles qui lui sont adressées.
- **ENTRETENIR** une collaboration avec des organismes similaires nationaux et internationaux.
- **FACILITER** l'actualisation des connaissances de ses membres.
- **PROMOUVOIR** une formation scientifique et technique de qualité et actualisée.
- **DÉFENDRE** et promouvoir le bon renom de la profession et faire connaître celle-ci tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de la France.

*En résumé l'AFT entend regrouper les utilisateurs de la Topographie, à quelque titre que ce soit (géodésie, hydrographie, topométrie, métrologie, photogrammétrie, cartographie et topographie proprement dite...)*

## ACTIONS

### 1) PUBLICATIONS

- a) *La revue trimestrielle XYZ*, véritable trait d'union des adhérents, tirée à plus de 3 000 exemplaires.

- Elle est adressée à tous les membres de l'AFT, aux abonnés, à un certain nombre de publications françaises et étrangères au titre des échanges.
- Son contenu est diversifié, de manière à intéresser tous les secteurs auxquels appartiennent ses lecteurs.
- Certaines rubriques sont permanentes :
  - Info-Topo (actualités de la profession)
  - Histoire de la topographie, art de vivre, l'art et les livres...
  - Sujets à la pointe du progrès (GPS, SIG, métrologie...)
- Elles sont complétées en fonction de l'actualité (compte rendu de conférences prononcées lors des colloques, articles d'adhérents ou d'auteurs extérieurs ayant trait à des expérimentations de méthodes ou de matériels nouveaux ainsi qu'à des expériences personnelles).
- Ses colonnes sont ouvertes à tous ceux qui veulent traiter d'un sujet à la fois technique et innovant.

- b) *L'annuaire professionnel* publié en principe tous les 2 ans

- Il répertorie tous les adhérents ou correspondants classés par région ou par pays, mais aussi en fonction des domaines d'activités (voir graphique).
- On y trouve aussi de façon thématique et par auteur tous les articles parus dans la revue, un répertoire des fournisseurs, les adresses utiles de la profession etc...

- c) *Le F.I.L. (flash d'Information et de Liaison)*

- Bulletin intermédiaire publié en fonction des manifestations françaises et étrangères intéressant la profession.
- Venant en complément de la revue, il est commun à l'AFT, au Comité Français de Cartographie, à la section géodésie du Comité National Français de Géodésie et de Géophysique, à la Société française de Photogrammétrie et de Télédétection.

- d) *Les ouvrages*

- Rédigés par des membres éminents de l'AFT ou par des équipes de spécialistes :
  - Trois cents ans de géodésie française de Jean-Jacques Levallois
  - L'astrolabe de Raymond d'Hollander
  - Le lexique topographique, établi par la commission "enseignement" de l'AFT, publié par fascicules et encarté dans la revue XYZ
  - Sciences Géographiques, connaissance du monde et conception de l'univers dans l'antiquité, de Raymond d'Hollander. Publié en fascicules dans la revue XYZ

## 2) MANIFESTATIONS

- L'AFT participe aux congrès nationaux et internationaux (FIG, AFIGEO...)
- L'AFT organise régulièrement chaque année des *colloques* ou *rencontres* traitant de sujets variés, accompagnés généralement d'exposition de matériels.
- A titre d'exemple parmi les plus représentatifs, on peut citer :
  - 1980 : Lyon : Topométrie industrielle
  - 1981 : Tours : Auscultation topographique des grands ouvrages
  - 1983 : Lille : Les banques de données urbaines
  - 1985 : Brest : La bathymétrie
  - 1988 : Cannes : L'information géographique dans l'aménagement du littoral
  - 1989 : Sangatte : La topométrie souterraine
  - 1991 : 17ème colloque à Genève (CERN) : Métrologie géodésique et photogrammétrie  
Rencontre à Cachan (94) (ESTP) : GPS et SIG
  - 1993 : 18ème colloque à Toulouse (Ecole du Cadastre) : Valeur Vénale  
19ème colloque à Cachan (94) (ESTP) : Contrôle et assurance qualité dans la topographie...

*TOUS LES CINQ ANS* aux dates anniversaires de la création de l'AFT, celle-ci organise une CITOP (Conférence Internationale sur la Topographie) haut lieu de conférences et de présentation de matériels et de méthodes animé par des conférenciers de renom français et étrangers et par des firmes prestigieuses.

## L'ORGANISATION

- Les membres de l'AFT sont groupés en *sections régionales*.
- A la tête de chaque section est élu une fois par an un président régional et parfois un bureau.
- Une *Assemblée générale* réunit une fois par an tous les membres de l'AFT.
- Celle-ci est dotée d'un *Conseil d'Administration* composé de 18 membres nationaux élus par l'Assemblée générale et des Présidents des Sections régionales.
- Il désigne les membres du *bureau* ainsi constitué :
  - un président
  - trois vice-présidents
  - un secrétaire général
  - un secrétaire général adjoint
  - un trésorier
  - un directeur des Publications
  - un directeur adjoint des Publications
- Les quatre *présidents* qui se sont succédé jusqu'à ce jour sont :

M. CATINOT Louis	de 1978 à 1981	DPLG - Electricité de France
M. VINCENT Robert	de 1981 à 1986	Ingénieur ECP - Photogrammétrie
M. SCHAFFNER Roger	de 1986 à 1990	DPLG - Urbanisme Foncier
M. BAILLY André	depuis 1990	Ingénieur ETP - Gaz de France
- Plusieurs *commissions permanentes* ont été créées. Elles regroupent les spécialistes ou les membres intéressés par un sujet particulier (enseignement, histoire, grands travaux et aménagement, méthodes et techniques fondamentales etc...)

### COMMENT DEVENIR MEMBRE DE L'AFT

Toute personne physique et morale peut adhérer à l'Association, mais seules les personnes physiques peuvent être membre du Conseil.

### MEMBRE ADHÉRENT

- Toute personne physique se situant parmi les pratiquants ou utilisateurs actuels ou passés de la Topographie à titre indépendant ou salarié ;
- Toute personne s'intéressant à la Topographie (Cotisations variables selon les catégories d'adhérents) ;
- Toute personne morale dont l'activité est en rapport direct ou indirect avec la Topographie.





**SETAM Informatique**

Au service du Géomètre depuis 1973

2, rue du Square Jean-Gibert 78114 Magny-les-Hameaux

☎ : 30.52.40.49 Fax : 30.52.11.25

Organisme de Formation n° 11780298678

Agrée Développeur Autodesk - Agrée 3D Studio - Agrée Revendeur Autocad

PRESENTS

Assemblée Générale de la Fédération les 29 et 30 novembre 1994 Hôtel Méridien Montparnasse à PARIS  
CNIT La Défense PARIS 3ème CITOP du 6 au 8 Décembre 1994 (Stand 17)



**Spécialiste AutoCAD**

**Développeur de TOPOLISP**

(Ecrit en langage C, ADS et Lisp)

**STATION DE D.A.O.  
OFFRE "SPECIALE CARTOGRAPHIE"**

Valable jusqu'au 15 Janvier 1995

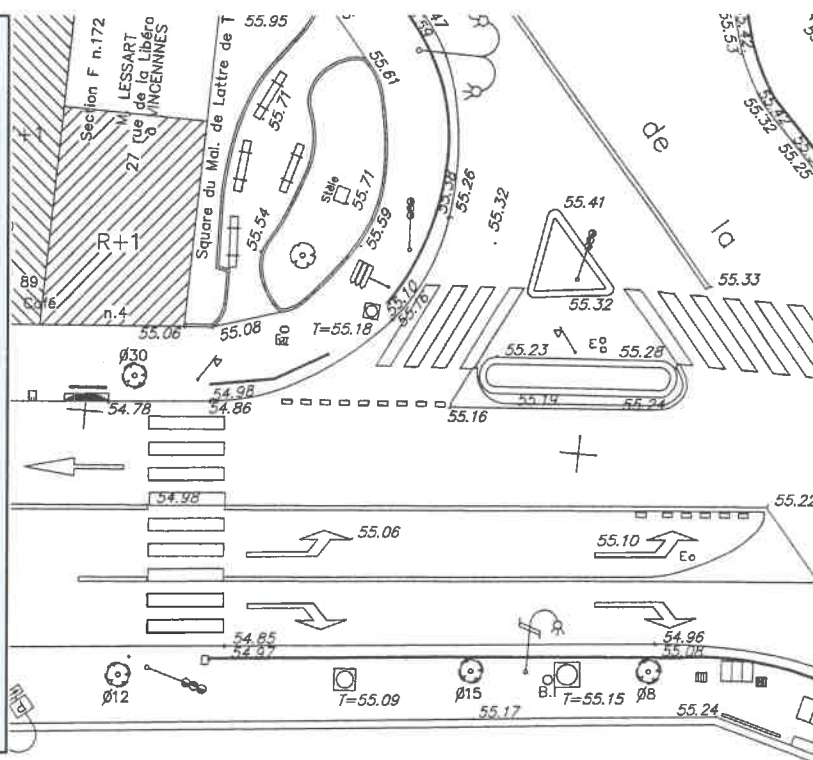
**89.900 FHT**

**PENTIUM 90 Mhz**  
(Micro ICL Iso qualité 9001)

- Disque dur 525 Mo / Ram 16 Mo
- Lecteur 3"1/2 + CD ROM
- Ecran 21" (1600x1280)
- Clavier + Souris
- AutoCAD V12 + ADE
- TopoLISP-2D (Les applicatifs du géomètre)
- TopoLISP-3D
- TopoLISP-SIG
- PROJET 3D
- MS-DOS 6.2 ■ Windows 3.2

Options supplémentaires

- Traceur TechJET A0 Calcomp couleurs  
Jet d'encre(tracé 15m de long) 43.900FHT
- Traceur HP DésignJET 650C A0  
72.200fht Px Setam : 59.900fht



**AutoCAD : Sécurité d'un standard Mondial**

**Topolisp : les Applicatifs "Géomètre"**

**Formation sur site adaptée à votre cabinet**

**L'Expérience "géomètre" de 25 ans**

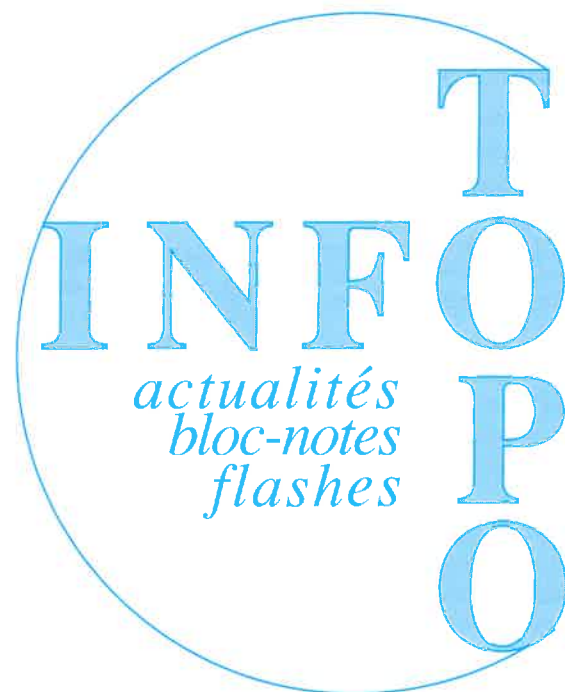
**PERFORMANCE EFFICACITE PERENNITE**

Bon à compléter pour recevoir une documentation sans engagement de votre part :

- |                                       |                                      |                                      |                                    |                                    |
|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> AutoCAD 12   | <input type="checkbox"/> Topolisp 2D | <input type="checkbox"/> Topolisp 3D | <input type="checkbox"/> Projet 3D | <input type="checkbox"/> GEOSSET   |
| <input type="checkbox"/> Topolisp-SIG | <input type="checkbox"/> Autocad LT  | <input type="checkbox"/> TopoLisp LT | <input type="checkbox"/> TIMS      | <input type="checkbox"/> 3D STUDIO |
| <input type="checkbox"/> ADE          |                                      |                                      |                                    |                                    |

Société \_\_\_\_\_ Tél : \_\_\_\_\_ Fax \_\_\_\_\_

Adresse \_\_\_\_\_



### **KLIK Développement et SOFT'X unissent leurs forces**

Klik Développement est une société spécialisée dans le domaine de l'édition et l'intégration de SIG (CA : 10 MF). SOFT'X est une société de développement de logiciels orientés vers les professionnels de l'architecture, B et T, Urbanisme, Industrie, etc.

Ces deux sociétés ont annoncé le 12 septembre dernier leur désir de mettre en commun leurs moyens et leur savoir-faire. Elles ont commencé un processus de partenariat permettant, dans un premier temps, un rapprochement commercial. Compte-tenu de leur forte complémentarité de produits, leur objectif est d'optimiser le potentiel des deux sociétés afin de renforcer leur présence sur le marché des collectivités locales.

SOFT'X : J.P. Harmand - Tél. : 30 54 16 94  
KLIK Dev : M. Pham Huu Tri - Tél. : 34 86 74 44

### **Le "CLUB DES ASC", un label pour une charte de qualité**



15 sociétés spécialisées dans l'intégration de logiciels graphiques et Centre de Systèmes agréé Autodesk (ASC), se réunissent autour d'un même projet : satisfaire les utilisateurs CAO et répondre aux exigences de leurs clients en terme de qualité. Elles fondent le club des ASC.

Le principal objectif de cette association Loi 1901 est de valoriser la qualité des prestations qu'elle offre en établissant une charte de qualité associée à un label.

Chacune des sociétés, spécialisée avec de fortes compétences techniques, apporte ses connaissances, tant sur les produits logiciels, qu'en matière d'intégration de systèmes informatiques et de développement d'applications pointues, ce qui permet d'offrir une pres-

tation de qualité, depuis le choix de la solution la mieux adaptée, jusqu'à son installation, aux formations et aux services après vente.

Au sein de l'ASC, les sociétés pensent échanger leurs expériences et représenter un pôle dont les compétences CAO/CFAO seront les plus larges en Europe. Ainsi, elles constitueront naturellement une force de proposition auprès des fournisseurs en informatique graphique. Les principaux secteurs d'activités sont du domaine de l'industrie et du BTP.

Les 15 sociétés : ARES Technologies (Les Ulis - 91), CAD Services (Saint Etienne - 42), CEFI Technologies (Saint Germain en Laye - 78), CEFI Méditerranée (Aix en Provence - 13), ERMIS (Girromagny - 90), GEOMEDIA (Brest - 29), INFOCAD (Lanester - 56), INTEGRAM (Strasbourg - 67), LASCOM (Clamart - 92), Le Scribe Informatique (69), PARTNER Industries (Clamart - 92), PEC Systems (Sèvres - 92), PROGISTIK (Montreuil - 93), PROSYS (Paris - 75), TECHNICAD (Ecully - 69)

(Touch and Go - RP - 14 rue Soleillet - 75020 Paris - Tél. : 40 33 79 43 - Fax : 40 33 79 17

### **Coopération CARL ZEISS et NovAtel pour la géodésie par satellite**

Oberkochen/Mayence. Les journées de la géodésie qui se sont déroulées à Mayence du 21 au 24 septembre ont été l'occasion de rendre public le contrat de coopération qui vient d'être signé entre Carl Zeiss et le constructeur canadien NovAtel Communications Ltd, l'un des plus grands dans le domaine de la télédétection de haute précision par satellite. Il s'agit d'un contrat de coopération exclusive entre les deux entreprises pour le développement, la production et la commercialisation de systèmes de mesure s'appuyant sur les informations géodésiques captées par satellite. Pour Carl Zeiss et NovAtel Communications Ltd, ce partenariat a pour objectif stratégique de développer des produits nouveaux destinés à l'exploitation du GPS.

## **"Panorama de l'Information Géographique" aux Editions Euro Vista**

Après la parution de "Mercator 1994 - guide de la cartographie informatisée" et "les SIG dans les collectivités territoriales", les éditions Euro Vista nous propose ce "Panorama de l'Information Géographique" qui est un tableau synthétique de la situation de l'information géographique en France, vue par ses promoteurs et ses utilisateurs.

Les principaux acteurs donnent leur point de vue sur le développement de ce marché : distributeurs, prestataires de services, géomètres, institutions (IGN, DGI, CNIG, EUROGI...), concessionnaires de réseaux...

Graphiques, listes, histogrammes présentent l'offre de logiciels disponibles sur le marché français avec des segmentations par types, par prix. Les données disponibles sont recensées, leur accessibilité discutée. Le développement de la norme EDIGEO est décrit.

Un répertoire donne les adresses des principaux acteurs du secteur.

(130 pages. 950 Francs HT - Tél. : 43 36 70 00, François Verebély).

## **Un nouveau niveau électronique laser : le LASERPLANE 130**

SPECTRA - PHYSICS LASERPLANE annonce la création d'un nouveau niveau électronique laser à nivellement automatique, remarquable pour sa portée (technique dite de "cône" pour transmettre, en statique, un faisceau laser sur 130 mètres).

Etonnant, ce laserplane 130 fonctionne 400 heures avec 4 piles alcalines ! Son poids est de 2,5 kg. Il semble vouloir être l'instrument par excellence des travaux de traçage, repérage, réglage et nivellement, en plus il est mis en œuvre et utilisé par une seule personne, et son système de nivellement automatique lui confère une précision au dessus des niveaux traditionnels.

Notons que dans la gamme des laserplane (130, 220, 500 et 750), tous les appareils sont équipés d'un pentaprisme métal monobloc usiné diamant supprimant ainsi les inconvénients et la fragilité des systèmes à miroir collé.

(Spectra - Physics France - Avenue de Scandinavie - ZA de Courtabœuf BP 28 - 91941 Les Ulis Cedex - Tél. : (1) 69 18 63 31 - Fax : (1) 69 18 63 27)

## **Conférence de Raymond d'Hollander sur l'Astrolabe**

Raymond D'Hollander fera au Palais de la Découverte une conférence sur l'Astrolabe le Samedi 7 janvier 1995 à 15h.

Les lecteurs d'XYZ qui souhaiteraient assister à cette conférence sont priés d'écrire au secrétariat de l'AFT à partir du 15 décembre 1994 pour demander un carton d'invitation qui leur sera envoyé aussitôt.

## **Célébration du quatrième centenaire de la mort de Mercator**

Plusieurs manifestations ont eu lieu en Belgique et à Duisburg (Allemagne) pour célébrer le 4e centenaire de la mort de Mercator.

Humaniste, philosophe, théologien, calligraphe, graveur, constructeur d'instruments scientifiques et de globes (terrestres et célestes), géographe, cartographe, éditeur, Mercator peut être considéré comme le plus grand cartographe de la Renaissance : on lui doit notamment la projection qui porte son nom, utilisée pour la première fois en 1569 dans sa carte dite à latitudes croissantes "ad usum navigantium".

Né en 1512 à Rupelmonde (pays de Waas en Flandres), collaborateur de Gemma Frisius à Louvain. Mercator fut emprisonné pendant 9 mois en 1544 à Rupelmonde pour hérésie (en fait pour sympathies luthériennes). Il resta cependant encore 8 ans en Flandres et il ne quitta son pays natal qu'en 1552 pour s'installer à Duisburg, où régnait une grande liberté religieuse et où il mourut le 5 décembre 1594.

Cette très brève biographie explique qu'il y ait eu des manifestations, à la fois en Belgique et à Duisburg, pour commémorer le quatrième centenaire de sa mort.

Un premier colloque a eu lieu les 3 et 4 juin 1994 à Sint Niklaas (Saint Nicolas), capitale du pays de Waas, plaine basse qui s'étend sur la rive gauche de l'Escaut en amont d'Anvers. Sint Niklaas, où se trouve un musée Mercator, est tout proche de Rupelmonde, ville natale de Mercator.

Ce colloque se déroula sous l'égide de la commission "Histoire de la Topographie" de la Fédération Internationale des Géomètres.

Voici les titres des communications qui y furent présentées avec le nom de leur auteur.

Le 3 juin :

- La vie à l'époque de Mercator par E. Rooms (communication moitié en français, moitié en flamand).
- Gerhard Mercator, l'érudit européen universel, par H.J. Lagoda (communication faite en allemand).
- La projection utilisée dans l'œuvre d'Erhard Etzlaub, modèle ou précurseur de Mercator par Brigitte English (communication faite en allemand).
- Les instruments au temps de Mercator, par Jan de Graeve (communication faite en flamand).

Le 4 juin :

- La projection de Mercator, étape importante dans l'évolution de la cartographie par R. Schonaerts (communication faite en français).
- Mercator et la loxodromie par R. d'Hollander (communication faite en français).
- La reconstruction de la carte du Monde "ad usum navigantium 1569" pour la résolution de l'énigme de la carte de Mercator par W. Krücker (communication faite en allemand).
- Recherches cartométriques pour la précision de la carte d'Allemagne de Gerhard Mercator par P.

Mesenburg (communication faite en allemand)

On notera la prépondérance du nombre de communications faites en allemand : 4 sur 8, 2,5 en français, 1,5 en flamand.

Un 2ème colloque s'est tenu à Duisburg les 6, 7, et 8 octobre sous l'égide du groupe de travail "Histoire de la cartographie" de la société allemande de cartographie. On y dénombre 25 communications.

Du 21 au 24 octobre s'est tenu à Anvers un symposium international sous l'égide de l'International Map Collectors' Society avec quatre exposés et une série de visites sur le thème : Flandres et Mercator, bases d'une nouvelle cartographie au 16e siècle.

Le 5 novembre la commission "Geschichte des Vermessungswesen" (histoire de la mensuration) de l'Union des ingénieurs allemands de mensuration a organisé une journée de séminaire sur Mercator à Duisburg, journée où ont été présentées les publications de l'AFT.

Ces colloques et séminaires ont été accompagnés de différentes expositions :

- Gérard Mercator et la géographie dans les Pays Bas méridionaux au Musée Plantin-Moretus à Anvers du 30 avril au 24 juillet.
- Calligraphes internationaux sur les traces de Mercator, exposition intitulée "Tellus", organisée respectivement à Rupelmonde, à la Haie, à Gangelt et à Paris.
- La cartographie aux Pays-Bas de Charles Quint à Guillaume Ier, à Louvain du 5 octobre au 4 décembre.
- Instruments de mesure et de navigation, à Rupelmonde du 14 octobre au 4 décembre.
- La cartographie italienne au 16e siècle au Musée Mercator à Sint Niklaas du 16 octobre au 6 novembre.
- Mercator. Des navigateurs aux astronautes à la Bibliothèque royale Albert 1er à Bruxelles du 9 novembre au 7 janvier 1995.

Raymond d'Hollander

## **STAR INFORMATIC : STAR TECHNO, un produit spécifique STAR**

STAR INFORMATIC, dont les pages d'XYZ se font souvent l'écho de l'activité (cf notre dernier numéro, le 60, sur l'informatisation du plan parcellaire de Paris, par Michel Vantet), est un éditeur européen de logiciels graphiques depuis 1983, et ses produits sont distribués dans 25 pays.

Dans une conférence de presse au CNIT le 5 octobre dernier, Messieurs Hervé Leroy, directeur commercial à Paris, Eric Dereeper et Manuel Pallage, responsables marketing produits, présentaient le produit "Star Techno".

Celui-ci assure la gestion des locaux, activités et équipements de bâtiments administratifs et industriels. Sur base d'une mémoire complète et dynamique de toutes les installations et de leur exploitation, une série d'applicatifs spécialisés facilitent toutes les prestations d'un service des bâtiments.

La base du système est la définition d'Objets Organisés qui sont qualifiés par des attributs et surtout localisés dans un plan complet du bâtiment. Les applicatifs spécialisés et évolutifs sont introduits pour une approche plus spécifique des problèmes de gestion.

Un exemple d'application était exposé par Christian Dubost, responsable de projet à la Société Générale : le projet SIGEX (Système d'Information et de Gestion de l'EXploitation). Le choix définitif de Star Techno a été fait après la réalisation d'un prototype.

(Star Informatic - France - Le Ponant II, 21 rue Leblanc. F-75513 Paris Cedex 15 - Tél. : (1) 40 60 11 11 - Fax : (1) 40 60 11 66)

## **CARL ZEISS : de nombreux instruments, mais aussi la routine améliorée**

*GePos RS 12*



Ce récepteur assiste les procédés géodésiques GPS, mesures statiques, cinématiques, pseudo-cinématiques et cinématiques "stop and go". Il permet de déterminer des vecteurs spatiaux avec une précision de 5 mm + 1-2 ppm.

Ce système de mesure et d'exploitation regroupe dans un boîtier étanche, antenne, récepteur, touches de commande, fenêtre d'affichage et mémoire des données. D'une manière simple il permet de collecter et de mémoriser les données GPS (code C/A et phase) adres-



# Aujourd'hui, chacun a besoin de repères.



**EUROBORNES**  
*L'imagination-service*

SAINT-SIXT B.P.122 74804 LA ROCHE-SUR-FORON CEDEX TEL: 50 25 81 32 FAX:50 03 33 71

Agence

## Choisir un métier ?

DECIDER AUJOURD'HUI

DE SON AVENIR : UNE REUNION DE PROFESSIONNELS ET D'ENSEIGNANTS VOUS PROPOSE, A TOUT MOMENT DE L'ANNEE, DES FORMATIONS DANS LES SECTEURS SUIVANTS :

- **Topographie :** CAP opérateur géomètre,  
BP chef de Brigade,  
BTS géomètre topographe



— Bâtiment • Travaux Publics • VRD • Métré • Enseignement général —



**ECOLE CHEZ SOI**

Organisme d'enseignement privé à distance  
107, rue du Château 92100 Boulogne

Possibilité de bénéficier des dispositions  
"FORMATION CONTINUE"  
Orientation et conseils  
au (16.1) 46.03.66.83

Nom ..... Prénom .....

Adresse .....

Code Postal ..... Ville .....

Sans aucun engagement de ma part, désire une documentation dans le secteur suivant : .....

XYZ.11.94



- Compensation de la figure.
- Adaptation sur un jeu de coordonnées en N.T.F.

Ici encore, on se rend compte que le graphique est utilisé de façon très heureuse, que ce soit pour visualiser la figure observée ou bien les résidus de la compensation par moindres carrés.

Des résidus très acceptables et conformes à ce qu'on était en droit d'attendre vu les conditions dans lesquelles nous avons travaillé :

- lignes de bases très courtes (de l'ordre de la centaine de mètre).
- délais d'observation respectables (quarante minutes à cinq satellites).
- adaptation sur un jeu de coordonnées sans surprise vu qu'il avait été lui-même déterminé par GPS.

La précision du système annoncée par GEOTRONICS, est de 5 mm plus 2 ppm.

Nous avons testé le calcul de trajectoire sur un jeu de données de démonstration.

Nous avons été séduits par la rapidité du calcul et la visualisation graphique (en temps réel) de sa progression.

En conclusion, nous ne pouvons que regretter de n'avoir pas eu le temps de tester l'algorithme "on the fly" de cinématique avec résolution des ambiguïtés sans station d'initialisation ainsi que l'interface d'E/S au format RINEX qui permet le traitement des enregistrements venant d'autres récepteurs.

Notons, à ce sujet, que le système reconnaît directement les formats des constructeurs les plus connus.

Il est certain que l'offre de lancement pratiquée par GEOTRONICS fait du GEOTRACER SYSTEME 2000 un produit dangereux pour ses concurrents.

(D. MOISSET IGN)

## **L'AFT apprend avec tristesse le décès de Georges Laclavère**

Il naquit à Nice le 28 juin 1906 et devint en 1927 élève à l'X. Il connaîtra les premiers travaux topographiques sur le terrain pour la construction du chemin de fer Dakar-Niger alors qu'il est militaire dans l'Artillerie coloniale. Intégré au Service Géographique de l'Armée, en 1934, sa voie ne dévia pas jusque bien au delà de sa retraite.

Son esprit très ouvert et sa grande capacité de travail, son intelligence qui assimile parfaitement et sans faille théorie et pratique le font remarquer comme chef de brigade, mais aussi comme conférencier et professeur en géodésie et astronomie.

C'est avec cette réputation qu'il est nommé Ingénieur Géographe en 1940 à la création de l'IGN. C'est alors que, tout en poursuivant ses travaux sur le terrain et au service de la géodésie, il a une importante activité de résistant. Il dirige en effet un réseau de renseignements qui l'amènera en 1944 à être chargé de liaison avec les autorités anglaises et américaines.

Nommé à l'Inspection Générale des Services Géographiques d'Outremer en 1948, il est un collaborateur efficace de l'Inspecteur Général.

C'est l'époque où avec P. Tardi, il publie un traité de géodésie qui fut une bible pendant de nombreuses années. Appelé auprès du Directeur Général, en 1950, ses relations avec les autorités cartographiques alliés le place dans un rôle important à l'IGN.

Ses compétences scientifiques, ses qualités de négociateur valent à l'IGN une place de choix parmi les Instituts Géographiques mondiaux.

Après sa nomination d'Inspecteur Général Géographe en 1957, il dirige la 4ème Direction, celle de la cartographie et des reproductions et tirages, avant d'être, le 20 novembre 1963, nommé Directeur de l'IGN.

Jusqu'à sa retraite en 1974 il va œuvrer, malgré de nombreuses difficultés, dont l'insuffisance de res-

sources financières n'est pas la moindre, pour faire naître un Institut Géographique moderne. Il va maintenir avec énergie l'IGN à son haut niveau mondial. Il met en œuvre un nouveau statut de l'établissement orienté vers plus d'indépendance et d'initiative. Il développe l'activité commerciale en France et à l'étranger, c'est à lui que nous devons les premières cartes pliées et les cartes grand public. Il anime des groupes de travail sur la mission de l'IGN, sur les statuts des personnels, ouvre la porte aux techniques modernes et tourne largement l'entreprise vers l'extérieur en créant le GRGS (Groupe de Recherche en Géodésie Spatiale), le GDTA (Groupement pour le Développement de la Télédétection Aérospatiale) en collaboration avec le CNES. Il établira et signera de nombreuses conventions de coopération cartographique avec les états qui accèdent à leur indépendance.

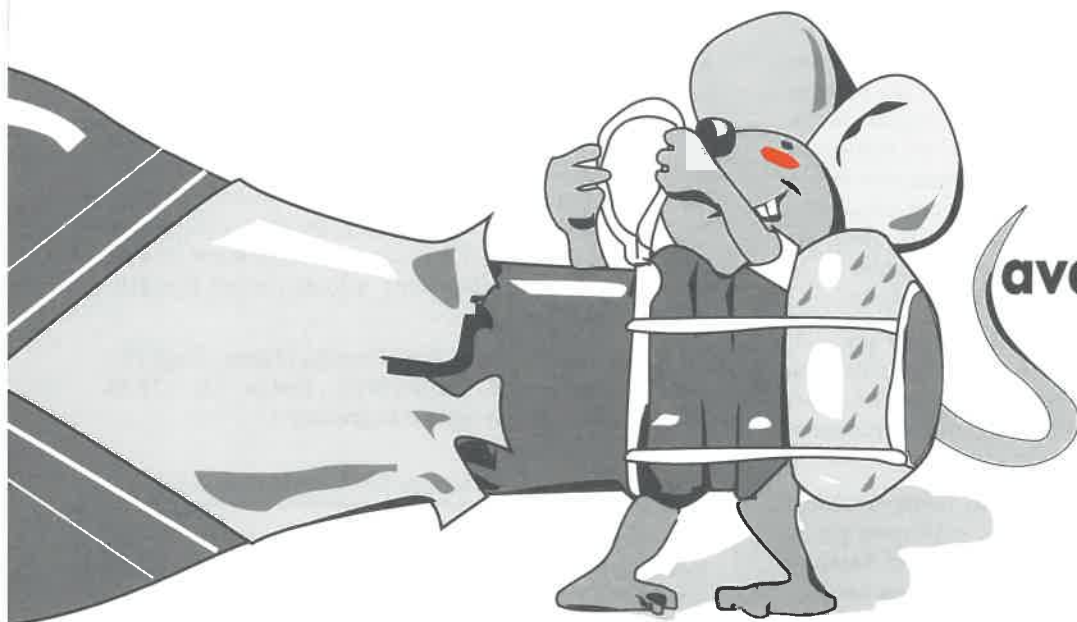
Parallèlement à cette carrière à l'IGN, active et novatrice, il œuvre brillamment dans les institutions scientifiques nationales et internationales.

Au plan français, notons : membre du Bureau des Longitudes, membre du CNRS, membre de la Commission Nationale de l'UNESCO, Président du Comité National Français des Recherches Antarctiques, Président du Comité National Français de Géodésie et Géophysique, Président de la Société des Explorateurs.

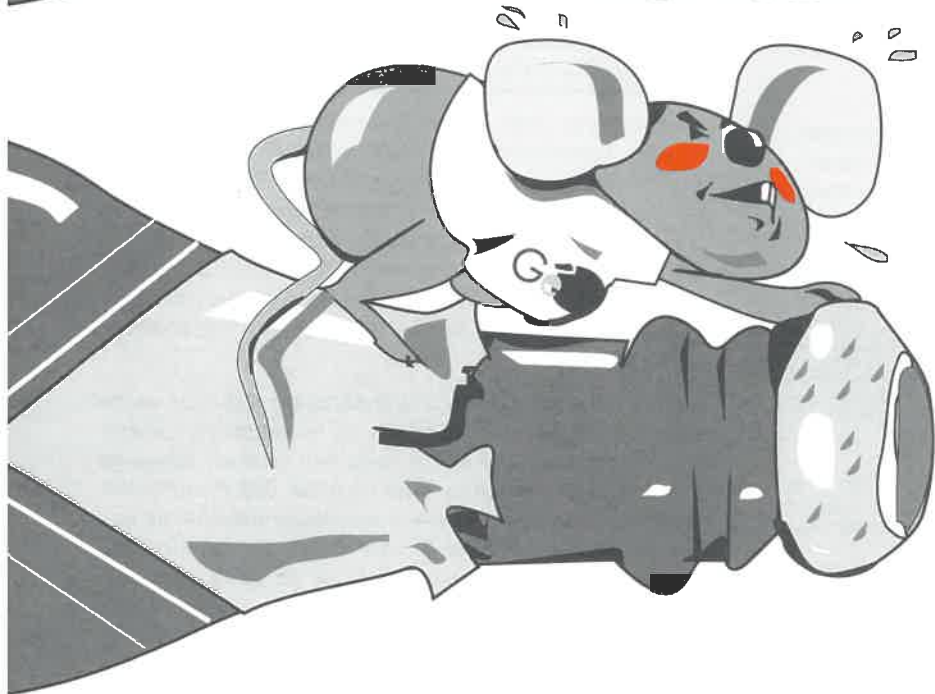
Au plan international : Secrétaire adjoint de l'Association Internationale de Géodésie (1951-1963), Secrétaire Général de l'Union Géodésique et Géophysique Internationale (1956-1963), membre du Comité Spécial de l'année Géophysique Internationale (1956-1957), Président de la Commission des Publications, Président du Comité International des Recherches Antarctiques (1957), membre du bureau du Conseil International des Unions Scientifiques (1959), rédacteur en chef de la chronique de l'UGGI (1957-1990).

La retraite qu'il prit au début de 1974 fut loin de stopper cette intense activité.

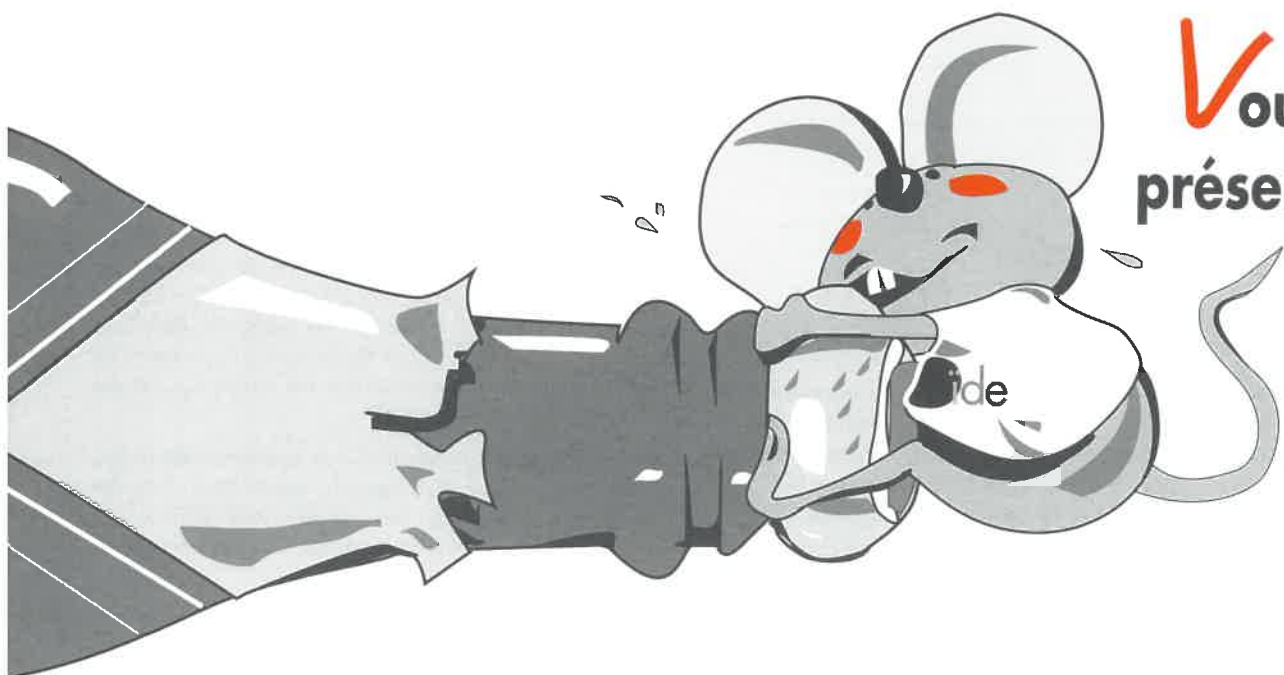
***C'est un grand monsieur qui nous quitte***



**E**n  
avant-première...



**Gé**ide  
SYSTEMES



**V**ous  
présente...



## 10ème Assemblée Mondiale des Téléports

Les gares ferroviaires et les ports maritimes furent le moteur économique de l'ère industrielle. Au XXème siècle les rythmes s'accélérent avec les aéroports et les autoroutes. A l'aube du XXIème siècle, on emprunte toujours le rail, la route, l'océan et l'air, mais une forme différente de communication et transport apparaît : l'information, voix, données, texte et images transportés efficacement et instantanément en tout point de la planète, le "téléport" fait son entrée dans l'histoire.

Un téléport est un dispositif intégré offrant aux utilisateurs un accès aisé et rapide à des moyens de télécommunications (locaux et longues distances) évolué, via des réseaux de satellites, à fibre optique, hertziens et autres.

Du 7 au 11 novembre dernier s'est tenue la 10ème Assemblée Mondiale des Téléports, organisée par le Conseil régional d'Ile-de-France, Télécom et Téléport Paris I de F., au Cnit à La Défense et à Marne La Vallée.

Experts des téléports, acteurs des télécommunications, responsables d'entreprise, de collectivités et utilisateurs ont abordé les thèmes :

- communication inter-entreprise et téléport,
  - téléport et organisation de l'entreprise communicante
  - localisation géographique des entreprises et téléport
- Une exposition illustre les réalisations de téléports dans le monde.

## Annonces AFT

H. 24 ans. Titulaire BTS Géomètre, cherche emploi France/Etranger. Expérience : AutoCad et Topojis, stages dans cabinets de Géomètres Experts - Ecrire à la revue n°611 ou Tél. : 73 68 12 42.

Titulaire d'un Certificat de Formation pour Adulte, CFA Meaux, cherche emploi d'opérateur-topographe, région parisienne de préférence. Ecrire à la revue N° 612 ou tél. 48.48.76.71.

H. Brevet de Technicien Topographe - BEP et CAP de topographie. Quelques expériences professionnelles (Stages et travaux dans l'entreprise Screg Ile-de-France Ouest et dans une société, Daniel Legrand, pour relevés). Anglais et Espagnol lus, écrits et parlés. Pour terminer ses études (2 ans au Lycée Viollet le Duc), doit *obligatoirement* trouver une entreprise d'accueil avec contrat de travail, le lycée étant prestataire de service en formation auprès de l'entreprise. Ecrire à la revue n°613 ou Tél. : 34 81 27 26.

Géomètre - Topographe - 20 ans d'expérience - MST de Cartographie. Recherche société intéressée par les SIG. Ecrire à la revue n°614 ou Tél. : 43 45 63 30.

## Le produit GeoNet d'Enghouse en première place dans l'étude ESKOM

Dans un récent rapport d'évaluation des différents produits AM/FM (Automated Mapping / Facilities Management) que publie ESKOM Distribution Technology, réalisé pour le compte du Comité de Gestion des Technologies de Distribution (Distribution

Technology Management Committee), le produit GeoNet distribué par SST (Stocks Systems Technology) en Afrique du Sud est apparu largement en tête des sélectionnés.

Le document contient un historique sur l'AM/FM, ses applications dans le domaine du transport et de la distribution électriques, et souligne sa complémentarité avec les produits de CAO (conception). De plus, cette étude met en évidence les différences existantes entre un système AM/FM et un Système d'Information Géographique (SIG).

(Enghouse - France - Euro Parc du Chêne - Case 75 - 4 rue Edison. F - 69673. Lyon Bron - Cedex - Tél. : 72 15 29 60 - Extrait de "La lettre d'Enghouse")

## Conférence Internationale sur l'érosion cotière

Organisée par l'Observatoire de l'environnement littoral et marin de Manche et Sud mer du Nord, les 28-29 novembre à Boulogne sur Mer.

## Lancement mondial d'ArcView 2 le 5 Octobre à Paris

Fondée en 1969 en tant que laboratoire de recherche dédié à l'amélioration des méthodes de traitement de l'information géographique, ESRI (Environmental System Research Institute) est devenu un éditeur de SIG, avec des utilisateurs situés dans le monde entier. Sa gamme de produits comprend ARC/INFO, un SIG généraliste, ArcCAD, un SIG dans l'environnement AutoCAD et ArcView, logiciel d'exploration des données géographiques.

ArcView fait partie d'une série de logiciels et de modules qui forment le noyau de la prochaine génération de produits SIG et qui apportent tous les éléments nécessaires à la création d'un véritable SIG d'entreprise. ArcView 2 exploite l'interface utilisateur intuitive de son prédécesseur ArcView 1 mais inclut de nombreuses nouvelles fonctionnalités, telles que de puissants outils d'analyse spatiale, la capacité à mettre en relation des données tabulaires variées. ArcView 2 définit un nouveau standard en matière de gestion, de visualisation et d'analyse de l'information.

"ArcView 2 est un composant stratégique essentiel de notre solution SIG pour les entreprises" Commente Jack Dangermond, Président d'ESRI. "Il permet l'organisation, l'intégration et la distribution de toute une série de données disparates pour des organismes et des entreprises qui croulent trop souvent sous la multitude des données à gérer. ArcView 2 ne permet pas seulement d'accéder simplement aux bases de données d'ARC/INFO pour faciliter les prises de décision au niveau de l'entreprise, c'est aussi un SIG autonome particulièrement robuste. Il dispose de capacités étendues d'analyse et assure un accès facile aux informations de référence pour les décisionnaires, les chercheurs et les opérationnels de l'entreprise".

En intégrant la géographie aux systèmes de traitement de l'information traditionnels, permettant d'utiliser n'importe quel tableur ou base de données, ESRI a créé un SIG facile d'accès et déjà populaire : le SIG personnel.

# Laser3D Newton



## *Vous avez besoin...*

de mesurer l'extérieur, l'intérieur de bâtiments,  
d'ouvrages d'art, de produits industriels, etc.  
Avec ou sans prisme, de restituer des plans  
(dxf, custom, etc.)

## *Votre outil doit être...*

- Rapide
- Simple d'utilisation
- Tout terrain
- Communiquant



**LASER 3D, VOTRE LOGICIEL  
D'ACQUISITION DE MESURE  
2D, 3D, PORTÉ SUR LE NEWTON\*  
D'APPLE COMPUTER FRANCE**

**Géide**  
SYSTEMES

**Venez  
découvrir  
l'innovation  
en  
direct**

**au  
CITOP  
les 6,7,8  
décembre  
stand n°21**



Pour toute demande de documentation retournez ce coupon-réponse à  
**GÉOïDE Systèmes,**  
1, rue de la Briqueterie - A340 - 27200 Vernon  
Tél. 32 21 17 50 - Fax. 32 21 17 60

NOM et PRENOM : \_\_\_\_\_

SOCIÉTÉ : \_\_\_\_\_

ADRESSE : \_\_\_\_\_

TÉL. : \_\_\_\_\_

\* NEWTON : nouveau concept d'ordinateur portable sans clavier, l'utilisateur écrit sur l'écran à l'aide d'un stylet, c'est le carnet de terrain idéal, léger, résistant, puissant.  
Le NEWTON est doté de toutes les fonctions de communication. Il fonctionne aussi bien dans l'environnement Apple que PC.  
NEWTON, APPLE sont de marques déposées d'Apple Computer INC.



# BORNE TELLUBLOC

point géodésique haute définition



*le Point  
de Référence*

 **TELLURA**

Z.I. - B.P. 14 - 17290 AIGREFEUILLE D'AUNIS  
TEL. : 46 27 51 05  
FAX. : 47 27 50 81 ou 46 35 61 00



Parmi les fonctionnalités étendues d'ArcView, on peut citer :

- Analyse géographique avancée
- Edition graphique, mise à jour, modification
- Edition de thèmes
- Utilisation d'un niveau calque
- Composition de cartes
- Liens multi-média
- Intégration d'images (images raster scannées, images satellites...)
- Géo-codage
- Gestion de bases de données relationnelles
- Personnalisation des données
- Développement d'applications et personnalisation de l'interface par un langage de programmation orienté-objet
- Conception multi plates-formes (PC, Mac, Unix...)
- Architecture client/serveur
- Système d'aide en ligne en hypertexte

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

*Calendrier 1995*

FIG : Tél. : +31 5146-1854 - Fax : +31 5146-3898

## Innovation dans l'implantation de points géodésiques

Le développement du GPS amène de plus en plus les géomètres et géodésiens à matérialiser des points de références.

La technique générale employée à ce jour, est la fabrication sur place de blocs béton de dimensions variables. Elle peut être faite en sous-traitance ou par les opérateurs eux-mêmes ; mais dans les deux cas, cette technique est très onéreuse et contraignante par sa logistique lourde.

La société TELLURA spécialisée dans la matérialisation industrielle et signalétique a mis au point une borne géodésique industrielle haute définition.

L'originalité de ce nouveau produit permet à l'utilisateur de matérialiser sur place un point très rapidement, même dans les sites dont l'accès est difficile.

Il comprend une tête en forme pyramidale dont les poids et dimensions varient suivant la valeur du point. Cette tête est fixée au sol par des chevilles industrielle à dimensions variables qui, lorsqu'elles sont implantées, rendent automatiquement le produit **Monobloc** grâce à un système autobloquant breveté.

Testé par les grandes administrations telles que : l'IGN, SNCF, les sociétés autoroutières, ce produit a convaincu nombre de professionnels et devrait être généralisé pour l'implantation des points GPS.

(Tellura - Zone industrielle - BP14 - 17290 Aigre Feuille d'Aunis)

## Chez Geosig

Une révolution dans les méthodes de Levé Topographique, c'est ce que prévoit la Société GEOSIG en annonçant son nouveau produit :

Terminé les croquis, les carnets de terrain, la codification aveugle, les décalages de points, le plan est dessiné à 90 % sur le terrain, au fur et à mesure du levé ce qui permet un contrôle immédiat.

Au lieu d'être stockés dans un carnet électronique, les angles, les distances des points levés par une station complète sont envoyés par radio au "Pen Computer" du technicien. Ils sont alors immédiatement calculés dans un système de coordonnées provisoires et s'affichent à leur place "réelle". On peut à ce moment leur affecter un symbole, créer des jonctions, insérer des textes, des habillages...

Finis les oublis, les erreurs d'interprétation, le plan est ainsi dessiné dans sa quasi totalité au moment même de la mesure.

De retour au bureau, il ne reste plus qu'à calculer les coordonnées définitives des stations et, laisser le logiciel redresser les points et les habillages au moyen des transformations adéquates.

Le dessin peut alors être exporté au format DXF vers les logiciels standards de DAO (Auto CAD, MicroStation...) pour la réalisation des finitions.

Interfacé avec la plupart des stations de levé, ce système entièrement conçu en France a fait l'objet d'un dépôt de brevet, et sera visible sur le stand GEOSIG à l'Assemblée Générale de la Fédération des Géomètres Experts les 29 et 30 Novembre 1994 au Méridien Montparnasse de Paris.

(GEOSIG SA - 14 Rue du Bois Sauvage - 91055 EVRY Cedex - Tél. : (1) 60 77 63 29 - Fax : (1) 60 77 62 37)

## Agenda

6-8 décembre 1994. Paris, France. Conférence Internationale sur la Topographie (CITOP) : Geodesy and Engineering Survey of Large Linear Projects. Contact : André Bailly. Tél. : (1) 43 98 84 80 - Fax : (1) 47 53 07 10.

9 décembre 1994. Londres, Royaume Uni. Conférence Internationale sur la Topographie (CITOP) : Geodesy and Engineering Survey of Large Linear Projects. Contact : David Wallis. Tél. : +44 732 864111 - Fax : +44 71 334 3791.

7-10 février 1995. Cape Town, Afrique du Sud. FIG Survey 95 Commission 6. Contact : The Secretary FIG Symposium. Dept of Surveying & Geodetic Engineering. University of Cape Town, Rondebosch. 7700 Afrique du Sud. Tél. : +27 21 650 3726

26 mars - 1er avril 1995. La Haye, Pays Bas. International School - GPS School for Geodesy. Contact : International School GPS for Geodesy, c/o Netherlands Geodetic Commission. P.O. Box 5030. NL-2600 GA Delft. Pays Bas. Tél. : +31 15 782819. Fax : +31 15 782745. E-mail : schroder tudgv1.tudelft.n.

27-31 mars 1995. La Haye, Pays Bas. Joint European Conference and Exhibition on Geographic Information. Contact JEC Conference on Geographic Information, AKM Congress service. Clarastrasse 57. PO Box, CH 4005 Baset, Suisse. Tél. : +41 61 691 88 88 - Fax : +41 61 691 81 89.

5-7 avril 1995. Braunschweig, Allemagne. 38. DVW-Seminar, FIG Symposium: Gebäudeinformationssysteme. Contact: B. Schrader, Institut für Vermessungskunde. TU. Postfach 3329. 38023 Braunschweig. Allemagne. Tél. : +49 0531 391 74 72 - Fax : +49 0531 391 55 99.

2-5 mai 1995. Cologne, Allemagne. Geotechnica 95 : International Trade Fair and Congress for Geo-Sciences and Technology. Contact : Messe- und Ausstellungs-GmbH Cologne. Messeplatz 1. Postfach 210760. D-5000 Köln 21, Allemagne. Tél. : +49 0221 821 2494 - Fax : +49 0221 821 2574.

10-11 mai 1995. Macon, France. COMET - Communication et Système d'Information sur le territoire (échange électronique de données géomatiques). Contact : AFT. 136 rue de Grenelle. 75007 Paris. SP - Tél. : (1) 43 98 84 80.

13-19 mai 1995. San Antonio, Texas, USA. 1995 ASPRS/ACSM Annual Convention. Contact : Denise Cranwell, ACSM, 5410 Grosvenor Lane, Suite 100. Bethesda, MD 20814-2122. USA.



21-26 mai 1995. Berlin, Allemagne. 62nd FIG Permanent Committee Meeting. Contact : FIG PO Box 2. Belconnen ACT 2616, Australie. Tél. : +61 6 253 2922 - Fax : +61 6 253 1741.

3-9 septembre 1995. Barcelone, Espagne. 17th International Cartographic Conference. Contact : Congress Service, ICC, Balmes 209-211. E-08006 Barcelona, Catalonia, Espagne. Tél. : +34 3 218 87 58 - Fax : +34 3 218 89 59

## 2ème Challenge Collinet du Géomètre Topographe

(Dernière minute : nous recevons cette information de "Collinet Atlantis")

Le succès du 1er Challenge organisé en Loire Atlantique en 1992 nous a valu de nombreuses invitations à récidiver.

Aussi profitons-nous du 3ème CITOP pour lancer le second Challenge Collinet du Géomètre Topographe.

Le premier Challenge associait nivellement direct et jeu de piste, bonne humeur et parcours plus ou moins sportif, précision et esprit d'équipe.

Très différent dans sa forme, sera notre 2ème Challenge, basé sur une idée originale et sympathique. Il s'inscrira dans la durée.

Nous léverons le voile, sur le stand Collinet, lors du 3ème CITOP.

(222-224 avenue du Saint-Laurent - 44811 St Herblain Cedex)



### DOREL

La société Dorel, entreprise de reprographie, offre\* à tous les adhérents de l'AFT, pour tout nouveau dossier de location de matériel, une prolongation d'une année supplémentaire gratuite.

Dorel sera présente au CITOP du 6 au 8 décembre.

\*Offre valable jusqu'en janvier 1995 pour tout nouveau dossier de location Dorel d'une durée minimum de 3 ans, hors consommables et maintenance SAV restant à la charge du client.

### DOREL A VOTRE SERVICE SUR LA CITOP

C'est la société DOREL présente au stand 118 qui assurera gratuitement pour les congressistes, pendant toute la durée des conférences et de l'exposition, la reproduction et la multiplication des documents nécessaires.

**ALGADE :**  
55 60 50 46

CANEVAS & POLYGONATION  
TRAVAUX CADASTRAUX & S.I.G.  
GEOPHYSIQUE  
RADIO NAVIGATION & BALISAGE  
MICRO TRIANGULATION

### Algade ( groupe Cogema )

met à votre service cinq années d'expérience en G.P.S.. Aujourd'hui sa maîtrise du système lui permet de proposer de nombreuses applications qui répondent nécessairement à votre besoin. Sur un simple appel, un technicien G.P.S. vous ouvre de nouveaux horizons ...



**ALGADE**  
Topographie / Aménagement de site  
RN 20 - B.P. 46  
87250 Bessines-sur-Gartempe  
Tél. 55 60 50 46 / Fax 55 60 50 59

## DÉTERMINATION PRÉCISE DES ALTITUDES RELATIVES ET ABSOLUES PAR LA MÉTHODE GPS

Erik DOERFLINGER - chercheur à GEOID, étudiant en doctorat au Laboratoire de Géophysique de l'Université de MONTPELLIER

La méthode la plus précise pour mesurer la position verticale sur une courte ligne de base reste le nivellement direct classique. Son coût devient vite élevé pour de longs cheminements. Sur des terrains accidentés, son utilisation s'avère même difficile et perd rapidement en précision. Le GPS (Global Positioning System) offre une alternative relativement peu coûteuse, portable et précise qui fonctionne sur toutes les longueurs de ligne base et sur tous les types de terrain découvert.

Le cas particulier des hauteurs mesurées par GPS pose 2 problèmes distincts : dégradation de la précision de ces hauteurs due à la réfraction troposphérique et la détermination absolue des hauteurs par rapport au géoïde. Depuis un an la société GEOID s'est engagée dans un programme de recherche en collaboration avec le Laboratoire de Géophysique et Tectonique de l'Université de Montpellier II en vue de la détermination précise des altitudes relatives et absolues par la méthode GPS, ceci dans le cadre d'un contrat de collaboration avec le CNRS financé par le Ministère de la Recherche.

### EFFET DE LA RÉFRACTION TROPOSPHÉRIQUE SUR LES HAUTEURS GPS

La précision sur la composante verticale des mesures GPS peut être dans certains cas jusqu'à trois fois inférieure aux composantes horizontales. Ceci est propre à la géométrie du système, en effet le récepteur ne voit pas les satellites placés dans la demi-sphère inférieure (figure 1). Ainsi les différents délais perturbant le signal affectent principalement la composante verticale, et il n'y a ni symétrie du signal ni équilibre des erreurs.

Les propriétés dispersives de la ionosphère sur les ondes électromagnétiques entraînent une baisse de précision très sensible sur le résultat GPS. L'utilisation de récepteurs bifréquence permet aujourd'hui de s'affranchir de ces perturbations.

La principale source d'erreur sur la composante verticale est due à la réfraction troposphérique. C'est une perturbation déjà rencontrée avec les méthodes topographiques traditionnelles. Elle donne un allongement apparent de la distance Satellite-antenne GPS.

Cet allongement a deux composantes:

- La composante hydrostatique ou composante sèche (environ 2,4 m au niveau de la mer). Elle peut être corrigée en utilisant des mesures de pression barométrique au niveau du sol. La précision obtenue après correction est meilleure que 5 mm.

- La composante humide (de 1 à 30 cm dans la direction du zénith) est difficilement modélisable car la teneur en eau est très variable en fonction de l'altitude. La correction de l'allongement "humide" s'opère généralement de trois façons :

- On utilise des modèles standards d'atmosphère utilisant généralement les mesures météorologiques au sol.

- On utilise des modèles numériques de délai sans calibration a priori et dont l'évolution temporelle est ajustée par des filtres prédictifs.

- Le délai zénithal est déterminé à l'aide de radiomètres à "vapeur d'eau" zénithaux ou orientables (mesure de température de brillante à 23.8 et 31.5 GHz pour la vapeur d'eau et l'eau atmosphérique).



Figure 1: la géométrie du système contraint mieux les composantes horizontales X et Y que la composante verticale.

Les études récentes montrent que les corrections les plus justes sont apportées par l'utilisation des radiomètres à "vapeur d'eau" orientables (PWVR). Cela est particulièrement vrai dans le cas où l'asymétrie azimutale (variation spatiale) et la variation temporelle de la teneur en vapeur d'eau sont grandes.

En collaboration étroite avec l'Institut de Géodésie et de Photogrammétrie de l'ETH (ZURICH) nous avons pu tester l'influence de la "troposphère humide" sur la détermination du vecteur GPS. Notre étude s'est portée sur une ligne de base de 50 km de longueur et présentant des dénivelés de 1500 m : La ligne Mont Aigoual (Observatoire Météo)- Aniane (Observatoire Astronomique). Cette campagne fut réalisée en juillet 94 avec les 2 radiomètres à vapeur d'eau orientables ETH-CAPTEC, et deux stations météo disposées au voisinage de récepteurs GPS. Les données seront traitées à l'ETH à la fin de l'année 1994.



Photo 1 : Radiomètre à vapeur d'eau orientable ETH-CAPTEC (à gauche) et antenne GPS (à droite) en cours d'acquisition à la station météorologique du Mont Aigoual.

Un traitement préliminaire des données GPS seules (figure 2) nous a permis d'observer une plus grande dispersion des hauteurs par rapport aux composantes planimétriques. D'autre part nous pouvons observer que la composante Est a aussi une dispersion supérieure à celle de la composante Nord. Ceci est dû à la trajectoire des satellites principalement orientée Nord-Sud.

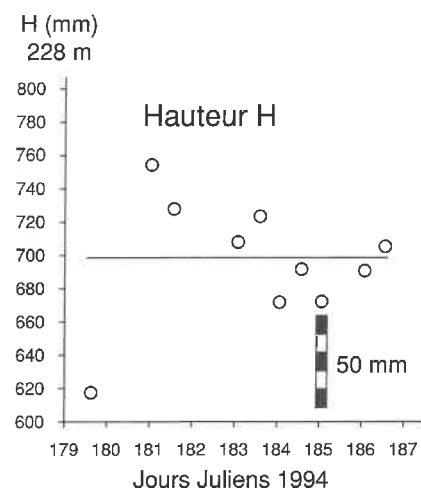
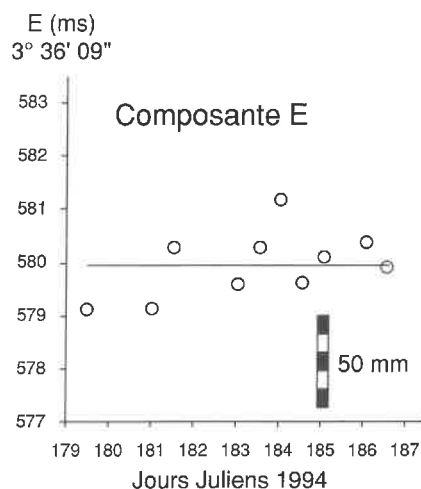
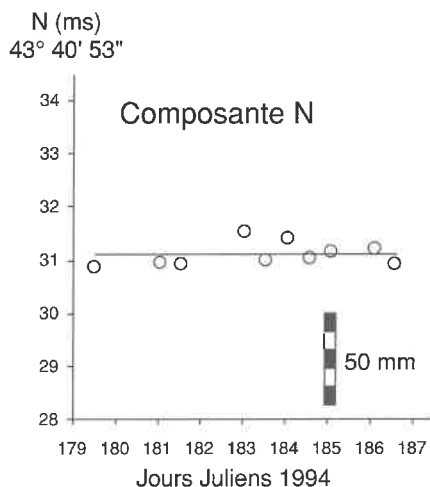


Figure 2 : Répétabilité de la mesure GPS suivant les trois composantes (Nord, Est et Hauteurs). Chaque point représente une session de mesure d'environ 6 heures. Le trait horizontal représente la moyenne des mesures.

Le but de cette étude est d'optimiser les résultats lors de déterminations précises de hauteurs par GPS (méthodologies particulières, équipements complémentaires, choix des sites, choix des périodes d'observation, analyse des conditions atmosphériques environnantes, etc.).

Nous comptons sur les résultats des données prochainement traitées pour quantifier expérimentalement les retards du signal, analyser au mieux les conditions d'environnement de la mesure, et tenter de proposer une procédure de mise en œuvre.

### EXPRESSION DES HAUTEURS GPS PAR RAPPORT AU GÉOÏDE

Par nivellement classique nous obtenons des hauteurs référencées à une surface isopotentielle de pesanteur (hauteurs orthométriques) : le **géôïde**. Ce sont les hauteurs du Nivellement Général de la France données par l'IGN (corrigées en altitudes normales).

Par positionnement GPS, nous obtenons des hauteurs référencées à un système théorique de référence (hauteurs géocentriques ou ellipsoïdales) : le **WGS84**.

L'ellipsoïde de référence a été défini et choisi pour

s'adapter au mieux en chaque région du globe au géoïde (figure 3). La différence entre le géoïde et l'ellipsoïde de référence est appelée hauteur du géoïde (ou ondulation du géoïde). La différence entre la hauteur ellipsoïdale et la hauteur du géoïde permet donc d'obtenir la hauteur orthométrique (figure 3).

Nous avons ainsi : Z : hauteur orthométrique  
H : hauteur ellipsoïdale  
N : hauteur du géoïde

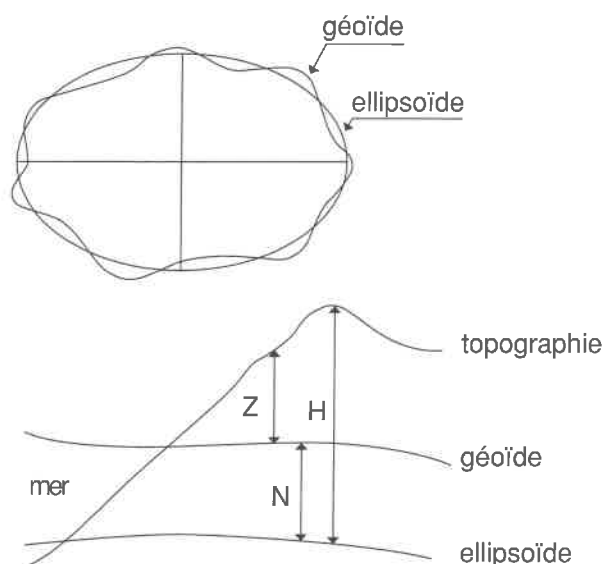


Figure 3 : Relation entre ellipsoïde et géoïde

Malheureusement le problème n'est pas si simple car les modèles de géoïde existants (IGN70, OSU91A...) ont une précision absolue de quelques mètres sur les zones à topographie perturbée.

La pente du géoïde fournie par ces modèles peut être utilisée lors d'observations différentielles par rapport à un point nivelé (hauteur orthométrique connue et différence de hauteurs ellipsoïdales mesurées par GPS).

Une méthode plus précise consiste à calculer ponctuellement pour chaque chantier un géoïde local en réoccupant avec des récepteurs GPS un certain nombre de points nivelés.

Il nous a paru intéressant d'étudier localement la forme du géoïde en essayant d'atteindre une précision équivalente à celle du GPS, le but étant de trouver une méthodologie optimale pour la détermination des altitudes orthométriques (et normales) à l'aide du GPS.

Nous avons prévu de comparer les résultats obtenus par la combinaison GPS-nivellement direct aux résultats des méthodes fournissant un géoïde local gravimétrique et astrogéodésique (déviation de la verticale).

Nous avons choisi comme zone d'étude la partie Orientale des Pyrénées. Cette région, proche de Montpellier, présente les caractéristiques voulues (zone accidentée) pour étudier l'effet de la topographie sur l'estimation du géoïde. De plus, un réseau géodésique, dit "réseau catalan POTSIS", a été réalisé récemment, sur lequel tous les travaux GPS ultérieurs peuvent s'appuyer. Enfin nos collègues de l'Institut Cartographique de Catalogne (Barcelone) ont réalisé de nom-

breux travaux de terrain qui ont abouti à une estimation locale du géoïde (UB91).

La détermination d'un modèle de géoïde local précis sur notre zone d'étude et la comparaison envisagée passent par l'acquisition de trois types de données.

### 1. Les mesures gravimétriques

A partir de données gravimétriques il est possible de calculer un géoïde par intégration des variations de pesanteur. En domaine montagneux il est nécessaire d'appliquer des corrections de terrain (utilisation d'un M.N.T.) pour obtenir une bonne précision.

Nous avons commencé à rassembler les données gravimétriques existantes : celles-ci proviennent en grande partie du BRGM (Bureau de Recherche Géologique et Minière) et de différents laboratoires universitaires (Montpellier...) ayant travaillé sur la région. Une campagne de mesure est prévue pour densifier les mesures sur certaines parties de la zone.

### 2. Les mesures Astrogéodésiques (déviation de la verticale)

Les mesures astrogéodésiques nous donnent en un point l'angle entre la normale au géoïde et la normale à l'ellipsoïde, i.e. la pente du géoïde en ce point.

Les déviations de la verticale à détecter sont de l'ordre de la dizaine de secondes. Utilisant la caméra zénithale de l'Institut de Géodésie et Photogrammétrie de l'ETH-ZURICH, nous avons réalisé une campagne nocturne de mesure en Juin 1994. L'analyse préliminaire des données a montré la bonne qualité de celles-ci. Le traitement particulièrement complexe sera réalisé à Zurich à la fin 94. Une collaboration avec l'Institut Cartographique de Catalogne à Barcelone est prévue pour l'interprétation finale.

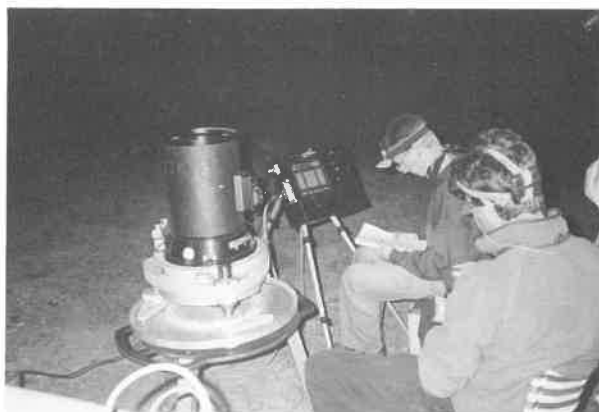


Photo 2 : Utilisation nocturne de la caméra zénithale (à gauche), A droite se trouve l'acquisition numérique (temps, écart à l'horizontale du géoïde, numéro de la photo...)

### 3. Le nivellement GPS et le nivellement orthométrique

Nous avons utilisé des mailles du réseau NGF qui fournissent des altitudes normales. La moitié des 50 points retenus appartient à des mailles du premier et deuxième ordre, l'autre moitié à des mailles d'ordre



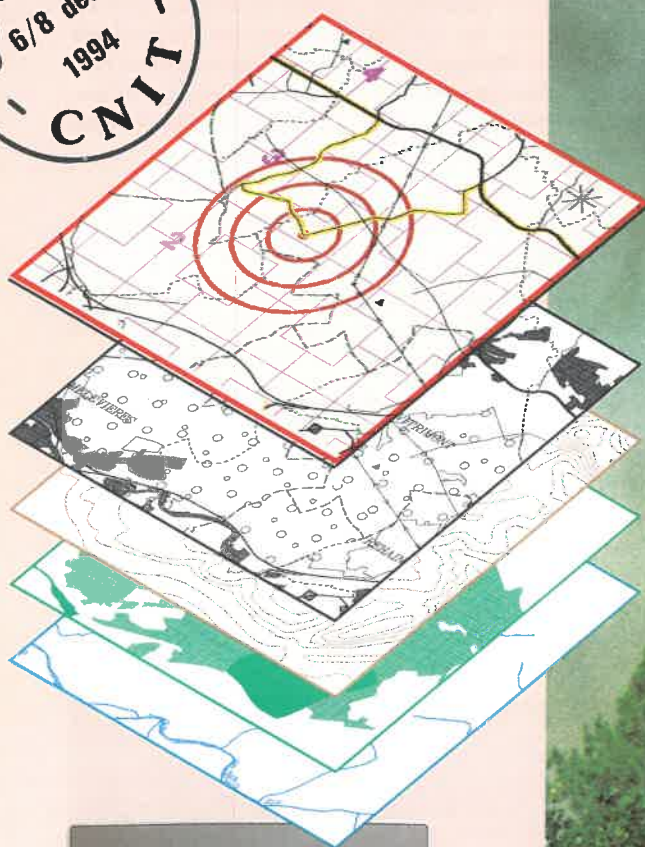
# Nouveau : les Raster dans Ascodes-3

L'intégration des images Raster dans Ascodes-3, offre à l'utilisateur une multitude d'applications nouvelles.

C'est la disponibilité d'un fond de plan, économique mais parfaitement positionné, servant de support graphique aux données vectorielles d'Ascodes-3.

C'est la possibilité de représenter des données de qualité, permettant analyses et études, sur une image, par thème ou globale, du terrain.

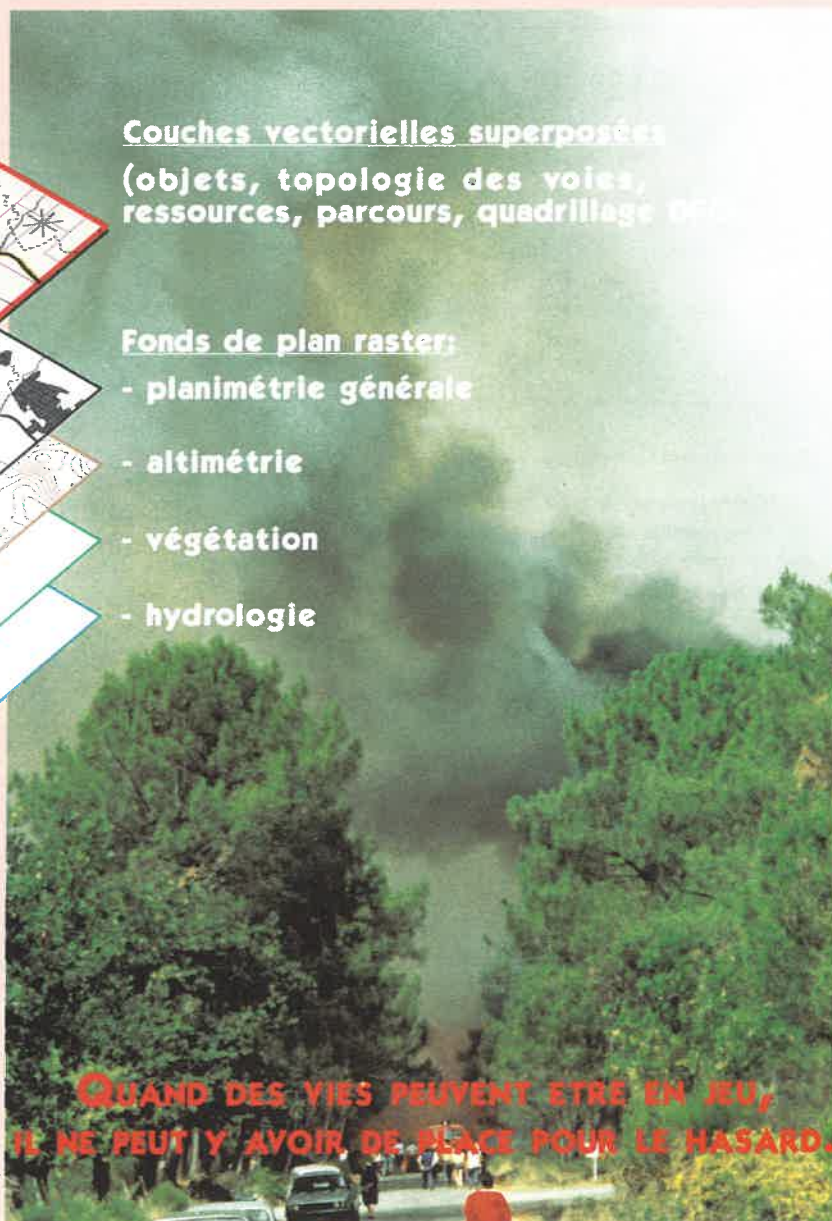
## Exemple: Ascodes-3 et la Protection Civile.



Couches vectorielles superposées  
(objets, topologie des voies, ressources, parcours, quadrillage DFC)

Fonds de plan raster:

- planimétrie générale
- altimétrie
- végétation
- hydrologie



**QUAND DES VIES PEUVENT ETRE EN JEU,  
IL NE PEUT Y AVOIR DE PLACE POUR LE HASARD.**

## Ascodes-3 TOUT SIMPLEMENT



8, rue de la Maison Rouge  
77185 LOGNES  
Tél.: (1) 60 17 34 21  
Fax: (1) 60 17 27 58

### Demande d'information

*Je souhaite recevoir une documentation sur Ascodes 3*

Nom: \_\_\_\_\_ Prénom: \_\_\_\_\_

Entreprise: \_\_\_\_\_

Adresse: \_\_\_\_\_

Code Postal: \_\_\_\_\_ Ville: \_\_\_\_\_

A retourner à JSInfo

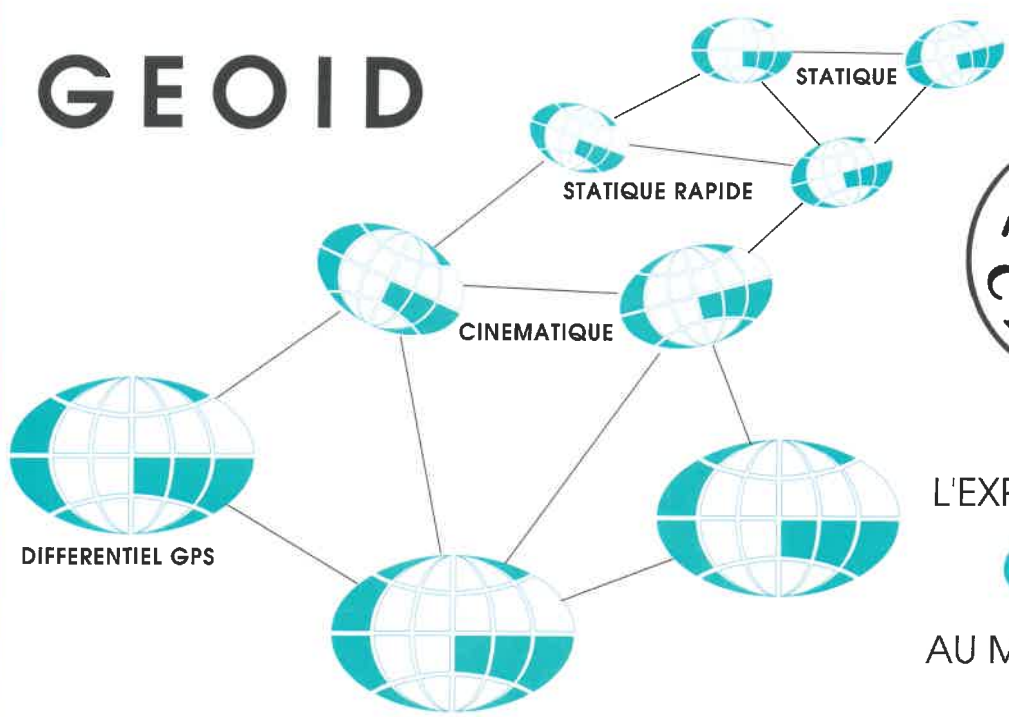
inférieur. Le choix des sites fut principalement conditionné par l'emplacement des repères de nivellement et le dégagement nécessaire à la mesure GPS. La campagne de mesure a duré sept jours (septembre 94) avec 4 récepteurs GPS bifréquence code P, 78 vecteurs indépendants ont été mesurés. Ce réseau est rattaché à 5 piliers du réseau géodésique Catalan.


Les différentes mesures relatives à la détermination du géoïde seront ensuite traitées, une analyse critique des méthodes sera opérée (rôle des corrections topographiques, nombre minimum de points NGF, nombre de points gravimétriques, contraintes données par les déviations de la verticale,...). Les résultats seront d'abord comparés puis intégrés à une démarche globale.

*L'étude dont nous venons de parler a produit à ce jour un grand nombre de données qu'il va être long et fastidieux de traiter. Les traitements vont se dérouler jusqu'à dans les premiers mois de 1995, nous aurons alors les premiers résultats bruts intéressants qu'il faudra ensuite analyser avec soin.*

L'auteur est chercheur à la Société GEOID - Montpellier Technopole - 3 rue Jean Monnet - 34830 Clapiers

# GEOID





L'EXPERIENCE DU

## GPS

AU MEILLEUR PRIX

**GEOID** - Montpellier Technopole - 3, rue Jean Monnet - 34830 CLAPIERS - FRANCE

Tél. (33) 67 59 26 44      Fax (33) 67 59 28 42

## GÉOMÉTRIE ET GÉODÉSIE

Par André Fontaine

### RÉSUMÉ

*Ce panorama historique des problèmes posés par la mesure de la Terre a pour objectif de montrer tout l'intérêt qu'il y a de conserver les méthodes de la géodésie pour le traitement des observations GPS. En effet, seules ces méthodes permettent à tous les utilisateurs locaux de disposer pour toute la France et même l'Europe, d'un jeu unique de coordonnées planimétriques qui donnent directement les distances horizontales ramenées au niveau zéro. On évite ainsi la correction d'homothétie variable due aux hauteurs du géoïde au dessus de l'ellipsoïde, qui perturbe l'homogénéité des coordonnées géométriques et qui débouchera sans nul doute sur un désordre néfaste.*



Cet article voudrait seulement remettre en mémoire quelques notions connues, mais qui, après plusieurs siècles d'application pratique, se sont estompées derrière les réalisations dont elles sont le fondement. En particulier, on a un peu

oublié que la géodésie et la cartographie n'ont pas pour objectif de décrire la surface topographique, mais d'en construire un modèle mieux adapté aux occupations des hommes qu'une stricte représentation géométrique. Faute de se souvenir de ce point primordial et en raison des résultats issus du traitement des données satellitaires, on trouve jusque dans des textes normatifs des explications et des définitions dont le moins qu'on puisse dire est qu'elles manquent profondément de rigueur.

On va donc essayer dans ces quelques paragraphes de débrouiller l'écheveau des fils de la géodésie et de la géométrie, qui ne sont embrouillés qu'à cause de l'emploi de termes mal choisis. Par exemple, en ce qui concerne les calculs de positions de points à la surface de la Terre calculées à partir de mesures sur satellites, il serait plus heureux de parler de "géométrie spatiale" plutôt que de "géodésie spatiale", ce qui éviterait l'incompréhension qui entoure parfois l'usage des coordonnées cartésiennes ainsi obtenues. Réciproquement le modèle géodésique ne conduit à une représentation géométriquement correcte de la surface topographique qu'à condition de se borner à une zone de superficie restreinte.

### LA GÉODÉSIE

La mesure des terres apparut dès les premières sociétés administrées et elle engendra la géométrie. En quoi donc la mesure de la Terre est-elle fondamentalement si différente qu'on ait cru bon de créer un nouveau

mot ? Le terme "géodésie" naît au 17<sup>ème</sup> siècle avec les premières triangulations, ce qui montre qu'historiquement a été taxé de travail géodésique le fait de déterminer les positions relatives de points éloignés en les reliant entre eux par divers mesurages (d'angles ou de distances) de portée limitée. Pour déduire les coordonnées des points finaux de celles des points initiaux, on raboute les résultats des observations effectuées aux points intermédiaires.

*La géodésie a comme première caractéristique de progresser à petits pas pour aller loin.*

Mais la Terre est ronde et, dans cette démarche, il faut tenir compte de sa courbure. Les calculs en sont compliqués; faut-il pour autant introduire un mot nouveau puisqu'il existe une géométrie dans l'espace ou une géométrie des surfaces ? Que s'est-il donc passé ?

La précision des mesures s'étant améliorée, on a été obligé d'admettre que la surface topographique ne devait plus être considérée comme une surface géométrique simple (sphère), ce qui sautait aux yeux mais avait pu être négligé jusque là. Pourquoi, dès lors, ne pas en être venu à une détermination directe des coordonnées cartésiennes des points de la surface topographique par calcul des différences de coordonnées ( $dX$ ,  $dY$ ,  $dZ$ ) entre les différents points de cette surface ? Pour deux raisons simples :

*on ne disposait pas des appareils capables de le faire avec précision,*

*la connaissance géométrique de la surface topographique était sans intérêt pratique.*

Etant donné les seuls instruments optiques disponibles aux 17<sup>ème</sup> et 18<sup>ème</sup> siècles, calculer des différences de coordonnées cartésiennes eut demandé de pouvoir déterminer les cosinus directeurs de la direction du point visé. Or, très rapidement, on s'aperçut qu'en raison de la réfraction atmosphérique, cette mesure était imprécise dans le plan vertical du point de station passant par le point visé. Il fallut donc se contenter du mesurage d'angles de plans verticaux; la verticale jouait un rôle primordial.

Vers la même époque, la théorie de la gravitation



avait fait apparaître une notion nouvelle, la différence de potentiel, qui est liée au travail reçu ou fourni quand on passe d'un point à un autre et dont la connaissance est, du point de vue des activités humaines, bien plus intéressante que celle de coordonnées géométriques.

Tout naturellement, on fut conduit à prendre une surface équipotentielle comme référence et à découper la géodésie en deux parties indépendantes. A tout point de la surface topographique, on associe :

*une longitude et une latitude*, ces deux coordonnées étant calculées de façon telle que les distances, mesurées dans l'espace et ramenées à l'horizontale au niveau zéro, soient conservées sur la surface de référence, en l'occurrence d'abord assimilée à une sphère, puis à un ellipsoïde de révolution

*une altitude*, cette troisième coordonnée étant égale à la distance du point dans l'espace à la surface de référence.

Cette partition en planimétrie et altimétrie constitue le véritable acte de naissance de la géodésie. Les grands définies ci-dessus n'ont plus les caractéristiques de coordonnées géométriques dans un trièdre de référence orthonormé. Pour simplifier le langage, on parlera d'*espace géodésique* pour désigner l'ensemble des longitude, latitude et altitude d'un point et d'*espace géométrique* pour désigner l'ensemble de ses trois coordonnées cartésiennes.

Il faut toujours garder à l'esprit que la géodésie attribue à tout point de la surface topographique un *point correspondant* sur la surface de référence sans qu'on connaisse le vecteur qui joint ces deux points. De là, vient toute l'impossibilité du passage de la géodésie à la géométrie.

## DEUX SIECLES DE TRANQUILITÉ

Les bases posées au milieu du 18<sup>ème</sup> siècle, la géodésie s'est développée et a fourni aux usagers les coordonnées qui répondaient à leur attente. Il était clair pour tous que l'ellipsoïde de référence choisi n'était qu'un artifice de calcul pour tenir lieu de surface équipotentielle de niveau zéro, laquelle prit au début du 19<sup>ème</sup> siècle le nom de géoïde. Cet artifice, parfaitement en accord avec la précision des mesures, présentait l'avantage d'une élaboration facile de cartes et de plans. Sur de vastes territoires les géodésiens calculèrent des réseaux géodésiques et localement, à partir des coordonnées qu'ils diffusaient, les géomètres firent en toute quiétude de la géométrie. *"Tout était pour le mieux dans le meilleur des mondes"*.

## LA GÉODÉSIE TRIDIMENSIONNELLE

Les progrès en précision et l'imagination des géodésiens poussèrent à ne pas en rester là et à s'intéresser à la forme du géoïde. Rien de plus justifié. Au cours de la première moitié du 20<sup>ème</sup> siècle commencèrent à se répandre des cartes de hauteur du géoïde par rapport à un ellipsoïde de référence. Ces cartes, établies par diverses méthodes, le furent à l'IGN par astrogéodésie.

D'un autre côté, certains remarquèrent : "tous les mesurages géodésiques portent sur des éléments géométriques simples (angles entre plans verticaux ou distances); alors pourquoi toutes ces corrections pour se ramener à des calculs sur l'ellipsoïde de référence et pourquoi ne pas faire appel aux formules de la géométrie dans l'espace ?". Aussitôt pensé, aussitôt fait; ainsi pris corps la géodésie tridimensionnelle.

Mais tant qu'on considère qu'on travaille sur une surface, lieu des points tels :

*qu'ils sont situés sur la normale à l'ellipsoïde de référence en leurs points correspondants à une distance de cette dernière surface égale à leur altitude,*

*que les différences des coordonnées planimétriques de leurs points correspondants sur l'ellipsoïde donnent directement les distances horizontales au niveau zéro,*

on ne change rien aux hypothèses de la géodésie et les résultats obtenus par voie tridimensionnelle sont rigoureusement identiques à ceux établis par ce qu'on pourrait appeler la méthode de calcul traditionnelle. On en trouve un exemple à l'IGN dans la dernière compensation du réseau tunisien.

Même si la géodésie tridimensionnelle ne touche en rien aux concepts fondamentaux, l'emploi des formules simples de la géométrie dans l'espace tend à accréditer l'idée que l'espace géodésique est identique à un espace géométrique.

## LA GÉOMÉTRIE SPATIALE

Le grand bouleversement est tombé du ciel. Dès les débuts des lancements de satellites artificiels, les Américains mirent sur orbite des satellites ballons capables de réfléchir la lumière du soleil ou des satellites à flashes qui furent les uns et les autres photographiés sur le fond des étoiles. On avait ainsi par l'intermédiaire de ces points hors de l'atmosphère des relais pour atteindre des points éloignés à la surface de la Terre; on put même franchir les mers et les océans. Apparemment, rien de très révolutionnaire. Pourtant, ces méthodes optiques sortaient du champ de la géodésie. En effet,

on ne progressait pas à petits pas,

les mesures sur photographies donnaient les cosinus directeurs de la direction du satellite, puisque la réfraction pour un objet hors de l'atmosphère est calculable avec précision (réfraction astronomique).

Les nécessités qui avaient présidé à la naissance de la géodésie étaient supprimées : on faisait de la géométrie. Mais en même temps, on incluait ces nouvelles techniques dans la géodésie qu'on qualifiait de spatiale. On peut chercher les raisons de l'emploi de ce vocabulaire défectueux dans les conditions de l'époque :

d'une part, la mise en œuvre des nouvelles méthodes demandait des moyens importants dont seuls disposaient les services d'Etat,

d'autre part, pour pratiquer et contrôler la géométrie spatiale, il fallait s'appuyer sur des coordonnées



**AERIAL**, toutes vues aériennes.

consultez l'Annuaire Electronique

Nom : AERIAL

Loc. : AIX

Dépt. : 13





connues, homogènes sur des territoires étendus et nécessairement issues des réseaux géodésiques existants.

Quoiqu'on sut que cette opération était en toute rigueur impossible, on détermina à partir des points géodésiques des points dont on admit qu'ils étaient sur la surface topographique. Comme on possédait des cartes de la hauteur du géoïde par rapport à l'ellipsoïde de référence, on ajouta cette hauteur à l'altitude du point pour obtenir la cote de la surface topographique par rapport à l'ellipsoïde, ce qui était juste. Mais on posa aussi que le point correspondant et le point de la surface topographique étaient situés tous deux sur la même normale à l'ellipsoïde à une distance égale à cette cote, ce qui était faux. Cette méthode fut employée pour calculer des coordonnées trirectangulaires déduites des coordonnées géodésiques et ainsi de les comparer à celles de la géométrie spatiale, car on estimait que les erreurs introduites étaient inférieures à l'imprécision des réseaux géodésiques.

Ce qui n'était qu'un pis-aller fut peu à peu érigé en panacée si ce n'est en vérité. Pourtant cette méthode revient à faire sur toutes les distances une homothétie parasite et variable qui altère les longueurs dans une proportion égale au rapport de la hauteur du géoïde sur le rayon de la Terre, ce qui dans bien des cas a des effets loin d'être négligeables. Ainsi, le réseau Europe 50 souvent pris pour base des comparaisons est associé à un géoïde dont les hauteurs dépassent 30 mètres dans le sud de l'Espagne, de l'Italie et de la Grèce. Par exemple, dans l'étude des compensations d'un réseau européen de géométrie spatiale, qui comportait des photographies de flashes et des mesures de distances par échos laser sur satellite, il était conclu à l'existence d'une altération des longueurs de 1/200 000 par rapport au réseau Europe 50 alors que cette valeur est justement égale à celle qui résulte de l'homothétie parasite apportée aux points du sud de l'Europe.<sup>1</sup>

On en vint même pour comparer deux réseaux géodésiques entre eux, par exemple la Nouvelle Triangulation de la France et l'Europe 50, par commencer à les transformer en coordonnées trirectangulaires pour calculer en chaque point leurs écarts linéaires et diffuser presque officiellement la moyenne de ces écarts comme étant le vecteur à utiliser pour passer d'un système à l'autre. Pourtant, les projections stéréographiques polaires de chacun des deux réseaux à partir d'un point commun au centre de la France auraient fourni un résultat aussi simple (un vecteur en coordonnées planes cartésiennes) et plus correct puisque non entaché de l'homothétie parasite inhérente aux coordonnées trirectangulaires issues de coordonnées géodésiques.

## LA TENTATION DE L'ABANDON DE LA GÉODÉSIE

Depuis quelques années, grâce au système GPS, la géométrie spatiale a atteint une précision qui surclasse les réseaux géodésiques actuels. La tentation est donc grande d'oublier tous les errements passés, de déclarer périmées les réalisations anciennes et de les remplacer

par des réseaux géométriques.

La situation est totalement inverse de celle du 18ème siècle, on ne ferait plus que de la géométrie. Cependant on rencontre quelques difficultés, car il est impensable que, pour les travaux les plus courants (implantation d'ouvrages, adduction d'eau, réseaux urbains,...), les géomètres ne disposent plus des données habituelles qui leur sont indispensables : les distances horizontales au niveau zéro et les altitudes. Pour les altitudes, on peut admettre que, pour l'instant, on continuera à les déterminer par nivellement de précision. Pour les distances horizontales au niveau zéro, on projette (au sens géométrique de ce verbe) le point de la surface topographique sur un ellipsoïde de référence, mais on se heurte alors en sens inverse à l'homothétie parasite due à la hauteur du géoïde et les coordonnées planimétriques ainsi calculées donnent une distance qu'il faut localement corriger de cette homothétie.

La géométrie spatiale est capable de progresser à grands pas et de fournir des coordonnées cartésiennes dans un système unique pour toute la Terre, mais son utilisation dans les travaux d'aménagement oblige à prévoir un découpage en facettes peu étendues, si on désire appliquer la même homothétie au sein de chacune d'elles. Quelle que soit la simplicité de cette opération, elle n'en revient pas moins à la création de systèmes locaux avec tous les inconvénients bien connus que comporte cette solution.

## LE RETOUR AUX SOURCES

La géodésie, comme on l'a déjà expliqué, consiste à découper le géoïde en une multitude de petites facettes et à les rassembler sur une surface de référence, un ellipsoïde de révolution; on applique ainsi le géoïde, surface inconnue, sur une surface mathématiquement bien définie. Grâce à cette méthode, on avait pu déterminer pour des territoires étendus un seul système de coordonnées géodésiques, qui conservait les distances horizontales au niveau zéro entre les points correspondants, mais qui ne permettait pas de remonter à une connaissance précise de la surface topographique. La géométrie spatiale ayant les propriétés contraires, on a intérêt à cumuler les qualités des deux méthodes.

Actuellement, l'IGN procède à la détermination d'environ 1 000 points répartis dans tout l'hexagone. Même s'il s'agit de mesurages à partir des satellites GPS, donc de l'obtention de coordonnées géométriques, on constate qu'on est revenu à une progression à petits pas. On ouvre ainsi la porte à une utilisation géodésique des résultats des mesures. Rien n'empêche en effet de transformer les dX, dY, dZ, calculés à partir des observations entre les points, en distances horizontales au niveau zéro et en azimuts, pour introduire ces deux types de données dans une compensation particulière et obtenir des coordonnées planimétriques munies des vertus géodésiques. Cette façon de procéder a d'ailleurs été utilisée pour la compensation des observations relatives à la figure de mise en place du tunnel sous la Manche.

<sup>1</sup> voir la brochure IGN, Groupe de Recherche de Géodésie Spatiale, intitulée "Compensations RCP G", par A. Fontaine, février 1973

Une dernière question se pose : en admettant le 1/1 000 000 comme précision à respecter, l'application du géoïde sur l'ellipsoïde, qui ne peut s'effectuer sans déformation, est-elle compatible avec cette précision ? Supposons que pour aller d'un point A à un point B, on emprunte deux chemins, la ligne directe ou le passage par un point C tel que le triangle ABC soit équilatéral. Prenant la distance AB égale à 64 kilomètres, on montre facilement que ces deux parcours, posés égaux sur le géoïde, ont un écart de 5 millimètres, lorsqu'on les calcule sur une surface dont le rayon de courbure diffère de 1 kilomètre par rapport à celui du géoïde, ce qui représente une précision légèrement supérieure au 1/10 000 000 pour une différence de courbure assez facile à atteindre.

*Donc, même avec des mesures GPS, la géodésie reste la meilleure méthode pour déterminer à l'échelle d'un pays et probablement de l'Europe un système unique de coordonnées planimétriques utilisables localement sans correction par les géomètres.*

## CONCLUSIONS

*Rendons à la géométrie ce qui appartient à la géométrie et à la géodésie ce qui appartient à la géodésie.*

On propose donc de calculer et de gérer pour chaque point deux types de coordonnées, utilisés indépendamment l'un de l'autre,

des coordonnées cartésiennes géométriques, X, Y, Z,

des coordonnées géodésiques : d'un côté une altitu-

de, de l'autre des coordonnées planimétriques résultant d'une compensation particulière des observations de la géométrie spatiale.

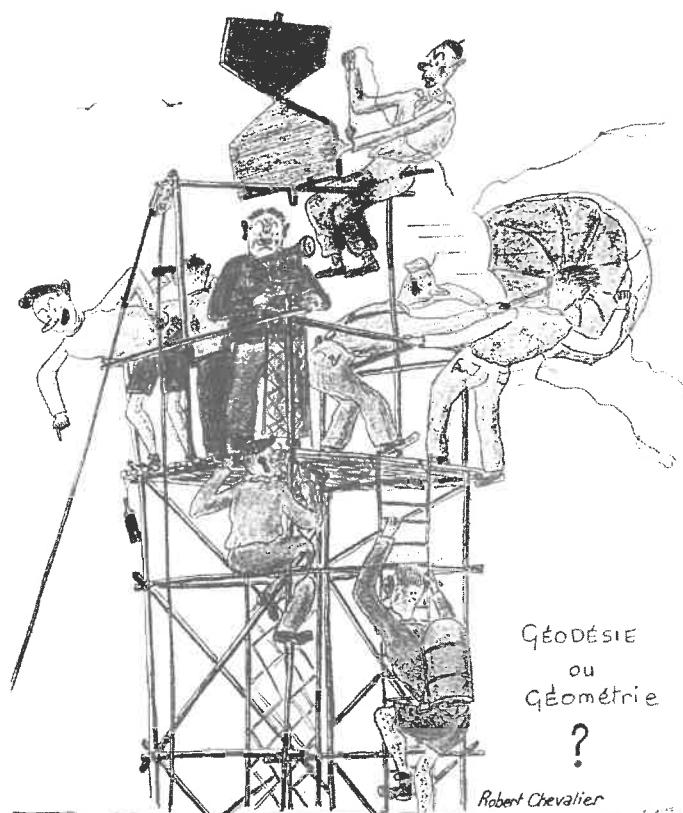
Ainsi, le plus grand nombre des utilisateurs, disposant d'un réseau géodésique très précis, n'aura pas à changer ses procédés de calcul, que ce soit à partir des mesures traditionnelles (angles, distances) ou à partir des mesures GPS de géométrie spatiale transformées en distances horizontales et azimuts. De plus, les coordonnées géodésiques n'étant pas influencées par la forme et la position du géoïde resteront stables quelles que soient les améliorations qui, dans l'avenir, ne manqueront d'être apportées à la détermination de cette surface.

Les utilisateurs pour qui la géométrie est indispensable (trajectoires des satellites, mouvements tectoniques, études des océans, ...) trouveront eux aussi les coordonnées qui leur conviennent.

Seuls les services publics chargés actuellement d'élaborer et de gérer les réseaux géodésiques verront leurs tâches très légèrement accrues, encore qu'il ne faille pas exagérer cette surcharge puisqu'il s'agira à partir des mêmes observations d'effectuer deux compensations séparées, ce qui à l'ère des ordinateurs est pratiquement négligeable.

*Ainsi, on voit qu'aujourd'hui rien ne s'oppose à cumuler les propriétés complémentaires de la géodésie et de la géométrie pour le plus grand bien de tous.*

Octobre 1994



## REPertoire DES ANNONCEURS N° 61

AERIAL .....	32
ALGADE .....	24
BSPLINE .....	40
BURNAT .....	46
CARL-ZEISS .....	38-39
DIEUTEGARD .....	74
DOREL .....	75
ECOLE CHEZ SOI .....	16
EUROBORNES .....	16
GEOID .....	29
GEOIDE SYSTEMES .....	19-21
GEOMETRI-INFORMATIQUE ..	45
HEWLETT-PACKARD .....	70
JS INFO .....	28
LEICA .....	2
MGI .....	42
PENTAX .....	48
SETAM-INFORMATIQUE .....	12
SNCF .....	9
SOKKIA .....	52
TELLURA .....	22
TOPCON-SLOM .....	37
GEOTRONICS .....	2° couv.
ARO-FRANCE .....	3° couv.
TOPO CENTER .....	4° couv.

# F.I.G.

Fédération  
Internationale des  
Géomètres

## "HYDROGRAPHIE COMMISSION 4 XXème congrès FIG

Melbourne, Australie

*Compte-rendu du Président Wilfried Schleider*



Le programme du congrès comprenait 8 sessions les 8, 10, 11 et 12 mars 1994 dont une en commun avec les commissions 5 et 6 (508/405/606) le 10 mars 1994 et une en commun avec la commission 3 (406/306) le 11 mars 1994.

20 communications furent sélectionnées et présentées, dont 16 en anglais et 4 en allemand, par des auteurs de 11 nationalités (AU, AT, CA, DE, FI, ID, MC, NO, CH, GB, US).

Les présentations ci-dessous sont contenues dans le volume 4 du congrès (247 pages, DIN A5).

Les possibilités de planification pour des travaux de sondage, des contrôles de qualité ainsi que des levés dans des zones à fonds vaseux constituèrent les thèmes principaux qui furent abordés pour la première fois au cours des réunions techniques de la commission 4. Il est à retenir également qu'environ 30 % des communications traitèrent de sondages fluviaux et portuaires.

**Kerr** (MC) présenta le développement de l'hydrographie sous l'aspect électronique. Cette intéressante présentation s'acheva par le thème de la carte marine électronique - ECDIS - et que par ses possibilités de mise à jour à l'aide du système de télécommunication par satellite INMARSAT, mais aussi avec la question de savoir si les services officiels ou les organisations commerciales privées décideront de poursuivre son développement. **Mac Donald et Mac Dougall** (CA) présentèrent également ces développements au sein du service hydrographique canadien avec comme conséquence le fait d'accorder plus d'attention à l'avenir au rapport coût-utilité qui devra être contrôlé, et d'assurer une coordination dans la conduite des travaux.

**Henriksen** (NO) exposa le contrat de plus de 13 millions de USD pour le développement d'une base de données mondiale pour cartes marines électroniques, une coopération entre le gouvernement norvégien et l'industrie. Les documents de base sont constitués par les normes OHI SP57 et DX 90.

La réalisation de bases de données en associant des cartes marines historiques est un thème actuel au service hydrographique canadien. **Hare et Monohan** (CA) exposèrent des méthodes permettant d'évaluer l'exactitude de données hybrides. **Junni** (FI) présenta le point de vue de la Finlande et les possibilités d'un contrôle local de données.

**Buziek** (DE) présenta une nouvelle méthode de réduction de données de sondage en nombre important sans perte de la qualité morphologique. La sélection nécessaire est effectuée à l'aide d'un modèle de référence déterminé.

L'administration du port de Melbourne a réalisé un important système d'information. **Longden** (AU) exposa la prise en considération de données hydrographiques.

**Köhler** (AT) présenta des sondages effectués dans le cours autrichien du Danube à l'aide du DGPS. Les profils seront désormais établis avec une précision de positionnement de 0,5 m environ.

**Mack** (US) exposa l'état de développement actuel du GPS et les possibilités d'utilisation du DGPS. **Abidin** (ID) traita du même sujet pour l'état insulaire d'Indonésie.

**Teeter** (US) présenta des expériences de détermination de fonds vaseux dans les zones d'accès portuaires du golfe du Mexique. Il constata que les sondages acoustiques nécessitaient un gradient de densité vertical optimal. L'horizon nautique est établi d'après la résistance au cisaillement.

La densité dérivée est comprise entre 1,15 et 1,2 g/m<sup>3</sup>. Un engin remorqué sert à supporter différents capteurs.

**Stirling** (UK) détailla les besoins et la définition des indices de qualité pour les levés hydrographiques.

**Yeager et Lockwood** (US) présentèrent des pratiques menées au NOAA comme possibilités de gestion de données digitales de zones côtières.

**Haag** (CH) commenta des levés du lac de retenue de Solis en Suisse dans le cadre d'un programme de ravitaillement en énergie.

**Schleider** (DE) traita des sondages dans des fonds vaseux de fleuves soumis à la marée sur le territoire allemand. Les différences de détermination de la profondeur à l'aide d'écho-sondeurs et par mesures d'isotopes furent commentées. Le terme de résistance au cisaillement par absence de drainage fut expliqué.

**Jensen et Sinclair** (UK) présentèrent des résultats d'exploitation en haute mer du système GPS.

Des aperçus intéressants de certains aspects thématiques australiens furent commentés, gestion du port de Newcastle, **Weeb** (AU), limites maritimes du Queensland, **Osborne** (AU).

Le volume 4 du congrès est disponible pour 25 AUD auprès de :

FIG SECRETARY - PO BOX 2  
DELCONNEN - ACT AUSTRALIA 2616



# Dans la profession - Dans la profession - Dans la profession

Des explications détaillées des conclusions de leurs groupes de travaux furent données par:

**Wells (CA):** gestion de données hautement comprimées

**Millen (UK):** hydrographie portuaire et dans les accès portuaires

**Mac Culloch (CA):** aide au développement

**Mills (US):** formation des hydrographes

Environ 50 personnes prirent part à l'excursion technique. Elle débuta par une visite du HMAS "MORESBY" où les levés hydrographiques de la marine australienne furent présentés et commentés. Le système d'enregistrement acoustique des hauteurs d'eau du port de Melbourne fut ensuite montré. Après une visite du secteur central du port de Melbourne, d'intéressants lieux maritimes des environs de Melbourne furent visités.

La visite de la tour-musée maritime William de Melbourne clôtura cette excursion.

Un bâtiment hydrographique du port, qui se tenait face au Centre des Congrès sur la rivière Yarra, pouvait être visité.

Deux réunions eurent lieu pendant le congrès entre la commission 4 et le comité de coordination d'assistance technique FIG-OHI (TACC) : après discussions préliminaires, la commission 4 fut désignée par le terme "hydrographie".

Il convient par conséquent de tenir compte du développement suivant : prise en charge de tâches pour d'autres institutions internationales comme par exemple l'ISCU avec le groupe spécialisé SCOR pour la recherche nautique, l'ONU, l'IOC, l'IALA, l'IAPH. Le domaine de travail est désormais décrit comme suit :

*"Faire progresser sur tous ses aspects le développement de la description de l'environnement marin par l'utilisation de pratiques selon l'état de la technique et des standards internationaux reconnus, techniques, professionnels et éthiques."*

*Ceci inclut le levé hydrographique, le traitement et la gestion des données, la réalisation de cartes marines et de cartes de profondeurs analogiques, digitales et électroniques ainsi que les travaux qui leur sont rattachés"*

Le Comité de Coordination d'Assistance Technique (TACC) de la FIG-OHI a formé 5 groupes de pays pour lesquels il importe de rechercher une coordination. La réalisation d'une base de donnée correspondante auprès du BHI à Monaco est envisagée.

Les principales tâches pour la période 1994-1998 ont été arrêtées dans les résolutions suivantes:

- Questions de standardisations des procédés de réduction des hauteurs d'eau et de détermination des horizons.
- Intégration des données fluviales et terrestres dans des zones côtières, y compris les voies d'eaux navigables.
- Influence des soldeurs multifaisceaux sur les sondages et compensation.
- Publication du rapport du WG 419b "Hydrographie portuaire" en tant que publication FIG.

(Wilfried Schleider) ■

## Direction de la "Commission 4" élue au XX Congrès

### Président

Dr-Ing Wilfried Schleider  
Federal Water and Shipping Authority Northwest  
Schlossplatz 9 - D-26603 Aurich  
Federal Republic of Germany  
Tel +49 4941 602480 - Fax +49 4941 602378

### Vice Président

Dennis A. St. Jacques  
Canadian Hydrographic Service  
867 Lakeshore Road, P.O. Box 5050  
Burlington, Ontario L7R 4A6 - Canada  
Tel +1 905 336-4857 - Fax +1 905 336-8916

### Secrétaire

Adam J. Greenland Esq BSc ARICS  
Port of London Authority - London River House  
Royal Pier Road - Gravesend Kent DA12 2BG - England, UK

## JACQUES TASSOU À LA TRIBUNE DU XX<sup>ÈME</sup> CONGRES



A ses côtés, J. Curdie Trésorier et le vice-président Peter Dale.

Jacques Tassou, AFT, vient d'être nommé membre d'honneur.

A l'issue de sa nomination en qualité de membre d'Honneur de la FIG, Jacques Tassou a tenu à remercier Jan Degraeve, président de la commission 1, pour avoir suscité sa candidature auprès du bureau de la FIG, Jean-Pierre Picavet, chef de la délégation française, pour l'avoir soutenue, et le bureau de la FIG pour l'avoir recommandée.

Il a, par ailleurs, souligné l'intérêt qu'il a toujours pris dans les travaux de la FIG pendant près de 20 ans et notamment pendant la période où il a été président de la Commission 1.

Rappelons aussi que Jacques Tassou a été l'auteur de nombreuses communications et plus particulièrement du "code d'Éthique" pour lequel il a déploré avoir omis d'y inclure une règle fondamentale : "l'ENTHOUSIASME", gage de succès.

## EXTENSION DE LA REPRÉSENTATION & ADHÉSION DE LA FRANCE À LA FIG

Une modification récente a été opérée dans la représentation de la France à la Fédération Internationale des Géomètres (FIG) qui se traduit par une nouvelle adhésion combinée regroupant l'Ordre des Géomètres-Experts (OGE, déjà membre), l'Association Française de Topographie (AFT) et l'Association Française pour l'Information Géographique (AFIGEO). Cette collaboration tripartite a été reconnue par le Comité Permanent de la FIG, à Melbourne, en mars 1994. Le "Comité Français de Représentation à la FIG" devient l'organe national commun de représentation et d'adhésion à la FIG, il est chargé de gérer et d'animer tout ce qui a trait aux activités de la France au sein de cette Fédération internationale, et une nouvelle convention statutaire sera établie prochainement. Le siège social du Comité est établi sous les auspices de l'OGE, qui en assure le secrétariat.

La FIG - créée à Paris en 1878 à l'initiative de la France - est un organisme international rassemblant les associations professionnelles de 68 pays. Par l'énoncé de ses statuts, c'est un forum international ouvert par définition à tous les "géomètres" dans l'acception la plus large et quel que soit leur statut - traitant de géodésie, topographie, photogrammétrie, hydrographie, information géographique, aménagement du territoire, cadastre, évaluation foncière, délimitation, etc. Organisation non gouvernementale, structurée en neuf commissions recouvrant ces diverses activités, c'est une Fédération d'associations qui n'a pour seul but que "d'apporter une collaboration internationale aux progrès de la profession dans tous les domaines" (cf préambule des statuts). Actuellement, six pays sont représentés par deux associations distinctes (selon un principe de complémentarité) mais la plupart le sont par le biais de regroupements associatifs divers et variés - selon l'histoire propre à chacun et la nature des accords nationaux d'association ou de collaboration entre les organismes professionnels de chaque pays. De tels regroupements sont favorisés par les statuts et règlements, en limitant de fait à deux les adhésions séparées d'association d'un même pays.

L'AFT répondait pleinement aux critères d'admission à la FIG, et elle aurait pu en être membre en seul complément de l'OGE. Mais dans le contexte national français, diverses discussions ont conduit à former une structure de conjonction, regroupant trois organismes auxquels adhèrent ou peuvent adhérer, à divers titres, tous les professionnels concernés. Cette conclusion - encouragée par la FIG - était des plus souhaitables, et elle reproduit ce qui existe déjà dans notre pays pour diverses représentations dans d'autres organismes internationaux (en cartographie, géodésie ou photogrammétrie). L'ensemble de notre communauté professionnelle est donc pleinement représenté. Les aspects statutaires d'adhésion et de cotisation y afférant sont régulièrement satisfaits, et ce Comité tripartite OGE-AFT-AFIGEO est désormais reconnu comme membre et nouvel interlocuteur. A l'image de ce qu'avaient adopté les Norvégiens en 1981, la dénomination initialement convenue avec la FIG s'énonce ainsi : "Ordre des Géomètres-Experts en collaboration avec l'Association Française de Topographie et l'Association Française pour l'Information Géographique". Tous les autres pays qui adhèrent en regroupements ont choisi un nom plus explicite, et en fait

le même que celui de leur association commune - du genre "Association, Union, Confédération des Géomètres ou Ingénieurs ceci ou cela" du pays considéré, "Institut ou Société de Géodésie, Cartographie, Topographie, etc" de tel autre pays. Cela est toujours modifiable, selon accord des organismes constituants.

Par l'accroissement du nombre et de la diversité, cette collaboration confraternelle devrait induire une présence plus grande et plus active de notre pays au sein de cette organisation, pour le meilleur bénéfice de tous. Ce nouveau Comité est résolu à s'y employer. Outre l'enrichissement professionnel que l'on peut tirer des manifestations de la FIG (colloques, séminaires, congrès), bien des collègues d'autres pays savent tisser là un réseau relationnel des plus utiles, tout à leur avantage quand ils sont aussi nos concurrents sur des marchés extérieurs. On gagnerait beaucoup à se demander pourquoi la France exporte si peu son savoir-faire et comment d'autres européens ont déjà étendu leur champ d'action à des pays amis et francophiles, où nous sommes singulièrement absents. ■

## CONTROLE GÉOMÉTRIQUE DE LA SAISIE EN PHOTOGRAMMÉTRIE

*Dans notre dernier numéro, nous félicitons Pierre Grussenmeyer, membre de l'AFT, pour sa thèse de doctorat soutenue à Stasbourg. Sa mention obtenue est "Mention très honorable avec félicitations" et non "mention honorable" comme nous l'indiquions.*

*Le jury de thèse était le suivant :*

*Professeur Marc Philippe STOLL : Président et rapporteur interne, Ecole Nationale Supérieure de Physique de Strasbourg.*

*Professeur Hans Peter BÄHR : Rapporteur externe, Directeur de l'Institut de Photogrammétrie et de télédétection de l'Université de Karlsruhe.*

*Professeur Alain GROVEL : Rapporteur externe, Directeur du laboratoire de Mécanique et Géomécanique de la Faculté des Sciences et Techniques de Nantes*

*Professeur André COESON : Directeur de l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries de Strasbourg, Directeur de Thèse.*

*Ingénieur Général Géographe Philippe HOTTIER : Directeur de Thèse, Ecole Nationale des Sciences Géographiques.*

*Ingénieur en Chef Géographe Yves EGELS : Institut Géographique National.*

*Cette thèse a obtenu la  
MENTION TRES HONORABLE  
AVEC LES FÉLICITATIONS DE CE JURY*

### Voici le résumé de cette thèse.

Nous nous intéressons dans cette thèse au problème du contrôle géométrique des restitutions réalisées à partir des stations de travail photogrammétrique. La photogrammétrie est un des processus d'acquisition servant à construire les systèmes d'information géographique et la qualité géométrique un des aspects essentiels du problème de la qualité. Notre objectif est d'aboutir à une méthodologie de contrôle de la saisie pour surveiller par sondage la produc-

## Pytha-topo

**Facile...** L'organisation des menus déroulants reproduit la chronologie logique d'un traitement topographique. Des automates prennent en charge l'exécution des calculs et la recherche des erreurs d'observation...

**Rapide...** Un minimum d'interventions suffit toujours pour obtenir les résultats. Les traitements automatiques sont fréquents et optimisés.

**Complet...** Dès sa version de base, Pytha comprend :

- l'acquisition des carnets manuels et électroniques
- le traitement de canevas en bloc par moindres carrés
- une bibliothèque complète de commandes de constructions géométriques accessibles depuis le clavier, la souris ou le digitaliseur
- des fonctions de digitalisation
- la génération de reports et dessins sur tous traceurs.

Aucun ordre de calcul à fournir : automate intégral.

## Géocode

Plus de 15 sociétés, cabinets de géomètres et administrations confirment la puissance et la souplesse de **GEOCODE** après l'avoir utilisé sur le terrain ces 5 dernières années.

Les résultats obtenus sont concluants :

- 70 à 90 % du temps au bureau est supprimé,
- les fichiers objets graphiques sont compatibles avec la plupart des systèmes actuels,
- le rendement des brigades de topographie n'est pas affecté.

Avec **GEOCODE**, le levé topographique prend une nouvelle dimension, dans la droite ligne du dessin numérique.

## Pytha-graph

Outil de DAO pour les plans topographiques.

version basse : 5000 points (640k ram)

version haute : 100 000 points

en autonome : 8 méga ram

sous Autocad : + 16 méga pour autocad, soit 24 méga ram.

La version haute permet la digitalisation des plans au format DGI/GEOCOMM.

Version sous Unix (Sun,...) en cours d'implantation.

## Volterr

Calcul et trace des courbes de niveau, perspectives, cubatures.

## Priam

Projets surfaciques, carrières,...

## Pytha-Projet

Projets linéaires : APS et exécution

Intégration des couches géologiques possible : ripe, explose, purge,... avec introduction des % de matériaux réutilisables, % de chaux...

Outils divers : rechargement des chaussées, surfaces à raboter,...

Liaison avec Volterr et Priam (sté Coralis).

Liaison avec GEO-LOG (sté MIG GEOSOFT).

## Géolab

Logiciel pour la gestion et le traitement de résultats d'essais géotechniques de laboratoire.

### Géolab chaussées

- gestion et contrôle de matériaux pour suivi de production de carrières, de centrales.

### Géolab sols

- gestion des échantillons,
- gestion de l'activité du laboratoire,
- gestion et traitements des résultats d'essais.

Environnement Paradox

## Modélisol

- gestion de plans, logs de sondages, essais laboratoire
- cartographie, coupes longitudinales,
- requêtes, synthèse, statistiques.

Environnement Oracle/Microstation.





tion d'une base de données topographiques ou d'une carte.

Dans le premier chapitre nous situons le problème de la saisie des données en présentant le cas particulier de la base de données de l'Institut Géographique National. Nous présentons le système de mesure utilisé en photogrammétrie et l'état de l'art en matière d'exactitude.

Le deuxième chapitre est consacré à une étude critique des logiciels de photogrammétrie. Les analyses que nous formulons s'inscrivent dans le cadre de la mise en œuvre d'un plan d'assurance de la qualité. Dans le troisième chapitre nous présentons un ensemble de techniques statistiques destinées à l'étude d'un échantillon de mesures. Ces techniques sont celles utilisées dans nos travaux.

Le chapitre quatre est consacré à la mise en œuvre de la méthode du contrôle ponctuel. Nous proposons une solution rigoureuse que nous avons validée à partir de plusieurs cas concrets.

Pour l'étude des contours d'objets, la solution précédente présente quelques limites. Nous présentons dans le cinquième chapitre une méthode nouvelle et originale que nous avons appelée le contrôle linéaire. Elle conduit au calcul de l'exactitude planimétrique de la saisie en précisant le pourcentage de trait-carte en accord avec le trait-référence à partir de la notion de distance de Hausdorff.

Le dernier chapitre développe à partir de l'étude de nombreux échantillons réels une solution générale et opérationnelle pour le contrôle géométrique de la saisie. Nous analysons l'efficacité de la méthode basée sur le contrôle ponctuel et linéaire.

#### Summary :

##### *Geometric control of data capture in photogrammetry*

*In this thesis, we study the problem of geometric control of data capture in relation to universal analytical photogrammetric stereoplotters. Photogrammetry is one of the processes used to build Geographic Information Systems and geometric quality is an important aspect of the problem of quality. Our aim is to define a methodology of a data capture control ; to monitor the production of data base in surveying and mapping.*

*In the first chapter, we present the problem of data capture with special reference to the topographical data base of the "Institut Géographique National". We present the measuring system used in photogrammetry and the state of the art of methods to achieve accuracy. The second chapter is devoted to a critical study of existing software in photogrammetry. Our analyses will play a major role in implementing our plan to ensure quality. In the third chapter, we present statistical techniques used for the analysis of data. These techniques are used throughout this thesis. In the fourth chapter we implement the method of "punctual control". We present a rigorous solution which we have validated with a number of concrete cases. For the study of planimetric lines, the solution that we devise presents some limits. In the fifth chapter, we put forward a new method which we called "linear control". This method incorporates Hausdorff's concept of mathematical distance and leads to the calculation of planimetric accuracy of data capture. We also have to indicate the percentage of linear agreement between the map and the reference.*

*The last chapter develops, from numerous practical cases a general and effective solution for the geometric control of data capture. We analyse the efficiency of the methods based on "punctual and linear control". ■*

## TOPO C ENTRE SUR LE CIRCUIT

*(Propos recueillis par XYZ)*

*TOPO C est une gamme de logiciels. Cet article, pour vous la présenter, propose d'intéressantes comparaisons avec le monde de l'automobile et notamment avec la Formule 1.*

*Nous avons découvert le premier module de la gamme, lors du 32ème Congrès National des Géomètres-Experts, à Clermont-Ferrand. La capitale de l'Auvergne est, elle-même, intimement liée avec le monde de l'automobile.*

*La rencontre avec le prototype de TOPO C VOYAGEUR s'est faite sur le stand de la marque, le stand COLLINET. Les concepteurs y étaient à l'écoute des professionnels, les futurs pilotes, afin de procéder par la suite aux ultimes réglages, aux dernières finitions.*

*L'objectif de l'équipe était de faire entrer TOPO C sur le circuit lors du 3ème CITOP, les 6, 7, 8 décembre, au CNIT Paris La Défense. Le pari sera tenu, TOPO C sera sur sa ligne de départ.*

*Pour XYZ, nous avons interrogé Marc BOYER, Responsable du Département Recherche et Développement Informatique de la Société COLLINET et l'un de ses collaborateurs, Eric BARBY.*

### XYZ - Pourquoi cette dénomination TOPO C ?

*Marc Boyer. Au début de l'écriture d'un premier logiciel, logiciel de calcul, je devais donner un nom au projet. TOPO est bien entendu la contraction de TOPOGRAPHIE et C la référence au langage utilisé. L'adoption du langage C se justifie par un choix d'ouverture, d'évolution, de portabilité.*

### XYZ - Pourquoi vous êtes-vous lancé dans un tel projet, alors que d'autres produits occupent le marché ?

*Marc Boyer. Les logiciels sont des produits vivants et leurs concepteurs les font progresser au fil du temps. Notre équipe a souhaité remettre les choses à plat. Les techniques de calcul permettent d'arriver à des automatismes quasi complets tout en respectant les normes et actuelles règles de conformité.*

*Dans notre vie au quotidien, pour notre confort, notre efficacité, notre sécurité, nous utilisons de plus en plus de matériels complexes. Heureusement, ces dernières années, les fabricants ont réalisé de gros efforts pour rendre simple l'utilisation de leurs produits. Il suffit de faire référence au dernier salon de l'auto, pour constater qu'en dépit de certaines réticences venant de nos tempéraments latins, la tendance est à l'assistance informatique, aux automatismes pour des objectifs de sécurité, de confort, de convivialité.*

*Le premier logiciel de la gamme TOPO C laisse le libre choix "au conducteur" entre un automatisme intégral, un semi-automatisme, un usage en manuel. Il peut, à sa guise, combiner les différentes possibilités.*

### XYZ - Pouvez-vous évoquer la période Recherche et

## Développement ?

*Marc Boyer.* Notre équipe a travaillé, sur ce projet innovant, sur une période de trois années.

Une première génération du logiciel de calcul a été commercialisée, fin 1992, sous le nom de TOPO C.

Cette version a été bien accueillie par un panel représentatif du marché. Quelques quatre-vingts licences ont été installées.

Les réactions ont confirmé l'hypothèse de départ. Un automatisme respectant les règles de conformité correspond aux attentes des professionnels.

Pour aller plus loin et atteindre plus vite nos objectifs, l'Equipe Développement a été renforcée.

Aujourd'hui, TOPO C n'est plus un logiciel mais la référence d'une gamme de logiciels.

## XYZ - Voudriez-vous nous présenter cette gamme ?

*Marc Boyer.* Le module de calcul s'appelle VOYAGEUR, viennent ensuite :

- un module de géocodification 2D et 3D GEOLIN,
- un module de dessin TOPOGRAF
- un module de maillage et cubatures TP +
- le module OUDINI c'est à dire un OUtil de Digitalisation Intelligente et de Numérisation Interactive.

## XYZ - Lors de notre première rencontre à Clermont-Ferrand, nous avons, au sujet de VOYAGEUR, entendu parler de puissance, de rapidité, de Formule 1. Qu'en est-il réellement ?

*Marc Boyer.* Puisque vous faites, à juste titre, allusion à la Formule 1, examinons la mécanique.

Le moteur est le calcul en bloc utilisant la méthode des moindres carrés. Elle était déjà présente dans la première version mais on en a augmenté la puissance.

La partie injection a été totalement repensée. En effet, une analyse complète de l'ensemble des observations nous a permis de concevoir un "injecteur intelligent".

Ainsi, un filtre dynamique des informations injectées permet de qualifier la cohérence du canevas, de vérifier la redondance des informations, la possibilité, pour des cas oubliés, de proposer des solutions à partir des informations de base.

Cet ensemble, injection contrôlée et moteur puissant, conduit à un traitement très rapide de canevas complexes, rattachés ou non, sans aucune intervention extérieure.

L'injecteur intelligent analyse pour l'utilisateur tous les paramètres pouvant influencer le rendement.

Le pilote, qui a l'issue d'une course souhaite analyser et comprendre tous les choix qui l'ont conduit au succès, procède à l'examen de la boîte noire et du film de la course.

La même expertise peut être effectuée à l'issue d'un travail réalisé avec notre logiciel. Cette expertise sera longue, donc coûteuse mais elle confirmera, dans tous les cas, les choix retenus par VOYAGEUR en l'espace de quelques secondes.

## XYZ - Quelques professionnels émettent des réserves sur la qualité de traitement du calcul en bloc, que leur répondez-vous ?

*Eric Barby* (Chargé du développement du produit VOYAGEUR). La méthode de compensation selon le critère des moindres carrés a toujours été la meilleure répartition des compensations.

De plus, VOYAGEUR utilise des données atomisées : distance ou angle ou coordonnée XY ou orientation ou Z.

Partant du principe qu'une donnée erronée perturbe l'ensemble des résultats, VOYAGEUR intègre "un système ABS" qui signale les erreurs potentielles et propose d'écarter les données erronées mises en évidence.

## XYZ - La tradition est de contrôler la qualité d'un levé par la fermeture de la polygonale, qu'en est-il avec VOYAGEUR ?

*Marc Boyer.* Vous trouvez dans VOYAGEUR toutes les méthodes traditionnelles du calcul polygonal : encadrée, fermée, antenne, point nodal.

Il est bon de préciser que le calcul par la méthode polygonale fait abstraction de certaines données : visées sur points doubles et sur plusieurs stations.

Nous conseillons vivement la méthode de calcul en bloc qui ne néglige aucune des données et ne demande aucun effort de saisie.

Les résultats comparés des deux méthodes valident notre choix.

*Eric Barby.* Ce choix autorise une plus grande liberté quant à la prise des points sur le terrain.

## XYZ - Le véhicule est-il homologué ?

*Marc Boyer.* Tous les calculs du super moteur peuvent être contrôlés par les méthodes traditionnelles que propose en standard VOYAGEUR.

## XYZ - Et le pilote dans tout cela ?

*Eric Barby.* A la livraison, VOYAGEUR est paramétré pour être utilisé par des néophytes. Mais, il est aussi totalement paramétrable autant dans sa base de données que dans sa façon de calculer et de contrôler, pour satisfaire les pilotes les plus avertis.

VOYAGEUR met la technologie de pointe à la portée d'un outil standard.

La mise en production du logiciel est immédiate.

## XYZ - L'adaptation de VOYAGEUR impose-t-elle l'achat d'équipements supplémentaires ou spécifiques COL-LINET ?

*Marc Boyer.* VOYAGEUR communique avec votre équipement électronique quel qu'il soit, d'où le nom du module. Il permet de voyager du terrain au plan et du plan au terrain.

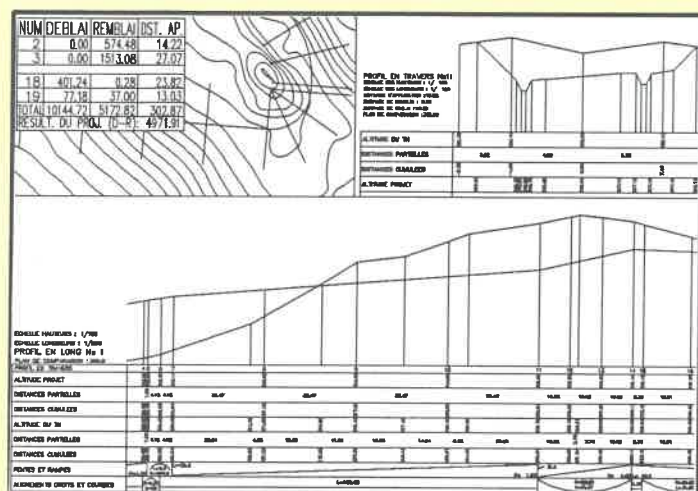
Le nom du logiciel est aussi une référence aux voyages extraordinaires de Jules VERNE. Vous n'ignorez pas que la Société COLLINET a pris l'image de l'écrivain, créateur du roman scientifique d'anticipation.

Nouveau

# TP-CAD<sup>®</sup>



Totalement intégré dans AutoCAD<sup>®</sup> 12  
**Calculs de Projets en 3 dimensions**  
 pour études de routes ou de terrassements



PROJET, MODIFICATIONS,  
 VISUALISATIONS, CALCULS  
 ... en TEMPS REEL

Fonctions d'interpolation pour les profils en long et travers  
 Profils types en visualisation directe sur le profil du T.N.  
 Calculs des cubatures - Tableau Déblai, Remblai par profil

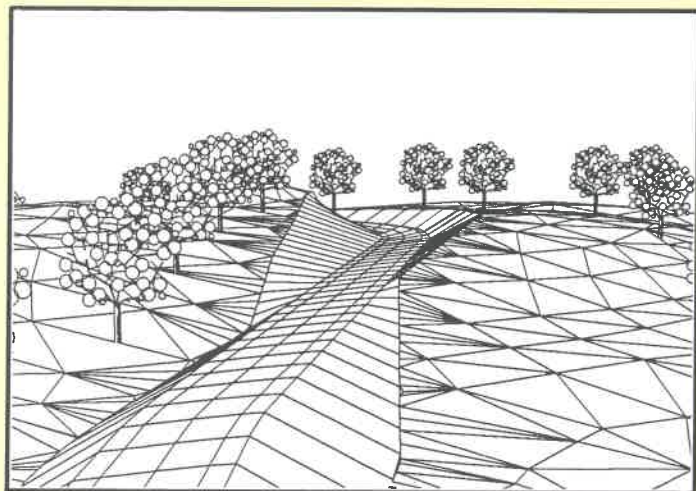
Modifications interactives des éléments du projet  
 Mises à jour automatiques en temps réel

Retraçage immédiat des profils et recalculs des cubatures  
 Visualisations temporaires des profils et résultats

Représentation et Habillage en 3D du projet sur le TN  
 Sorties traceur (DWG) et fichier points du projet (ASCii)

DE L'ETUDE ...

... A L'IMPACT



FACILE A APPRENDRE...  
 ...FACILE A UTILISER

(version de démonstration disponible)

Architectes  
 Entreprises TP  
 Bureaux d'Etudes  
 Géomètres-Expert  
 Ecoles d'Ingénieurs  
 Services Techniques

GEOMETRI Informatique, c'est aussi une chaîne complète d'applicatifs (100% AutoCAD)  
**LIGNCAD** - Un nouveau concept révolutionnaire pour la codification terrain (totalement indépendant)  
**PLANICAD** - Pour transformer AutoCAD en un puissant cartographe (plans topo., projets ...)  
**QUICKSURF** - Le Modèle Numérique de Terrain au plus haut niveau (Triangles, CN, maillage ...)



**GEOMETRI**  
**Informatique**  
 Le Genève - Rue Bon - BP 77  
 26102 ROMANS CEDEX  
 Tél: 75.05.22.30/Fax: 75.02.84.39

Nom et adresse :

- ☐ Je désire recevoir la version de démo (ci-joint chèque de 150 F)  
☐ Je désire recevoir une documentation de : ☐ TPCAD  
☐ LIGNCAD ☐ PLANICAD ☐ QUICKSURF



## XYZ - Pourquoi VOYAGEUR est-il limité au semi de points ?

*Marc Boyer.* Souvenez-vous, nous avons parlé d'une gamme TOPO C.

Certains professionnels ont des habitudes, des équipements, nous n'avons pas voulu leur imposer un outil unique et complet. Nous proposons soit une offre globale de la gamme TOPO C, soit un ou plusieurs de nos modules qui viennent alors compléter l'environnement existant.

## XYZ - C'est une excellente transition pour présenter les autres logiciels de cette gamme TOPO C. Parlez-nous de GEOLIN.

*Marc Boyer.* Aujourd'hui, les techniques ayant évolué, les donneurs d'ordres n'exigent plus seulement des plans mais des disquettes.

Le respect de la conformité du cahier des charges nécessite un travail de DAO important et rigoureux.

Pour GEOLIN, sur le terrain, un talus est un talus, un trottoir est un trottoir, un arbre est un arbre... et pas seulement un code reconnu par le seul donneur d'ordres.

La mise en œuvre de GEOLIN s'effectue sans bouleverser les habitudes du terrain, quel que soit votre matériel électronique de levés, quel que soit l'ancienneté professionnelle de l'opérateur.

L'utilisation de GEOLIN, au fil du temps, simplifie de façon importante le croquis de terrain. Certains utilisateurs ont d'ailleurs complètement supprimé ce croquis.

La souplesse du logiciel autorise une codification soit à l'appareil, soit au prisme.

GEOLIN pilote aujourd'hui AUTOCAD et MICROSTATION.

## XYZ - Certains associent au terme de GEOCODIFICATION une idée de lourdeur et de pertes de temps sur le terrain, qu'en pensez-vous ?

*Marc Boyer.* Ceux qui pensent ainsi utilisent des codifications spécifiques à certains cahiers des charges. J'ai déjà dit que sur le terrain, pour GEOLIN, un arbre reste un arbre. Il ne deviendra, par exemple, ARB 42 sur la couche végétation ou SY 42 sur la couche FGS que lors du transfert sur l'environnement graphique et de manière automatique. Nous proposons, par ailleurs, une solution de dessin topographique complétant AUTOCAD.

## XYZ - Laquelle ?

*Marc Boyer.* Il s'agit du module TOPOGRAF. Celui-ci reprend un fichier points issu d'un logiciel de calcul ou d'une station totale.

TOPOGRAF dessine les talus, les bâtis, les courbes de niveaux, les haies, les documents d'arpentages, les tableaux de parcelles, la cotation automatique, les divisions automatiques de surface, les hachurages, etc.

Ce module apporte, pour AUTOCAD, plus de cent commandes spécifiques à la topographie.

## XYZ - Avec GEOLIN vous avez parlé d'AUTOCAD et de MICROSTATION, pourquoi vous limitez-vous à AUTOCAD avec TOPOGRAF ?

La Société COLLINET s'ouvre à tous les standards du marché. Toute la gamme TOPO C sera prochainement disponible sur les environnements AUTOCAD, MICROSTATION et WINDOWS.

Ces environnements étant disponibles sur la plupart des plateformes, vous pouvez utiliser les logiciels de la gamme TOPO C sur des machines DOS, WINDOWS, UNIX, SOLARIS, etc.

## XYZ - Et la digitalisation ?

*Marc Boyer.* Je constate que vous êtes bien informé.

TOPOGRAF comporte déjà des commandes de digitalisation, mais le cadastre évoluant, des normes de numérisation ont été imposées. Nous avons développé un module de digitalisation topologique. Il permet de numériser des planches cadastrales en respectant une structure de données, avec une totale compatibilité avec le Plan Cadastral Informatisé et la norme EDIGEO.

## XYZ - On vous fait confiance. Je vais vous demander d'apporter une conclusion.

*Marc Boyer.* Au delà de ma personne, vous avez une équipe soudée, motivée, solidaire dans l'effort.

Cette équipe tient à remercier tout ceux qui, depuis le début, lui ont fait confiance. Ils nous ont apporté leur savoir, précisé leurs besoins.

La gamme TOPO C sera présentée sur le stand COLLINET au 3ème CITOP, nous serons très heureux d'y accueillir vos lecteurs et de leur apporter des informations complémentaires.



Présenté au Salon  
EUROPAPRO 1993

Mesure tout partout  
de 1 cm à 100 m

## Le CURVIMESUREUR 700B

\* Cadran horizontal

\* Manche métal  
télescopique



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

■ Entretien, nettoyage : des années d'usage.

■ Un service immédiat en cas d'incident.

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

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

■ Service dans 5 pays.

■ Fabrication française

## PONT DE NORMANDIE MONTAGE DES VOUSSOIRS MÉTALLIQUES

*Ph. Grosso - Ingénieur soudeur, F. St Sulpice - Ingénieur topographe  
(GEC Alstom SDEM)*



### PRÉPARATION DES PHASES POUR L'ACCOSTAGE D'UN ÉLÉMENT

#### 1ère phase :

Après contrôle des voussoirs sortis de fabrication, Gec Alstom Sdem a pour charge leur transport par barge sur voie fluviale, du quai de Radicatel au droit de l'ouvrage, 15 km en aval.

#### 2ème phase

Une fois la barge à l'aplomb du fléau, elle se stabilise et se positionne par rapport au pont grâce à un système de projections verticales permettant un repérage exact entre les points extrêmes de la chèvre et la barge.

#### 3ème phase

Des palonniers descendant de la chèvre sont arrimés au voussoir. Si le vent est  $\leq 16$  m/s on hisse le voussoir jusqu'à l'accostage final. Le hissage, à raison d'environ 15 m/h dure entre 4 et 5 h.

#### 4ème phase

L'accostage final est déterminé par les géomètres qui contrôlent et règlent le positionnement du voussoir monté.

### DESCRIPTIF DES PROCÉDÉS NORMALISATION - MÉTHODES - CONTRÔLES

- Tous les travaux ont été effectués suivant les normes NFP 22471 - 22472 - 22473 - EN287.1.

- Les aciers mis en œuvre sont de façon générale l'acier E420TM concernant les grosses épaisseurs 20 et 30 mm ainsi que les augets sur les tôles de 14 et 20 mm ; l'acier E36.4 pour les tôles de 12 et 14 mm ainsi que les augets sur celles de 12 mm.

Un soin particulier pour le suivi des opérations de soudage a dû être mis en place, et un encadrement des soudeurs et des monteurs nous a permis d'établir un travail efficace et de qualité.

### TRAVAUX TOPOMETRIQUES SUR LES VOUSSOIRS

Les interventions des géomètres et opérateurs Gec Alstom Sdem ont été effectuées tout au long du chantier aux stades suivants :

### Montage à blanc

Cette opération avait pour but de garantir la bonne géométrie d'assemblage des voussoirs entre eux, suivant les indications données par les études, et de fixer cette géométrie par un système de clamage qui permet de retrouver ultérieurement les mêmes conditions lors du montage en position sur le site.

Pour cela, 3 voussoirs d'une longueur totale de 60 m étaient réglés en position par la Sté Munch, sur le banc de montage à blanc à Radicatel. Les mesures effectuées par tachéométrie électronique infrarouge sur prisme, ont mis en œuvre nos T2000 et Di2002 Wild "Leica" pour contrôles en planimétrie et altimétrie d'une partie de l'ensemble du tablier du pont.

### Au positionnement de la barge de transport à l'aplomb des fléaux

- une première phase de prépositionnement du "convoi fluvial" demandait le pilotage en XY des bouées d'alignement de la barge perpendiculairement au pont. Nous avons mis en œuvre pour les mesures en coordonnées polaires depuis l'ouvrage, les jumelles Leica Géovid.7 ; la combinaison de la boussole électronique intégrée et de son distance-mètre infrarouge, nouveauté de l'époque, ont été d'une extraordinaire efficacité.

- La seconde phase avait pour but de positionner de façon précise le centre de gravité du voussoir sur barge à l'aplomb de la chèvre de levage. Pour chacun des fléaux de pont, le télépilotage final du convoi fluvial en XY a été effectué par observations successives de la cible centrale de la charge depuis une lunette nadirale automatique NL Wild en station sur la passerelle de tête de la chèvre, à l'aplomb du voussoir.

En outre, il faut noter que tous les nœuds de charpente des chèvres PT 80 T avaient fait l'objet de contrôles géométriques de précision à la fabrication chez nos sous-traitants en Savoie.

### Au réglage de l'élément accosté en extrémité du fléau

Pour chacun des voussoirs, après accostage contre l'extrémité des voussoirs de fléau déjà soudés et repris en charge par la double nappe de haubannage, une opération de contrôle géométrique précédant un réglage final a été effectué.

Pour les premiers voussoirs, tant du côté Le Havre que du côté Honfleur, les relevés par topométrie industrielle tridimensionnelle ont été effectués au tachéomètre électronique de précision TC2002 Leica sur prisme rétro-directeur infrarouge, l'instrument était commuté en fonction "Transit"



# PENTAX

## TOPOMETRIE

### STATIONS TOTALES SERIE PTS-V

#### CAPTEURS INTEGRES POUR LES CORRECTIONS ATMOSPHERIQUES :

Les valeurs de température et de pression atmosphérique sont automatiquement prises en compte par l'instrument qui détermine aussitôt en PPM la correction à appliquer.

#### 18 PROGRAMMES DE CALCULS :

- Implantation en distance
- RDM (distance entre points)
- Division de segment
- Polygonation
- Moyenne angulaire par répétition
- REM (points inaccessibles)
- Contrôle d'implantation direct
- Station décalée (implantation de profil)
- Adaptation (par mise à l'échelle)
- Nivellement
- Point décalé
- Calcul de gisement/distance
- Implantation en coordonnées
- Profils en travers 3D
- Relèvement
- Contrôle d'implantation indirect
- Calculs de surfaces
- Calculs de coordonnées

#### PENTAX FRANCE S.A.

12, rue Ambroise Croizat  
95100 Argenteuil  
Tél. : (1) 39 82 50 24  
Fax : (1) 39 82 57 96

#### AGENCE DE LYON

Parc du Chater  
33, rue de Bellisen  
69340 Francheville  
Tél. : 78 34 26 91  
Fax : 78 34 27 24





dispositif de collimation vertical automatique "bloquée" afin de permettre les mesures en planimétrie et altimétrie relative, malgré les oscillations, mouvements et vibrations des fléaux maintenus en porte à faux sur les piliers et haubans.

Les lignages planimétriques qui suivirent ont été effectués par les opérateurs Gec Alsthom Sdem aux théodolites optomécaniques, les contrôles de profil en long du tablier ayant fait l'objet de mesures au niveau classique type N2 à lunette réversible par les opérateurs de Monberg et Thorsen (compte-rendu des mouvements des demi ponts).

Enfin, de très nombreuses campagnes de contrôles géométriques ont été effectuées de manière contradictoire par les géomètres des entreprises citées précédemment et ceux du Maître d'Œuvre (spécialistes de l'IGN) appuyées pour les calculs, par le SETRA.

Ces calculs avaient pour but de donner les géométries théoriques de référence de l'ouvrage dans toutes les phases d'avancement de chantier pour lesquelles les mesures de niveau étaient effectuées.

Voir l'article du Bulletin Ponts Métalliques n°17 intitulé Pont de Normandie : conception et construction du tablier métallique par MM. Foucriat, Bui, Virlogieux, Deroubaix et Lavoue.

## Clavage

Le terme de clavage correspond au dernier tronçon et donc à la liaison finale entre le nord et le sud. Celui-ci était prévu en octobre 1993 et suite au retard occasionné par le génie civil, il a eu lieu en août 1994.

Le Bureau d'Etudes a donc dû établir une procédure générale de clavage en été en tenant compte des contraintes thermiques et mécaniques que le pont aurait subi à cette époque de l'année. Pour cela, tout un appareillage a dû être étudié, fabriqué et positionné pour que le clavage soit en configuration réelle lors de la phase finale.

Un ensemble de renforcement, de garde-corps, de triangles verticaux et horizontaux ont été mis en place et contrôlés par les géomètres Gec Alsthom Sdem à Radicatel sur les 2 derniers voussoirs amenés par la barge. Les triangles ont permis de reprendre des défauts angulaires et d'alignement entre les 2 fléaux de 200 mm maximum.

Une température de référence a été calculée, elle est évaluée à 10°C. C'est en fait, la valeur moyenne des températures de la région sur 5 décennies mais cela correspond surtout à la température où la neutralité des contraintes sur l'ouvrage est établie. Pour exemple, un écart de 1°C sur le pont provoque un écart entre les 2 fléaux de 10 mm.

La dernière soudure effectuée par Gec Alsthom Sdem sur le Pont de Normandie a eu lieu le 23 septembre 1994.

## CONCLUSION

Cet ouvrage a permis à Gec Alsthom Sdem de gravir un échelon de plus dans la construction d'ouvrages d'art, avec le record mondial du pont suspendu à haubans à la clé.

Elle a montré sa détermination à faire un travail de montage de qualité, sa rapidité à résoudre des problèmes techniques de mesures sur site, de soudabilité opératoire

ainsi qu'à satisfaire les exigences du client.

Gec Alsthom Sdem grâce à l'affaire Pont de Normandie a acquis une expérience aussi bien dans son savoir-faire que dans sa technologie du soudage et du montage proprement dit.

En 1994, l'Entreprise s'est vu confier le montage de l'ensemble des poutres des ponts d'approche ainsi que des câbles, suspentes et tablier métallique du plus grand pont suspendu au monde (1 624 m entre piliers) actuellement en construction à Storebaelt au Danemark.

Ce chantier s'étale sur 6 837 m d'acier à monter en 4 ans et pèse au total 89 000T.

## PRÉSENTATION DE GEC ALSTHOM SDEM

La réalisation de la partie métallique de l'ouvrage a été confiée à l'ingénierie Danois Monberg et Thorsen par le Maître d'Ouvrage et la Chambre de Commerce et d'Industrie du Havre.

Gec Alsthom Sdem a opéré comme sous-traitant de Monberg et Thorsen et a eu pour tâche le transport par voie fluviale des voussoirs sur une barge, le levage, l'accostage et le soudage des 32 voussoirs ainsi que la partie finale de l'ouvrage, le clavage.

Ce lot de tabliers de 624 m pour une portée de 856 m entre piliers, a mis en œuvre 5 700 T d'acier. Durée du montage 10 mois.

## HISTORIQUE DE GEC ALSTHOM SDEM

Créée en 1917, la Société d'Etudes et de Montages - SDEM s'est à l'origine spécialisée dans les études, la fabrication et les installations de fournitures mécaniques sur les aménagements hydroélectriques.

Depuis 1960, la société a étendu son champ d'activité à divers domaines, en particulier :

- industries nucléaires en participant à la construction de centrales nucléaires, de réacteurs expérimentaux et d'usines de séparation d'isotopes (Creys-Malville, Eurodif, Dampierre, Bugey...)

- ensembles industriels : construction de cimenteries, centrales thermiques, unités chimiques et pétrochimiques, traitement d'eau, équipement de bâtiments industriels, etc.

Aujourd'hui nature des principales activités :

- études et réalisation d'équipements mécaniques de barrages et centrales hydroélectriques (conduites forcées, vannes, batardeaux...)

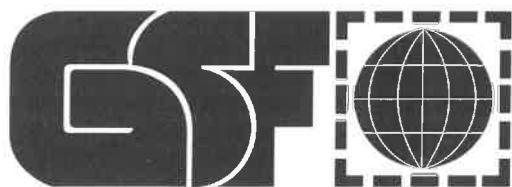
- construction en atelier et sur site industriel d'ensembles mécano-soudés et chaudronnés.

- construction et montage d'équipements : centrales nucléaires et usines d'enrichissement d'uranium.

- montage d'ensembles industriels (centrales thermiques, cimenteries, chimie, antennes paraboliques de télécommunications...)

- ouvrages d'art : études, fabrication et montage d'ouvrages de franchissements (ponts routiers et autoroutiers, viaducs, passerelles)

- machines spéciales d'intervention en milieu hostile pour des opérations de soudage et d'usinage



## LA PAGE DE GÉOMETRES SANS FRONTIÈRES

Dans un numéro de référence consacré principalement au CITOP et que chacun conserve précieusement, parler de GEOMETRES SANS FRONTIERES pourrait paraître incongru.

Mais en regardant de plus près qu'y a-t-il de plus "internationale" qu'une organisation "sans frontières" qui possède des antennes européennes et réalise des actions sur différents continents.

Les thèmes abordés, le matériel présenté s'ils font figure de fer de lance pour une activité très souvent à la pointe de la technologie peuvent paraître en complet décalage avec le travail de base en Afrique éloigné de tout confort ou dans les rudes conditions de l'hiver en Europe Centrale. Néanmoins, les thèmes sont porteurs, pour les populations "laissées pour compte du développement" car ils sont symboles de progrès qui inévitablement aura des retombées sur l'ensemble de la planète. Il n'y a pas de génération spontanée mais transmission organisée de savoir.

Le développement de la technologie entraînant une amélioration de la qualité de la mesure n'est certes pas indispensable pour l'habitant de BAGA au Cameroun (où il n'y a pas d'électricité) mais le gain de temps et de productivité peut permettre, par contre coup, de laisser une disponibilité humaine et intellectuelle pour intervenir au profit de celui-ci.

De plus certains peuvent retrouver du plaisir à manipu-

ler des instruments optiques comme au bon vieux temps au lieu des systèmes GPS ou stations complètes. Le problème du Géomètre ayant à définir la hauteur du réservoir inaccessible car situé de l'autre côté de la rivière reprend toute sa dimension.

L'action de GEOMETRES SANS FRONTIERES s'inscrit dans cette philosophie : disponibilité, écoute, aide efficace avec le seul but de faire fonctionner le robinet, de construire un bâtiment ou de planter... des poteaux électriques pour amener la lumière.

Parfois, il faut organiser, mesurer, tirer des plans et projets pour faciliter le maintien sur place des populations. Et quand on n'a pu éviter l'exode, GSF intervient pour aider à retrouver des conditions de vie décente par une réorganisation de l'espace collectif (réseaux, écoles, etc...).

Mais pour pérenniser cette œuvre qui suscite beaucoup d'enthousiasme, en particulier chez les jeunes, le nerf de l'action reste toujours l'argent, par contribution volontaire ou support de telle ou telle mission (sponsoring, mécennat humanitaire), ou par adhésion régulière à l'Association. Le désintérêt que l'on perçoit actuellement probablement lié aux préoccupations économiques et peut être aux trop nombreuses, hélas, sollicitations extérieures, risque d'être fatal non pas à GEOMETRES SANS FRONTIERES mais à nos missionnaires et aux gens qui ont placé leur espoir en nous.

Lecteur et peut-être visiteur du CITOP, souvenez-vous des numéros précédents d'XYZ et gardez en mémoire, entre autres images fortes, des visions fugitives de la Bolivie, avec ses chemins escarpés, ses canaux pour l'irrigation, ou bien replongez-vous dans la moiteur de séances de négociations au Cameroun pour la régularisation de titres fonciers.

*Cela vous incitera à soutenir l'action de GSF.*

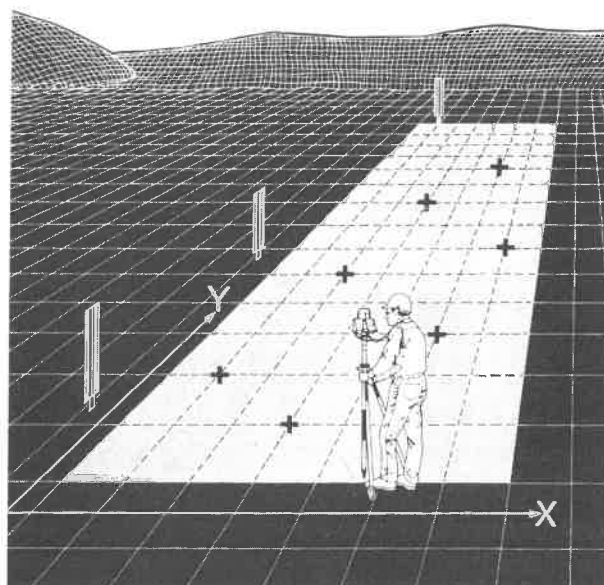
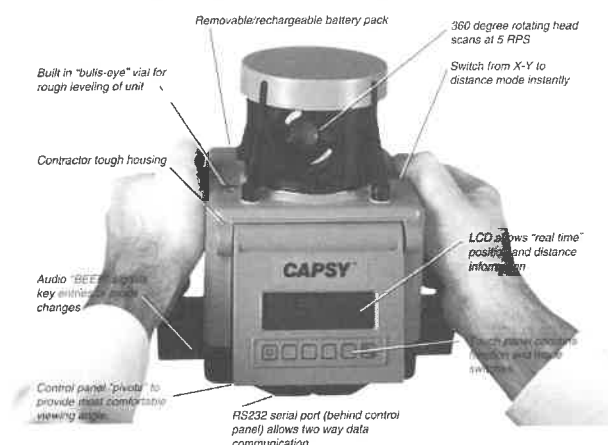
### **Adhésion :**

- Entreprise et Cabinet : 1 000 Francs/an
- Particulier : 500 Francs
- Etudiant : 200 Francs
- Contribution volontaire et partenariat : libre

**GSF.** Maison des Professions Libérales  
Avenue A. Nobel - 34000 - Montpellier

## CAPSY - LE THÉODOLITE LAISSÉ SUR PLACE PAR LE LASER

### CAPSY™ transceiver major features...



Durant les dernières décennies, les niveaux laser sont devenus de plus en plus courants et populaires jusqu'à supplanter les niveaux traditionnels optiques. Les systèmes laser sont à présent capables de remplacer aussi les théodolites.

**Spectra-Physics Laserplane** a développé **CAPSY** (système de positionnement assisté par micro ordinateur / Computer Aided Positioning System).

Le résultat nous apparaît aujourd'hui sous la forme d'un petit laser rotatif portable (3 kg) utilisant la technique de lecture code à barres. Le principe utilise le balayage 360° d'un faisceau laser infra rouge venant se refléter sur des cibles code à barres disposées sur le site. Les lectures sont instantanément comparées aux données de référence préalablement stockées dans la mémoire.

La position de **Capsy** par rapport aux références code à barres est indiquée en temps réel à l'opérateur sur l'écran de contrôle à cristaux liquides de l'appareil. En fait, il aura calculé sa position en comparant les angles instantanés du signal laser réfléchi par les cibles code à barres avec l'angle théorique correspondant à la position finale désirée.

Tous les géomètres confirmeront la lourdeur des calculs de triangulation visant à donner une position exacte à partir de 3 points référence connus et leurs angles attenants. Capsy donne en permanence sa position par un calcul complet tous les 1/5e de seconde.

On comprend ainsi l'énorme intérêt présenté par cet appareil en rapidité, précision et économie de temps, sachant qu'une seule personne effectue des tâches nécessitant un minimum de 2 par les méthodes traditionnelles (théodolite, décamètre).

De plus, **Capsy** peut se déplacer et avoir *instantanément* ses nouvelles positions sans nouvelle mise en station. Avec une précision de 3 mm, **Capsy** peut être utili-

sé pour positionner des piliers et même des fers à béton dans le bâtiment...

Les concepteurs ont également prévu un stockage de paramètres XY relevés pouvant être ensuite transférés vers un logiciel approprié via une interface RS 232. L'entreprise connaît ainsi en permanence l'état du chantier par rapport au projet.

Grâce au logiciel Advisor™, Capsy peut effectuer les quatre types de tâches suivantes :

- Implantation
- Relevés (+ de 2000 points)
- Mesure de distance
- Positionnement X-Y

### SPÉCIFICATIONS DU CAPSY

Plage de fonctionnement :	55 mètres
Incertitude :	± 3 mm
Poids :	2,8 kg
Page compensée :	± 2°
Ecran :	A cristaux liquides éclairés
Modes de fonctionnement :	Position X-Y Mesure de distances, relevés, implantations
Température de fonctionnement :	- 7°C à + 49°C
Température de stockage :	- 28°C à + 66°C
Angle normal d'incidence sur réflecteurs :	± 45°
Environnement :	chantier, intérieur et extérieur
Protégé contre les chocs (sur béton)	
Non protégé contre les chutes	

### EQUIPEMENT INFORMATIQUE NÉCESSAIRE POUR CAPSY ADVISOR™

- IBM AT- compatible 286 ou plus
- Moniteur EGA (VGA ou mieux recommandé)
- 4 MB de mémoire minimum
- Microsoft Windows 3.1
- Souris
- DOS 3.3 ou plus
- 3 MB d'espace libre sur disque dur





# *Les Professionnels Font Confiance à SOKKIA*



## **SOKKIA - DOMINE LA TECHNOLOGIE**

• GPS • Instruments de Topographie • Logiciels • G.I.S. •

**SOKKIA**  
OUR BEST FOR THE WORLD



SOKKIA ILE-DE-FRANCE, 12 avenue Gabriel Péri, 78360 Montesson, Tél. (16-1) 30.53.09.73  
SOKKIA RHONE-ALPES, Rue Copernic 38670 Chasse-Sur-Rhone, Tél. (16) 72.24.03.42



## **EPPUR, SI MUOVE !**

### **OU**

## **À PROPOS DE GALILÉE**

*par Robert VINCENT*

*Ingénieur de l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures  
Président honoraire de l'Association Française de Topographie*

#### **RÉSUMÉ**

Les preuves mécaniques de la rotation de la Terre ont déjà par le passé fait l'objet de nombreuses publications. Mais l'auteur, en brossant l'histoire des expériences sur la déviation de la chute d'un corps et sur la rotation du pendule, lâchés l'un comme l'autre sans vitesse relative par rapport à la Terre, tente d'ajouter ici sa contribution sur des aspects peu ou pas explicités jusqu'à présent, en montrant que, dans le référentiel terrestre, des phénomènes sont *indépendants* de la rotation de la Terre :

- dans sa chute, un corps "abandonné à sa pesanteur" *se dirige à chaque instant vers le nadir du lieu où il se trouvait au moment du lâcher*;
- dans ses oscillations, la boule du pendule décrit une *hypocycloïde* et son *azimut varie à chaque instant uniformément comme celui des étoiles situées à l'horizon du lieu*.

#### **ABSTRACT**

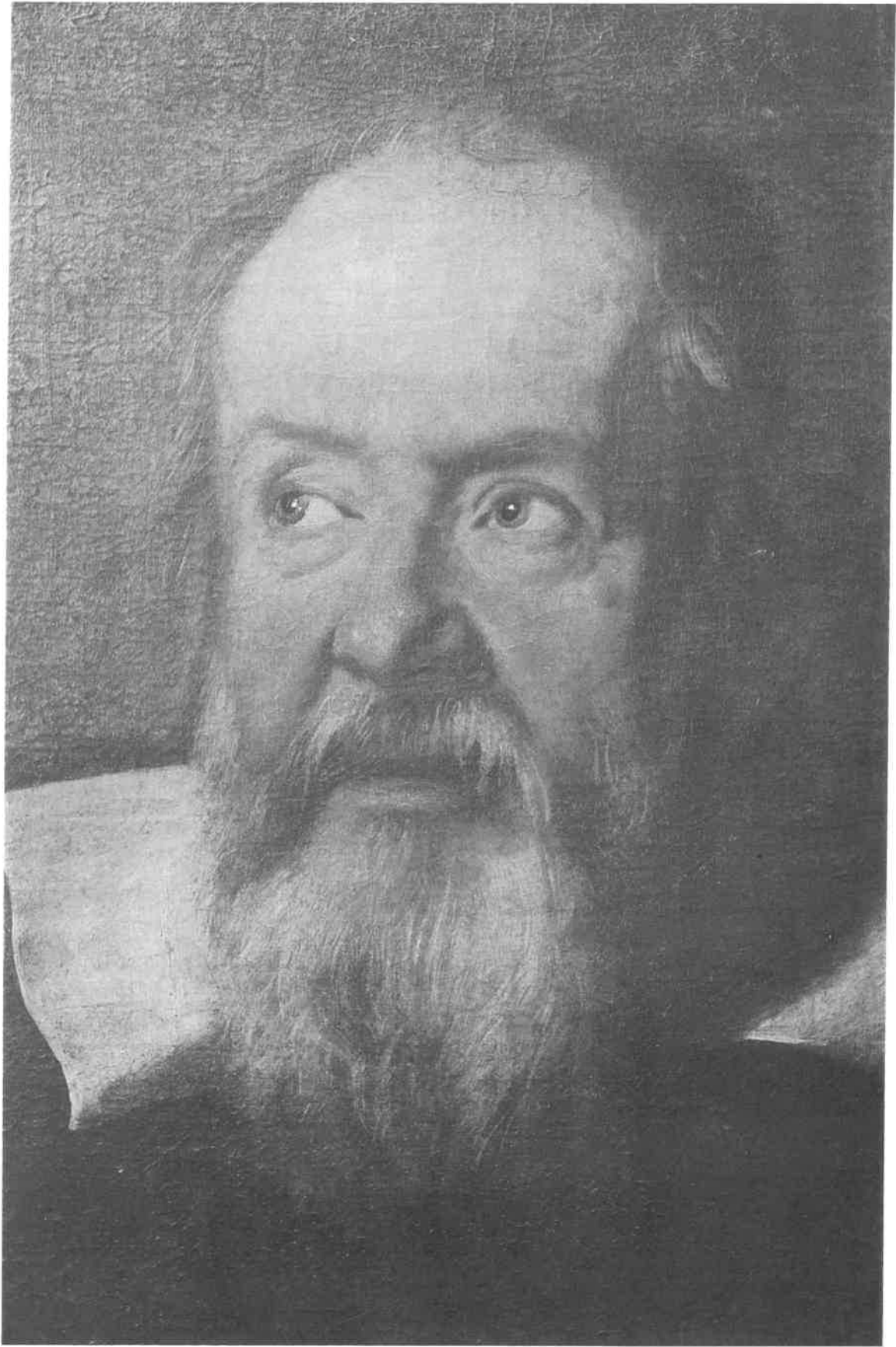
The mechanical evidences of the Earth rotation have already been the subject of many publications in the past. But, by painting the history of experiments on a body fall variation and on the pendulum rotation, both released without relative speed with regard to Earth, the author is trying to bring his participation on aspects that were not very clarified up to now, by showing that in Earth reference system, some phenomena are independent of the Earth rotation :

- within its fall, a body "abandoned to its own gravity" *makes at every moment for the nadir of the place where it was at the time of the release*,
- within its swings, the pendulum ball makes an *hypocycloid*, and *its azimuth uniformly varies at every moment, as the one of stars on the place horizon*.

#### **ZUSAMMENFASSUNG**

Die mechanische Beweise der Erdumdrehung waren schon in der Vergangenheit Gegenstand vieler Veröffentlichungen. Aber der Verfasser, die Geschichte der Experimente über die Abweichung des Fallens eines Körpers und die Umdrehung des Pendels, losgelassen einer wie der andere ohne verhältnismässige Geschwindigkeit, skizzierend, versucht hier einen Beitrag über die bis jetzt weniger oder nicht ausgedrückten Ansichten vorzubringen, indem er zeigt dass im irdischen Bezugssystem die Erscheinungen unabhängig der Erdumdrehung sind :

- in seinem Fallen, ein in seiner Schwere überlassenen Körper *richtet sich nach dem Fusspunkt des Ortes wo er war im Moment der Loslassung*,
- in seinem Schwingen, beschreibt die Pendelkugel eine *Unterkreisellinie (hypozykloid)* und sein Azimut verändert sich gleichmässig jeden Augenblick wie der der im Horizont des Ortes befindlichen Sternen.



Le meilleur portrait de Galilée âgé, par Sustermaans, peintre flamand vivant à la cour des Médicis.  
(Galerie des offices - Florence).



## EPPUR, SI MUOVE !

### Et pourtant, elle est mobile!

Cette célèbre phrase est prêtée à Galilée, après qu'il eût été forcé de faire amende honorable pour avoir proclamé, comme Copernic en avait fait l'hypothèse un siècle plus tôt, que la Terre n'était pas immobile au centre de l'Univers, contestant ainsi la lettre des Écritures.

Galilée réfutait avec autant d'esprit que de force les objections que lui faisaient entre autres les aristotéliens - appelés aussi péripatéticiens en raison de ce qu'Aristote enseignait en marchant ! - opposés à la thèse de la rotation de la Terre sur elle-même et autour du Soleil. La principale objection fut de tout temps l'absence de parallaxe annuelle des étoiles qui aurait dû être décelable si la Terre tournait autour du Soleil. On n'imaginait pas que les étoiles fussent si éloignées ! Logique avec ses conceptions, Galilée avait prédit l'existence de ces parallaxes stellaires. Une autre objection était que si la Terre tournait sur elle-même, un corps en tombant serait dévié vers l'Ouest puisque, pendant le temps de la chute, le sol se serait déplacé vers l'Est !

Les instruments astronomiques les plus précis étaient alors entre les mains de Tycho Brahe, l'ainé de Galilée de 18 ans et le plus habile des astronomes de son temps. Or, celui-ci n'accepta jamais le système de Copernic pour les objections citées ci-dessus, mais aussi parce qu'en contradiction avec les affirmations de la Bible.

Galilée ne pouvait donc espérer convaincre que par des preuves terrestres, sans recours aux observations astrales. Deux siècles plus tard, ces preuves qui lui manquaient alors, ont été apportées par des expériences tout à fait probantes que nous nous proposons d'évoquer ici.

Avant Galilée, on croyait que la vitesse d'un corps qui tombe était proportionnelle à son poids d'une part, et à l'espace parcouru d'autre part.

En arrivant un matin de 1583 dans la cathédrale de Pise, Galilée, qui avait alors 19 ans, considérant le balancement des lustres à chandelles, tous de même hauteur, que le sacristain venait d'allumer, et constatant que les grosses comme les petites mettaient le même temps pour faire une oscillation, en conclut que, quel que soit leur poids, les corps tombent également vite, et plus tard, étudiant le mouvement du pendule, énonça que la durée d'oscillation était proportionnelle à la racine carrée de sa longueur.

Par l'étude du roulement de balles dans des gouttières inclinées, il énonça en 1590 que la vitesse de chute des corps était proportionnelle au temps et l'espace parcouru à son carré.

En introduisant les mathématiques pour l'explication des lois physiques, Galilée jetait ainsi, il y a quatre siècles, les bases de la mécanique moderne.

Galilée attachera son nom aux premières lunettes [7]. Pourtant Giovanni Battista Della Porta (1535-1615), noble napolitain, fit construire vers 1590 des lunettes d'approche, sans doute trop rustiques pour intéresser

d'emblée les scientifiques. Elles étaient constituées par l'assemblage d'une lentille convexe (objectif convergent) et d'une lentille concave (oculaire divergent) de même diamètre. L'idée fut reprise en 1604 à Middelbourg en Hollande et fit l'objet d'une construction avec demande de brevet en 1606, mais la qualité de l'optique reste médiocre. De là, la connaissance se répandit rapidement en Europe à partir de 1608.

En France, les envoyés extraordinaires du roi Henri IV auprès des États généraux de Hollande, considérant l'intérêt stratégique de l'invention, mais n'ayant pu, pour cette raison, s'en procurer une réalisation, envoyèrent à leur monarque dès le 28 Décembre 1608 une lettre par un messenger qui, de plus, avait été mis au courant de la construction des lunettes. Le roi répondit aussitôt, le 16 Janvier 1609 : *Je recevrai avec plaisir les lunettes dont vous me parlez, bien que j'aie beaucoup plus besoin en ce moment d'un instrument pour voir clair dans les choses qui me touchent de près que dans celles qui sont éloignées.* Le bon roi Henri, hélas, voyait juste ! Il fut assassiné l'année suivante.

En Italie, l'invention arrive en 1609 et des lentilles parfaites sont fabriquées à Venise avec les meilleurs verres. Galilée peut ainsi construire des lunettes d'une puissance inégalée ; il dirige alors sa lunette vers la Lune et y observe montagnes, vallées, cratères et plaines, puis vers la voûte céleste où il découvre un très grand nombre d'étoiles, ensuite vers Vénus et en décèle les phases annoncées par Copernic, et surtout le 7 Janvier 1610 vers Jupiter et lui découvre trois satellites puis un quatrième le 13 Janvier. Il a sous les yeux un système solaire en miniature qui le conforte dans sa conception de l'univers.

Remarquons toutefois que cette lunette, que nous appelons depuis lunette de Galilée, ne permet que des observations qualitatives. Plus tard, Kepler eut l'idée de substituer à la lentille divergente, un oculaire convergent situé en arrière du plan focal de l'objectif sur lequel se forme alors une image réelle. Ce dispositif, appelé lunette astronomique, est doté en 1662 par Cornelio Malvasia (1603-1664) d'un réticule. Ensuite, en 1667, Adrien Auzout (1622-1691) et l'abbé Jean Picard (1620-1682) montent une telle lunette, à la place de l'alidade à pinnules, sur un cercle gradué, ce qui permet à ce dernier d'exécuter la première triangulation précise en 1669-70 pour la mesure de l'arc de méridien entre Sourdon, près d'Amiens, et Malvoisine, au Sud de Paris près de la Ferté-Alais [11].

Il faut bien remarquer, dans le cadre de notre propos, que les lois de la mécanique que Galilée avait découvertes, pouvaient tout aussi bien concerner une Terre immobile dans l'espace. Il ne puisait donc pas là sa conviction du mouvement de la Terre.

D'ailleurs, si la certitude de l'immobilité de la Terre fit place peu à peu à la certitude de son mouvement, ce fut au prix d'une naïveté commode qui impliquait que ce mouvement ne modifiait en rien les lois de la mécanique terrestre ; c'est ainsi que Gassendi (1592-1655) fit sa célèbre expérience de la chute d'un boulet du haut du mât d'une galère à rames, lancée à quatre nœuds dans le port de Marseille en 1642, juste après la mort de

Galilée. Comme le boulet était arrivé à l'endroit même où il tombait lorsque le navire était à l'ancre, ainsi que l'avait prévu Galilée, on en déduisit que si un corps lâché du haut d'une tour tombait bien à son pied, cela ne prouvait pas pour autant l'immobilité de la Terre.

C'était ne pas savoir distinguer dans le mouvement instantané de la Terre - ou tout au moins pendant le temps d'une expérience - comme on le ferait aujourd'hui, une composante de translation et une autre de rotation.

Le mouvement de translation uniforme ne modifie en rien les lois de la mécanique : Galilée en a énoncé le principe et en hommage à lui, nous appelons *référentiel galiléen* tout espace en translation uniforme. Un tel mouvement ne pourra pas être mis en évidence par des observations internes terrestres, mais seulement par des observations astronomiques : Ce furent les découvertes de l'aberration astronomique annuelle observée par Hooke dès 1669 et expliquée par Bradley en 1728, puis de la parallaxe annuelle des étoiles, d'autant plus décelable qu'elles sont plus proches, par Bessel en 1838 : ce sont *les preuves astronomiques du mouvement orbital de la Terre*.

Par des expériences terrestres, c'est-à-dire sans recours à un repère extérieur, on peut seulement espérer mettre en évidence la rotation du globe. Tel sera l'objet de notre propos et nous verrons que ces expériences sont très délicates à mettre en œuvre : ce sont *les preuves mécaniques de la rotation terrestre*. Quant à la théorie, celle des mouvements composés dont l'un est une rotation, elle fut explorée par Clairaut (1713-1765), admis à 18 ans à l'Académie des Sciences, laquelle l'envoya en 1736 en Laponie avec Maupertuis (1698-1759) pour y déterminer la longueur d'un degré de méridien [11]. Il fallut attendre pour que la théorie se fasse jour que Gaspard-Gustave Coriolis (1792-1843) publie ses célèbres mémoires dans le journal de l'École Polytechnique : *Sur le principe des forces vives dans les mouvements relatifs des machines* en 1832 et *Sur les équations du mouvement relatif des systèmes de corps* en 1835 et aussi que Denis Poisson (1781-1840) étudie dans ce même journal deux années plus tard en 1837, la déviation à droite des projectiles, dans l'hémisphère boréal, sans d'ailleurs jamais citer le théorème de Coriolis ! Il est vrai que dans sa théorie, Coriolis n'avait pas attiré l'attention sur son application possible à la rotation terrestre.

Les expériences que nous allons évoquer ici sont la manifestation de la rotation de la Terre. Les phénomènes ci-dessus étudiés par Galilée se trouvent modifiés du fait de cette rotation, mais de très peu. On dirait, en langage mathématique, que ces modifications sont du deuxième ordre et, pourtant, comme souvent en physique, ils sont essentiels pour la confirmation de théories nouvelles importantes. L'histoire des sciences est ainsi jalonnée par des anomalies apparentes dans des observations de phénomènes. Une des plus célèbres est l'irrégularité constatée des éclipses des satellites de Jupiter qui ne trouvera son explication que par la découverte de la vitesse finie de la lumière par Römer, à l'Observatoire de Paris, en 1676.

La première preuve expérimentale en date de la rotation de la Terre est la déviation vers l'Est de la chute d'un corps.

De nombreux expérimentateurs ont cherché, parfois sans y arriver avec certitude, à mettre en évidence cette preuve visible de la rotation terrestre, par des observations minutieuses. Pierre Simon de Laplace (1749-1827) en a indiqué la valeur en 1796.

Pendant ce temps, d'autres savants étudiaient le pendule sans se douter qu'il pouvait conduire au même résultat, avec une sûreté beaucoup plus grande et sous une forme incomparablement plus frappante. C'est Léon Foucault (1819-1868) qui, en 1851, par l'expérience de son pendule, a donné la deuxième preuve expérimentale en date, de beaucoup la plus connue, et qui l'année suivante en a donné une troisième preuve spectaculaire avec son gyroscope.

Nous évoquerons d'abord les réalisations expérimentales avant d'en esquisser les théories.

Nous allons montrer que les trajectoires, aussi bien du corps dans sa chute que du pendule dans ses oscillations, sont, si l'on veut bien se référer à des repères sidéraux, *indépendantes* de la *rotation* de la Terre, l'attraction de celle-ci n'intervenant que sur la vitesse de chute du corps et sur la période d'oscillation du pendule suivant les lois bien connues.

## EXPÉRIENCES

### La chute d'un corps

Quand Isaac Newton (1642-1727) réfléchit en voyant tomber la pomme, il ne remarqua pas que le fruit ne suivait pas tout à fait une verticale. La faible hauteur de chute ne permettait pas de mettre en évidence le phénomène que nous allons étudier et de toute façon le vent, qui sans doute avait décroché la pomme, l'aurait masqué.

Pourtant l'idée que la rotation de la Terre pourrait se manifester dans l'observation de la chute d'un corps paraît avoir été émise pour la première fois par Newton qui, dans une lettre écrite le 28 Novembre 1679 au Docteur Robert Hooke, membre comme lui et secrétaire de la Société royale de Londres, fait observer que *si on laisse tomber un corps d'une hauteur suffisante, il devra, par suite de la rotation du globe, tomber à l'Est de la verticale de son point de départ, parce que la force centrifuge, dirigée de l'Ouest à l'Est, est plus grande au sommet de la tour qu'à la base*. Nous verrons ce qu'il faut penser de cette formulation. Hooke, est alors chargé par la Société royale d'organiser une expérience. Celui-ci affirme alors, sans "divulguer" son raisonnement, que *la chute du corps pesant ne devait pas se faire directement à l'Est, comme l'a supposé M. Newton, mais au Sud-Est, et même plus au Sud qu'à l'Est*. Cette annonce d'une déviation australe, bien qu'étayée par aucune théorie, créa-t-elle un préjugé ? En tout cas elle fut, comme nous le verrons, souvent observée par la suite. Hooke n'opéra que sur une chute de 27 pieds (9 mètres !) et n'obtint sans doute pas de résultats probants puisqu'ils ne furent pas publiés. Pourtant il

était certainement motivé : il avait même fait figure de précurseur cinq ans auparavant, en publiant dès 1674, un opuscule qui avait pour titre : *an attempt to prove the motion of the earth (une tentative pour prouver le mouvement de la Terre)* dans lequel il affirme notamment que *les corps célestes s'attirent avec d'autant plus de force qu'ils sont plus près les uns des autres*, en ajoutant qu'il n'avait pas recherché suivant quelle loi. Dommage pour sa renommée ! Son nom restera néanmoins attaché à la loi sur l'élasticité parfaite, ainsi qu'à la première observation de l'aberration stellaire, comme nous l'avons dit.

Cassini, à l'Observatoire de Paris au 18<sup>ème</sup> siècle, aurait mis à profit la disposition des lieux : un puits descendant jusqu'aux Catacombes, à 28 mètres de profondeur, est situé sous une ouverture de l'édifice donnant sur la terrasse supérieure, à la hauteur de 28 mètres également, permettant une chute de 56 mètres.

Puis en 1790 et en Juin et Août 1791, J.-B. Guglielmini, un jeune abbé italien, tenta par deux fois l'expérience à la tour penchée *degli Asinelli* de Bologne, là même où, cent cinquante ans auparavant, le Père Riccioli (1598-1671) avait opéré, en vue de contredire Galilée, en voulant montrer qu'il n'y avait pas de déviation ! La hauteur disponible au milieu de l'escalier tournant de la tour était de 240 pieds (78 mètres) et d'innombrables précautions furent prises, jusqu'à opérer de nuit pour se mettre à l'abri des vibrations occasionnées par la circulation des véhicules sur le pavage du voisinage ! Le résultat fut de 16,7 mm vers l'est, en accord à 0,4 mm près avec la théorie d'après Guglielmini, et 11,75 mm vers le sud, avec des impacts remarquablement groupés. Cette expérience pourrait paraître satisfaisante si ce n'était que la référence à la verticale fut établie 6 mois plus tard en hiver.

Dès 1796, Pierre Simon de Laplace énonce son célèbre théorème en indiquant la valeur de la déviation vers l'Est, mais sans nous en laisser la démonstration. Il indique ainsi que la déviation n'a lieu que vers l'Est et, comme nous le verrons dans la partie théorique, que sa valeur n'est que les deux tiers de celle qui serait obtenue par la seule prise en compte de l'excès de vitesse du point du lâcher par rapport au point de chute.

Il applique aussitôt sa formule à l'expérience de Bologne et trouve une déviation théorique vers l'est de 11 millimètres, c'est-à-dire curieusement les deux tiers environ de la valeur théorique sur laquelle Guglielmini avait tablé cinq ans plus tôt ! La bonne concordance des résultats de Guglielmini avec une valeur théorique fautive - celle obtenue par le seul excès de vitesse du point du lâcher par rapport au point de chute - jette une ombre supplémentaire sur les résultats de 1791.

Ensuite, en 1802, le Dr Johann Friedrich Benzenberg (1777-1846), qui habite alors à Hambourg à côté de la tour Saint-Michel dont la construction haute de 130 mètres venait d'être achevée en 1780, pense pouvoir disposer d'une bonne hauteur de 340 pieds (100 m), mais doit y renoncer en raison des courants d'air et se contenter de 235 pieds (76 mètres) pour réaliser une série de 31 expériences du 14 au 26 Octobre. Après avoir trié les valeurs qui lui paraissaient entachées

d'erreurs (!), avec cette fois l'avantage de connaître le résultat théorique calculé par la formule exacte, la moyenne des résultats de Benzenberg fut ainsi de 9,0 mm vers l'est et de 4 mm vers le sud. Carl Friedrich Gauss (1777-1855) refit la théorie et trouva la même formule que Laplace, confirmée encore par Olbers (1758-1840) : si la déviation vers l'est était théoriquement de 8,91 mm, en bon accord avec le résultat de l'expérience, par contre il n'y a pas de déviation théorique vers le sud. La dispersion des résultats enlève de toute façon beaucoup de valeur au résultat de l'expérience.

En 1804, pas découragé pour autant, Benzenberg opère du 7 au 10 Octobre dans un puits de charbonnage abandonné à Schlebusch, *zur alten Rosskunst*, dans le comté de Mark, profond de 262 pieds (85 mètres). Pour la moyenne de 29 chutes, l'expérience donne 11,3 mm vers l'est et pratiquement rien vers le sud, en regard d'une valeur théorique de 10,37 mm vers l'est. Les résultats peuvent paraître satisfaisants mais la dispersion des points de chute est encore plus grande qu'à Hambourg, sans aucune accumulation dans le voisinage de la moyenne. Sans doute en butte avec le vent ou les courants d'air, Benzenberg préconise d'exécuter l'expérience à Paris, au Panthéon qui venait d'être achevé en 1790 !

Benzenberg fut chargé, en 1807, de la direction des opérations cadastrales pour la triangulation de la Bavière.

En 1831, dans le *Dreibrüderschacht* (puits des Trois Frères) d'une mine près de Freiberg, Reich, professeur de physique à l'académie royale de Saxe, réussit une chute de 158,5 mètres en prenant un luxe de précautions : il installe une sorte de cheminée en bois qu'il calfeutre soigneusement pour éviter tout courant d'air et les mesures sont même retardées pour attendre l'arrivée de France d'un mètre authentique ! Reich observe 107 chutes réparties en 6 séries du 23 Août au 8 Septembre 1831. Comme Benzenberg, il élimine du calcul de la moyenne toutes les observations dont le résultat s'écarte par trop de la moyenne générale et comme Benzenberg il trouve une moyenne qui se rapproche bien du résultat donné par la théorie ! La moyenne ainsi trouvée donne une déviation de 28,4 mm vers l'est, pour 27,5 mm en théorie, et 4,37 mm vers le sud. Mais les écarts à la moyenne, malgré les éliminations signalées, sont très élevés et leur répartition n'a rien de gaussienne.

Ces expériences marquent de toute façon un bel acharnement sur la seule preuve alors envisageable de la rotation terrestre. La fièvre sur cette technique va retomber en 1851, lorsque Foucault fera son expérience du pendule comme nous le verrons plus loin.

Dans le bulletin de la Société Astronomique de France, Ph. Gilbert [3] fait paraître en 1896 un article très documenté sur ces expériences de Guglielmini, de Benzenberg et de Reich, où, après avoir fait l'analyse critique de chacune d'elles, il conclut : "*ces expériences sont vraiment insuffisantes eu égard au rôle important qu'on leur a assigné dans la Science; elles sont à refaire.*"

Nous avons vu que le raisonnement simpliste par

lequel il n'est tenu compte que de l'excès de vitesse du point du lâcher par rapport au point de réception en raison de la rotation de la Terre, est erroné. Il a néanmoins pris en défaut certains esprits et non des moindres : la formulation de la lettre de Newton à Hooke évoquée ci-dessus peut s'interpréter dans ce sens. Olbers s'égarait également avant d'être ramené à la raison par Gauss.

Camille Flammarion, fondateur de la Société Astronomique de France en 1887, fut également séduit par ce faux raisonnement. Il avait écrit, dans son *Astronomie populaire* (1879) [2], dans le chapitre "Preuves positives des mouvements de la Terre" (pages 76 et 77) :

*"Comme la vitesse de rotation est d'autant plus grande que l'on est plus éloigné du centre de la Terre, une pierre posée à la surface du sol est animée vers l'Est d'une vitesse un peu plus grande qu'une pierre du fond d'un puits. Or l'excès de cette vitesse ne pouvant pas être anéanti, si on laisse tomber une petite boule de plomb dans un puits, elle ne descend pas juste suivant la verticale, mais s'en écarte un peu vers l'Est. La déviation dépend de la profondeur du puits ; elle est, à l'équateur, de 33 millimètres pour 100 mètres de profondeur."* et il ajoute un peu plus loin : *"Une balle de plomb qui tombe du haut des tours de Notre-Dame ne suit pas juste la verticale, mais tombe à 15 millimètres vers l'Est, différence entre la vitesse au pied et au sommet."* (La hauteur des tours est de 75 mètres).

On ne peut pas se tromper plus clairement ! Bien entendu un faux raisonnement conduit à des valeurs numériques erronées. Les vraies valeurs sont les 2/3 des valeurs annoncées comme nous l'avons déjà dit et comme nous le vérifierons ci-après dans l'exposé de la théorie.

En 1902, Edwin H. Hall organise une expérience dans la tour du laboratoire Jefferson à l'université de Harvard, sur une hauteur de 23 mètres seulement, mais très soignée. Le titre même du compte rendu, *Do falling bodies move south ?* (les corps chutent-ils vers le Sud ?) indique que le but n'était plus de prouver la rotation de la terre par l'observation de la déviation vers l'Est, ce qui est alors bien entendu admis, mais de décider, par l'expérience, de l'existence ou non de la déviation australe, annoncée comme nous l'avons dit en 1679 par Hooke sans démonstration, souvent observée, mais qu'aucune théorie n'est venue étayer. Le résultat des 948 chutes donne une déviation de 1,50 mm vers l'Est, pour une valeur théorique de 1,77 mm, et une déviation de 0,05 mm vers le Sud donc non rigoureusement nulle, bien qu'insignifiante.

Puis en 1903, Camille Flammarion [3], à Paris au Panthéon, motivé sans doute par l'article de Ph. Gilbert de 1896, profitant de l'occupation des lieux pour la répétition de l'expérience du pendule de Foucault sur laquelle nous reviendrons plus loin, et peut-être soucieux d'effacer l'erreur figurant dans son *Astronomie populaire*, fit alors une série d'expériences sur la chute des corps du 20 Avril au 14 Mai. La déviation observée, pour une chute de 68 mètres, a été de 7,6 mm vers l'Est et de 0,5 mm vers le Nord (moyenne des 6 dernières séries) ce qui, compte tenu de la dispersion des points d'impact

des billes lâchées, peut être considéré comme en plein accord avec la théorie (8,1 mm vers l'Est).

Enfin, vers 1958, au moment de la mise au point par le Cabinet Gilbert d'un largueur de billes pour des applications topographiques dans des puits [7], Robert Taton a poussé l'expérience jusque dans un puits de mine de 580 mètres de profondeur, où la déviation vers l'Est atteint 20 centimètres.

## Le pendule de Foucault

Léon Foucault (1819-1868), fils d'un éditeur parisien et véritable autodidacte, perfectionna les procédés photographiques de Daguerre et travailla ensuite avec Fizeau et Arago. Il gagna sa vie dès 1844 comme journaliste au *Journal des Débats* en tenant la gazette scientifique. Il se fit ensuite connaître en 1850 par la détermination de la vitesse de la lumière dans différents milieux par la méthode du miroir tournant et par sa découverte sur les courants induits dans les masses métalliques, donnant ainsi l'explication du "magnétisme de rotation" d'Arago.

Léon Foucault fit ensuite sa retentissante expérience avec son pendule en 1851 et présenta son gyroscope en 1852. Nous allons y revenir plus en détail. En 1857, Léon Foucault attachait son nom à la taille des miroirs paraboliques des télescopes. Il fut nommé, en tant qu'astronome, membre titulaire du Bureau des longitudes en 1862 et fut élu à l'Académie des Sciences en Janvier 1865.

En 1851 donc, Léon Foucault étudie le plan d'oscillation du pendule. Avant lui, certains scientifiques avaient déjà mentionné l'effet que la rotation de la Terre pouvait avoir sur un pendule : le marquis de Poli (ou Poléni) dès 1742 dans les *Philosophical Transactions*, puis Poisson l'a également considéré en 1837 (C.R. Académie des Sciences), le jugeant toutefois trop faible pour pouvoir le mettre en évidence par l'expérience.

Foucault met au point un appareillage minutieusement élaboré avec Gustave Froment (1815-1865), ancien élève de l'École Polytechnique, un des plus habiles constructeurs d'instruments de précision de son siècle, à qui revient une part importante des succès de Foucault dans la présentation de son pendule et, nous le verrons plus loin, de son gyroscope l'année suivante.

Foucault fait ses premières expériences concluantes dans l'hôtel particulier où il habite à Paris, à l'angle des rues de Vaugirard et d'Assas. En 1894, un immeuble en pierre de taille fut construit sur cet emplacement, mais l'architecte, voulant rappeler l'événement qui frappa tellement les esprits à l'époque, figura dans des cartouches hauts de deux étages, de part et d'autre du pan coupé à l'angle des deux rues (figure 1), un pendule sur la façade rue de Vaugirard et l'inscription suivante sur la façade rue d'Assas : *" Ici s'élevait un hôtel où mourut, le 11 Février 1868, Jean Bernard Léon FOUCAULT, membre de l'Institut, né à Paris le 19 Septembre 1819. C'est dans cet hôtel qu'il réalisa en 1851 la célèbre expérience qui démontre la rotation de la Terre par l'observation du pendule"*.

Léon Foucault opère dans sa cave de la rue d'Assas





Rue de Vaugirard Figure 1 Rue d'Assas

avec un pendule ne dépassant pas deux mètres et une boule de 5 kilogrammes. Il note sa première expérience : *Mercredi, 8 Janvier 1851, 2 heures du matin : le pendule a tourné dans le sens du mouvement diurne de la sphère céleste.* Il installe ensuite, sur la proposition d'Arago, un pendule de 11 mètres dans la salle de la méridienne à l'Observatoire de Paris, muni d'une sphère d'acier de 19 kilogrammes : la durée de fonctionnement, de plus d'une demi-heure, permet de mesurer les déplacements. Arago en fit la première communication à l'Académie des Sciences, lors de la séance du 3 Février 1851.

Le prince Louis Napoléon Bonaparte, alors Président de la République, demande en Mars 1851 à Léon Foucault de réaliser une démonstration publique de son expérience. Le site doit être prestigieux et permettre une suspension de grande hauteur. Le Panthéon, qui était un monument civil - il n'avait été donné au culte que de 1821 à 1830 - répondait à ces critères. Foucault y fait ainsi sa célèbre démonstration sous la coupole de l'édifice conçu par Soufflot (figure 2).

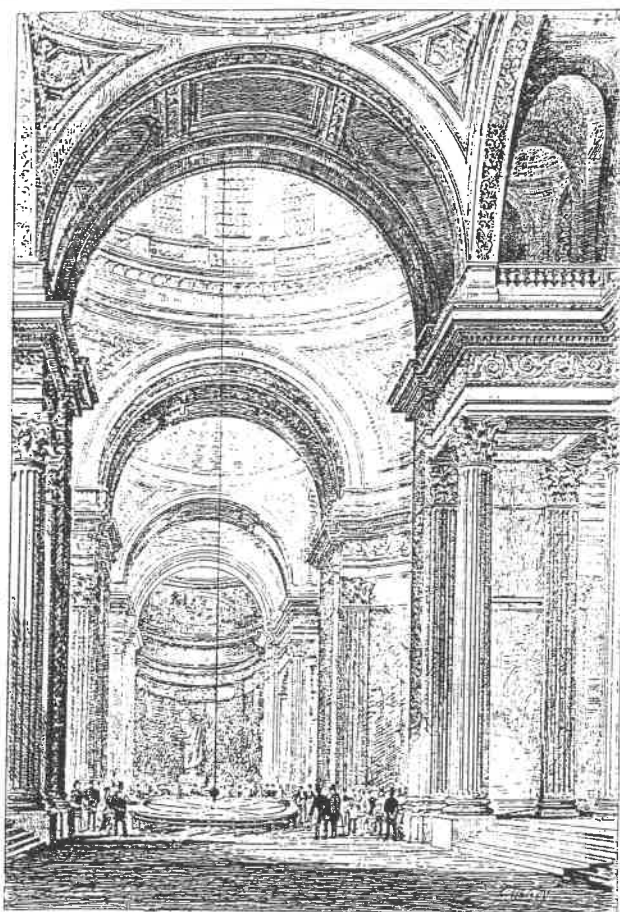
Une boule de 28 kilogrammes, constituée par une enveloppe de laiton renfermant une masse de plomb, munie d'une pointe à sa partie inférieure, est suspendue à un fil d'acier de 67,24 mètres de longueur et de 1,4 mm de diamètre. Au repos, elle occupe le centre d'un plateau circulaire divisé en degrés, légèrement surélevé pour le confort des observateurs. Un petit talus de sable fin est disposé à la périphérie du plateau. La boule est écartée de 3 mètres de sa position de repos en l'attachant à un fil de chanvre. Ce fil est alors brûlé à la flam-

me d'une allumette, de façon à libérer la boule qui commence ses oscillations avec une période :

$$T = 16,5 \text{ secondes environ.}$$

À chaque passage, dans un sens comme dans l'autre, la pointe de la boule entame chaque fois un peu plus le petit talus de sable aux deux extrémités du diamètre du plan d'oscillation. Les brèches s'agrandissent avec le temps, si bien qu'en quelques minutes elles sont larges de plusieurs centimètres.

Foucault met ainsi en évidence que le plan d'oscillation du pendule pivote autour de la verticale, dans le sens du mouvement diurne des astres donc inverse de celui de la Terre, d'un peu plus de  $11^\circ$  par heure et de  $68^\circ$  pendant les 6 heures d'amortissement du mouvement. Un tour complet demanderait un peu moins de 32 heures (31 h 47 min 16 sec en théorie).



Astronomie Populaire

Figure 2

L'expérience du Panthéon est prolongée pendant plusieurs mois : chaque jour, le pendule est relancé à heure fixe, jusqu'à ce que l'édifice soit rendu au culte après le coup d'État du 2 Décembre 1851.

L'expérience est alors très vite répétée de nombreuses fois pendant l'année 1851, dans les cathédrales de Reims, d'Amiens puis en des latitudes nettement différentes comme à Marseille.

À Rome, dans l'église Saint-Ignace, le père Angelo Secchi (1818-1878), alors directeur de l'Observatoire du Collège romain, se trouve en butte avec l'apparition systématique, après un certain temps, d'un mouvement

elliptique dont le grand axe tourne dans le même sens que la Terre, donc à l'opposé de la rotation initiale et qui finit par masquer complètement le phénomène de Foucault. Il est ainsi le premier à se rendre compte que le pendule, lâché en repos relativement à la Terre, reçoit en fait une vitesse latérale de rotation - celle de la Terre elle-même - par rapport à son point de suspension, vitesse à l'origine d'un mouvement absolu elliptique comme nous le verrons plus loin. Très faible au début, ce mouvement s'amplifie avec l'amortissement des oscillations.

En 1852, du 28 Mai au 14 Juin, le Dr Garthe, reprend l'expérience dans la voûte du chœur du célèbre *Dom* (cathédrale) de Cologne en suspendant à la *cardan* un pendule de 50 mètres. La démonstration permet de vérifier, par les mesures de 36 expériences très soignées, que la rotation horaire observée du "plan" du pendule est de  $11^{\circ}38'30''9$ , en accord fort remarquable avec la valeur théorique de  $11^{\circ}38'50''3$  pour la latitude de la cathédrale et d'après la loi du sinus de la latitude.

En 1855, un pendule est installé à l'Exposition universelle de Paris. Foucault lui adjoint un dispositif destiné à entretenir le mouvement. C'est ce pendule qui est de nos jours installé à Paris, sous les hautes voûtes du chœur de la chapelle du XIIe siècle de l'ancienne abbaye Saint-Martin-des-Champs (en restauration actuellement jusqu'en 1996), faisant partie aujourd'hui du Musée National des Techniques au Conservatoire National des Arts et Métiers [13]. Pour le deuxième centenaire de la fondation du Conservatoire, célébré le 10 Octobre 1994, un timbre-poste fut émis avec pour thème le pendule de Foucault; c'est dire l'impact du phénomène encore de nos jours (fig.3). On remarquera que la trajectoire du pendule, hypocycloïdale comme nous le verrons dans la partie théorique, a bien été représentée par le graveur de la figurine.



Figure 3 : Timbre du bicentenaire du CNAM

L'expérience est reprise au Panthéon en 1902. Le monument était à nouveau redevenu un édifice civil pour les grandioses funérailles de Victor Hugo en 1885. Le centenaire de la naissance du poète fait l'objet, le 26 Février 1902, de fêtes tout aussi grandioses au Panthéon. C'est l'occasion pour la Société Astronomique de France [3] de renouveler l'expérience du pendule réalisée 51 ans plus tôt par Léon Foucault, en l'exécutant au même endroit.

L'inauguration du pendule du Panthéon a lieu le 22 Octobre 1902, en une cérémonie solennelle, sous la présidence du Ministre de l'Instruction publique qui est

reçu par Henri Poincaré, membre de l'Institut et du Bureau des longitudes et Président de la Société Astronomique de France, et par Bouquet de Grys, Président de l'Académie des Sciences, et en présence de plus de deux mille personnes qui se pressent dans l'immense nef.

Pour la réédition de l'expérience du pendule, la boule est suspendue par une *corde à piano* de 67 mètres de longueur et de 0,72 mm de diamètre, offerte obligeamment par la maison Pleyel : le mécénat d'entreprise est né!

En Avril 1993, pour les 175 ans de l'Université, la Société Astronomique de Liège [14] renouvelle pour la quatrième fois la célèbre expérience dans l'ancienne église Saint-André, avec une boule de 28,4 kg et une suspension de 35,5 mètres de hauteur. Elle avait déjà été présentée en 1943, 1953 et 1979.

## Le Gyroscopie

L'influence perturbatrice qu'exerce la rotation de la Terre sur les corps en mouvement à sa surface, est d'autant plus sensible que leur vitesse est plus grande.

C'est le cas du gyroscope qui est une troisième preuve en date de la rotation de la Terre mais qui, elle, a reçu des applications pratiques.

Il est juste de rappeler qu'un allemand, Johann Gottlieb Friedrich von Bohnenberger (1765-1831), qui fut professeur de mathématiques et d'astronomie à Tübingen et auteur d'un traité d'astronomie, avait conçu et réalisé, dès 1817, un appareil qui porte son nom et dont il disait "On peut le transporter dans des directions arbitraires et avec des vitesses quelconques, et pourtant l'axe de la sphère garde une direction constante. Si l'on a commencé à le diriger vers le Nord, il se dirige dans toutes les positions vers le Nord, comme une aiguille aimantée". Rappelant ces propos en Juin 1851, Johann Christian Poggendorff (1796-1877), éminent professeur d'histoire de la physique à l'université de Berlin [1], impressionné par l'expérience du pendule de Foucault qui venait d'être présentée au mois de Mars précédent, faisait ce commentaire "En vertu de ce phénomène, la machine de Bohnenberger deviendrait, en même temps, un appareil pour la démonstration de la rotation de la Terre (peut-être pour la détermination de la latitude), si, ce qui ne me semble pas impossible, on lui communiquait un mouvement continu par un ressort".

Léon Foucault reprend l'idée. Après huit mois de lutte contre des difficultés d'exécution presque insurmontables dont il vient à bout grâce encore à l'aide et à l'habileté de son fidèle Froment, il réalise un appareil en forme de tore suspendu "à la cardan". Une des principales difficultés de la réalisation est le calage rigoureux du centre de gravité et d'inertie du tore en un point fixe, centre du cardan, lié à la Terre, surtout du fait que la mise en rotation du tore se fait en dehors, sur un lanceur.

L'appareil s'avère bien avoir la propriété exceptionnelle, étant en rotation rapide, de garder une direction fixe par rapport aux étoiles. De plus, si l'axe du tore est assujéti à rester horizontal, il oscillera de part et d'autre du méridien et finira par se stabiliser dans la direction

du Nord. Si l'axe du tore est assujéti à rester dans le plan méridien du lieu, il s'inclinera dans la direction de l'axe du monde et indiquera ainsi la latitude du lieu. La réalisation de l'appareil est tellement délicate que son application pratique se fera attendre pour remplacer la boussole dans les navires en fer. Il est devenu aujourd'hui indispensable pour la navigation aérienne et le guidage des fusées.

Le 27 Septembre 1852, fort de la renommée acquise par la démonstration de son pendule, Léon Foucault présente son appareil à l'Académie des Sciences et lui donne le nom de *gyroscope*, en forgeant à cette occasion ce nouveau mot qui littéralement signifie *instrument d'observation de la rotation (de la terre)*. En même temps, il présente sa *théorie des phénomènes gyroscopiques*.

## THÉORIES

Nous n'aborderons pas ici cette théorie du gyroscope.

Avant d'évoquer les deux autres expériences nous commencerons par établir quelques données numériques utiles pour corroborer les résultats expérimentaux :

Soit  $\vec{\omega}$  la vitesse angulaire de rotation de la Terre autour de son axe des pôles, représentée par un vecteur rotation porté par l'axe des pôles et dirigé dans le sens Sud-Nord. Un tour complet ( $2\pi$  radians) étant effectué en un jour sidéral de 23 heures 56 minutes 4 secondes, nous avons :

$$\tau = 86164 \text{ secondes}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{t}$$

$$\text{d'où : } \omega = 7,29212 \cdot 10^{-5} \text{ radian / seconde.}$$

En un lieu de latitude  $\varphi$  à la surface de la Terre, comptée positivement dans l'hémisphère Nord et négativement dans l'hémisphère Sud, on peut projeter le vecteur rotation  $\vec{\omega}$  sur la verticale et sur l'horizontale méridienne du lieu. Les deux composantes sont respectivement (figure 4) :

\*  $\vec{\omega}_v = \omega \cdot \sin \varphi$  sur la verticale du lieu, comptée positivement vers le haut.

Ceci revient à dire que tout point de l'horizon du lieu se déplace à cette vitesse angulaire sur le grand cercle horizon de la sphère céleste du lieu.

$\omega_v$  varie de  $+\omega$  au pôle Nord à  $-\omega$  au pôle Sud en passant par 0 à l'équateur,

\*  $\vec{\omega}_h = \omega \cdot \cos \varphi$  sur l'horizontale méridienne du lieu, comptée positivement vers le Nord.

Ceci revient à dire que le zénith du lieu se déplace à cette vitesse angulaire sur le grand cercle vertical Est-Ouest de la sphère céleste du lieu.

$\omega_h$  est nulle aux pôles et passe par son maximum  $+\omega$  à l'équateur.

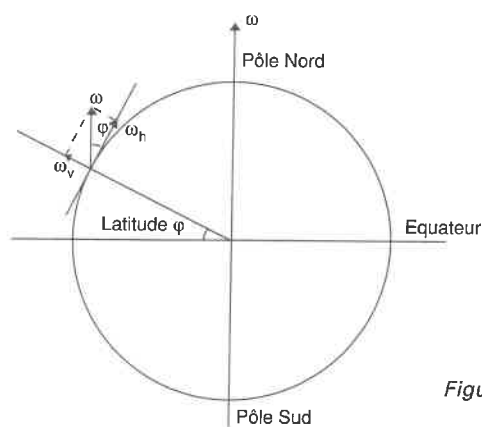


Figure 4

Pour la latitude de Paris (Panthéon  $\varphi = 48^\circ 50' 46''$  ou 54,2735 grades) :

$$\omega_v = 5,49057 \cdot 10^{-5} \text{ radian / seconde.}$$

$$\omega_h = 4,79882 \cdot 10^{-5} \text{ radian / seconde.}$$

Nous allons maintenant entrer, pour l'étude théorique des phénomènes, dans le domaine de la *cinématique* qui est la partie des mathématiques où l'on étudie le mouvement des corps, c'est-à-dire leur position définie par les coordonnées "x", "y", "z", en fonction du temps "t" et par conséquent leur vitesse et leur accélération. Certains préfèrent parler de *dynamique*. Cela implique de parler de masse et de force au lieu d'accélération. Or nous savons que la masse des corps n'intervient pas dans les expériences décrites, comme Galilée lui-même l'a énoncé : tous les corps tombent également vite, quel que soit leur poids. Nous en resterons donc à l'abstraction cinématique.

## La chute d'un corps

Tout d'abord, faisons les trois remarques suivantes :

Dans ce qui suit, nous considérerons que l'accélération de la pesanteur "g" est constante dans tout le champ d'une expérience.

En toute rigueur, pour une expérience de chute d'un corps lâché d'une tour par exemple, la pesanteur va légèrement croître pendant la chute jusqu'au sol. Inversement, pour une chute dans un puits, si l'on fait l'hypothèse d'une Terre de densité homogène, la pesanteur va légèrement décroître tout au long de la chute. Les variations de g sont de toute façon très faibles et en tenir compte ne modifierait pas les conclusions qui vont suivre.

D'autre part, il y a lieu de remarquer :

- que l'accélération de la pesanteur  $\vec{g}$  est la somme géométrique de la gravité, attraction de la Terre vers son centre de gravité, et de l'accélération centrifuge due à sa rotation, de sorte que les corps, mais aussi le fil à plomb, ne tombent pas exactement vers le centre de la Terre ;

- que cela est toutefois sans incidence sur le résultat des expériences de chute d'un corps puisqu'on rapportera toujours la trajectoire de chute à la ligne du fil à plomb. C'est la raison pour laquelle nous nous permettrons, quand nous parlerons de l'accélération  $\vec{g}$ , de dire par concision qu'elle est dirigée vers le centre de la Terre.

Enfin, compte tenu des différences d'altitude, parfois grandes, il pourrait être remarqué qu'un fil à plomb suspendu au point du lâcher ne matérialise pas exactement la verticale en ce point, mais la normale abaissée de ce point sur la surface équipotentielle du pied de la chute (figure 5). On sait en effet que les surfaces équipotentielles d'altitudes différentes ne sont pas parallèles entre elles : les nivellements de quelque importance doivent, de ce fait, subir des corrections "orthométriques". La verticale au point du lâcher, ainsi qu'en tous les points intermédiaires de la chute, n'est donc pas confondue avec cette normale.

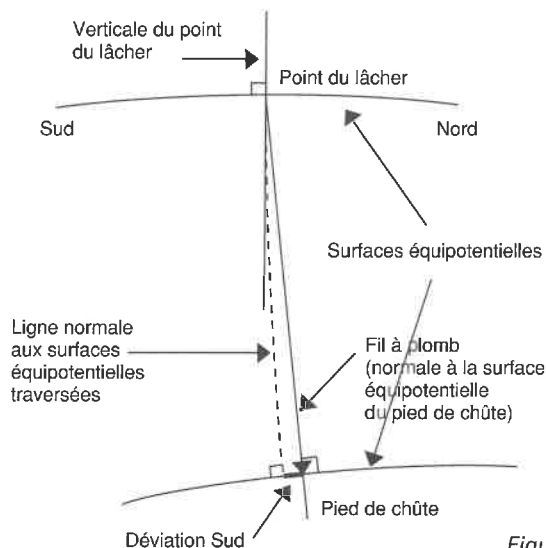


Figure 5

En conséquence, il faudrait rapporter la chute libre à la ligne normale en tous points aux surfaces équipotentielles traversées et cette ligne est une courbe, située dans le plan méridien, présentant une concavité vers le pôle. Dans l'hémisphère Nord, cette ligne coupe le sol du pied de chute, au Sud du point défini par le fil à plomb. On doit alors observer une déviation vers le Sud. Dans l'hémisphère Sud, la déviation est vers le Nord. Elle est nulle aux pôles et à l'équateur, maximale aux latitudes  $\pm 45^\circ$  mais très faible. Cette déviation est tout à fait négligeable et il ne faut pas chercher là l'explication des quelques déviations Sud observées.

Bornons-nous ici à l'étude théorique de la déviation vers l'Est due à la rotation terrestre, telle que Laplace en a donné la valeur en 1796.

Robert Genty en a donné récemment deux solutions [12] : une première, par l'accélération de Coriolis, en s'appuyant sur le théorème que ce mathématicien a énoncé en 1835 et que ne pouvait donc connaître Laplace, et une seconde, proposée comme pouvant être celle correspondant au raisonnement de Laplace. Nous en donnerons ici une autre démonstration :

Lorsqu'on abandonne un corps à sa pesanteur, suivant l'expression de Laplace, il est soumis à tout instant à une accélération " $\vec{g}$ " dirigée vers le centre de la Terre.

Plaçons-nous d'abord dans un **référentiel galiléen**, en convenant d'affecter du signe "-" ce qui se dirige vers l'Ouest (figure 6).

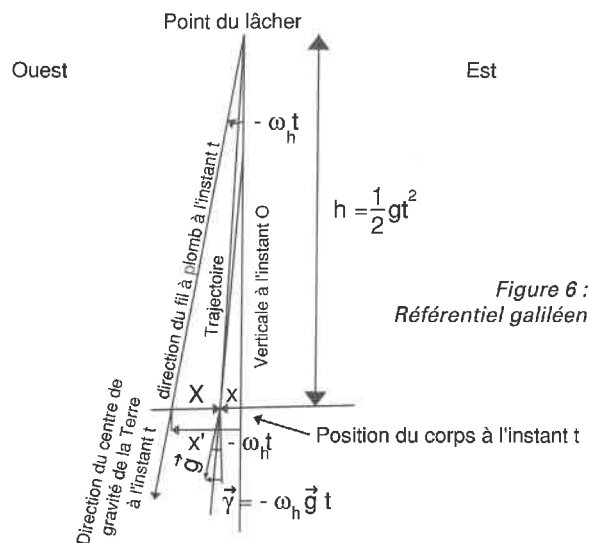


Figure 6 : Référentiel galiléen

La direction du vecteur accélération  $\vec{g}$  tourne à la vitesse  $-\omega_h$  à partir de la verticale initiale de l'instant "0". La trajectoire du corps dans sa chute, ne sera donc pas rectiligne. En effet, à un instant "t", le vecteur accélération  $\vec{g}$ , dirigé vers le centre de la Terre, fait avec la verticale initiale de l'instant "0" un angle  $-\omega_h \cdot t$ . Tout se passe donc, dans ce référentiel galiléen, comme si le corps recevait à l'instant "t" une accélération horizontale dirigée vers l'Ouest, composante horizontale du vecteur accélération  $\vec{g}$ , et égale à :

$$(1) \quad \vec{\gamma} = -\omega_h \cdot \vec{g} \cdot t.$$

En intégrant entre les instants "0" et "t", on obtient, toujours dans le référentiel galiléen, la composante horizontale de la vitesse dirigée vers l'Ouest, à l'instant "t", du corps en chute libre par rapport à la verticale à l'instant "0" :

$$(2) \quad v = -\frac{1}{2} \omega_h \cdot \vec{g} \cdot t^2$$

En intégrant une deuxième fois, on obtient l'écart horizontal vers l'Ouest à l'instant "t" du corps en chute libre par rapport à la verticale à l'instant "0" :

$$(3) \quad x = -\frac{1}{6} \omega_h \cdot \vec{g} \cdot t^3$$

Pendant ce laps de temps "t", entre les instants "0" et "t", un fil à plomb suspendu au point du lâcher du corps aura tourné, dans le référentiel galiléen, vers l'Ouest de l'angle  $-\omega_h \cdot t$ , et le point du fil à plomb en vis-à-vis du corps en chute libre à l'instant "t", situé à une distance "h" du point du lâcher, se sera éloigné vers l'Ouest de sa position initiale de :

$$(4) \quad x' = -\omega_h \cdot h \cdot t$$

$$\text{avec } (5) \quad h = \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

$$\text{d'où : } (6) \quad x' = -\frac{1}{2} \omega_h \cdot g \cdot t^3$$

On voit que  $x'$  est trois fois plus grand que  $x$  et tous



deux à l'Ouest de la position initiale du fil à plomb.

Le corps en chute libre se trouvera ainsi moins à l'Ouest que le fil à plomb, et se sera donc écarté de lui vers l'Est, à l'instant "t", de la quantité  $X = x - x'$ ,

$$\text{d'où : (7) } x = + \frac{1}{3} \omega_h \cdot g \cdot t^3$$

On notera que l'expression de  $x'$  (équation 4) donne la valeur changée de signe de la déviation due au seul excès de vitesse du point du lâcher par rapport au point de réception en raison de la rotation de la Terre :  $+\omega_h \cdot h \cdot t$ . En comparant (6) et (7) :  $X = - (2/3) x'$

On voit ainsi que **la déviation réelle X n'en est que les deux tiers.**

Plaçons-nous maintenant dans le **référentiel terrestre** (figure 7) :

Les équations (5) et (7) sont les formules paramétriques de la trajectoire du corps dans sa chute, en fonction du temps "t", X étant l'abscisse comptée positivement vers l'Est à partir du fil à plomb et "h" la hauteur de chute depuis le point du lâcher. En éliminant le paramètre "t" entre ces deux formules, on obtient l'équation cartésienne de la trajectoire :

$$(8) \quad x = + \frac{1}{3} \omega_h \sqrt{\frac{8h^3}{g}}$$

Cette formule est bien celle énoncée par Laplace en 1796.

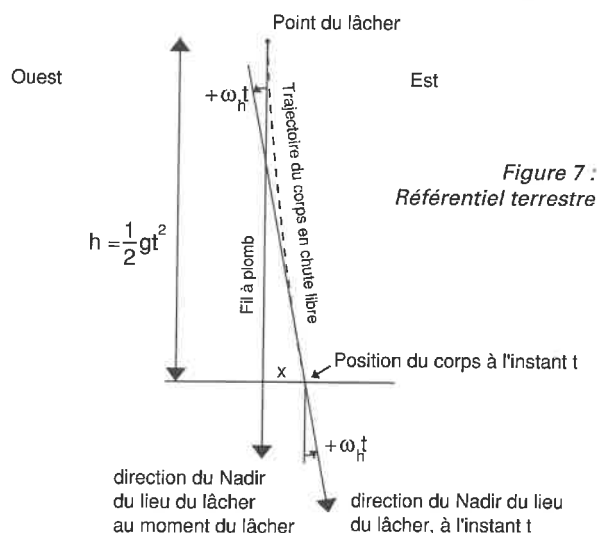


Figure 7 :  
Référentiel terrestre

Poursuivons maintenant notre étude par quelques considérations :

En comparant les équations (7) et (3), on peut écrire :

$$(9) \quad X = - 2 x$$

et en déduire, en appelant " $\vec{V}$ " la vitesse horizontale vers l'Est par rapport au fil à plomb et " $\vec{\Gamma}$ " l'accélération correspondante :

$$(10) \quad \vec{V} = - 2 v = \omega_h \cdot g \cdot t^2$$

$$(11) \quad \vec{\Gamma} = - 2 \gamma = 2 \omega_h \cdot g \cdot t$$

Cette dernière équation montre que, dans le référentiel terrestre, *tout se passe comme si* dans sa chute, le corps était soumis, à l'instant "t", à une accélération *apparente*  $\vec{\Gamma}$ , horizontale et vers l'Est, égale au double du produit de la vitesse de chute " $\vec{g}t$ " à ce même instant et de la composante horizontale  $\omega_h$  de la vitesse angulaire du référentiel dans lequel la chute est observée.

On peut écrire :

$$(12) \quad \vec{\Gamma} = 2 \vec{\omega} \wedge \vec{g} \cdot t$$

ou encore

$$(13) \quad \vec{\Gamma} = 2 \vec{\omega} \wedge \vec{v}$$

v étant la vitesse de chute à l'instant t

Nous retrouvons ici l'accélération de Coriolis.

Revenons à l'équation (10) que l'on peut écrire :

$$(10') \quad \frac{dX}{dt} = \omega_h \cdot g \cdot t^2$$

$$\text{Or : } dh = g \cdot t \cdot dt$$

d'où

$$(14) \quad \frac{dX}{dh} = \omega_h \cdot t$$

Cette équation montre qu'à l'instant "t", la tangente à la trajectoire de la chute d'un corps fait avec le fil à plomb, un angle  $dX/dh$  égal à celui  $+\omega_h t$  dont a précisément tourné le grand cercle vertical Est-Ouest de la voûte céleste entre les instants "0" et "t". La tangente, en un point quelconque de la trajectoire, perce donc la voûte céleste en deux points invariants par rapport aux étoiles pendant la chute. Ces points étaient au zénith et au nadir du lieu du lâcher, à l'instant du lâcher.

Cette propriété peut s'énoncer comme suit :

**Dans le référentiel terrestre, un corps "abandonné à sa pesanteur" se dirige à chaque instant vers le nadir du lieu où il se trouvait au moment du lâcher.**

**Cette propriété est bien indépendante de la vitesse de rotation de la Terre.**

Nous avons ainsi montré, dans le cas de la chute d'un corps, que l'étude de la trajectoire nous permettait de retrouver une application du théorème de Coriolis et aussi de conclure à l'invariance dans le référentiel universel de la direction du mobile lâché sans vitesse relative dans le référentiel terrestre.

## Le pendule de Foucault

Plaçons-nous d'abord dans un **référentiel galiléen**, en convenant d'affecter du signe "-" ce qui tourne dans le sens est-sud-ouest-nord.

Prenons un système de coordonnées planimétriques ayant comme origine le point de suspension du pendule et pour axe des abscisses la direction du point du lâcher, à l'instant du lâcher.

Lorsque le pendule est lâché, sans lui communiquer de vitesse relative par rapport à la Terre, le vecteur de

longueur "a" (amplitude) joignant la verticale du point de suspension à la masse du pendule reçoit néanmoins la composante de la vitesse angulaire de la Terre +  $\omega_v$  dans le référentiel galiléen, qui correspond à une vitesse initiale de "lancement"  $a\omega_v$  perpendiculaire au vecteur, c'est-à-dire selon la direction positive des ordonnées.

Nous sommes en présence de la combinaison de deux mouvements pendulaires de même période T, puisque la longueur l du pendule leur est commune et qui sont, en posant :

$$T = 2\pi / \alpha \quad \text{ou} \quad \alpha T = 2\pi \quad \text{avec} \quad \alpha = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

\* un mouvement pendulaire principal suivant l'axe des abscisses, d'amplitude a, d'abscisse a et de vitesse nulle à l'instant 0, d'abscisse nulle et de vitesse maximale  $a\alpha$  au quart de la période (soit à l'instant  $t = T/4$ ,  $\alpha t = \pi/2$ ), et dont l'équation est :

$$(P 1) \quad x = a \cos \alpha t$$

\* un mouvement secondaire, perpendiculaire au premier, suivant l'axe des ordonnées et décalé d'un quart de période, d'ordonnée nulle et de vitesse maximale  $a\omega_v$  à l'instant 0 du lâcher, ce qui lui donne une amplitude b qui est à l'amplitude a comme le sont entre elles les vitesses maximales des deux mouvements :

$$(P 2) \quad b / \omega_v = a / \alpha$$

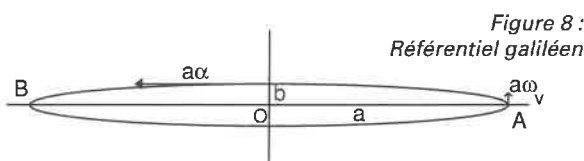
et dont l'équation est :

$$(P 3) \quad y = b \sin \alpha t$$

La combinaison des deux mouvements est un mouvement qui a pour équations absolues paramétriques :

$$(P 4) \quad \begin{aligned} x &= a \cos \alpha t \\ y &= b \sin \alpha t \end{aligned}$$

C'est une ellipse fixe dans le référentiel galiléen (figure 8). Il convient de noter que le pendule parcourt l'ellipse en ayant toujours la verticale du point de suspension à sa gauche dans l'hémisphère boréal.



Dans les conditions de l'expérience de Foucault au Panthéon :

$$\alpha = \sqrt{\frac{g}{l}} = \sqrt{\frac{9,808}{67,24}} = 0,38192 \text{ radian / seconde}$$

et  $\omega_v = 5,49057 \cdot 10^{-5}$  radian / seconde.

d'où : (P 5)  $b / a = \omega_v / \alpha = 5,49057 \cdot 10^{-5} / 0,38192 = 1/6956$

ce qui, pour un grand axe d'oscillation de 6 mètres, donne un petit axe de 0,8 millimètre, c'est-à-dire difficilement observable. Néanmoins, une observation minutieuse réussie du phénomène serait déjà en elle-même une preuve de la rotation terrestre.

L'ellipse est donc très aplatie et nous sommes en présence d'un pendule conique qui ne se trouve *jamais*

sur la verticale du point de suspension et en passe au plus près à la distance "b".

Pour observer cette ellipse, il faudrait mettre sous le pendule un plateau tournant dans le sens contraire de la rotation de la Terre, à la vitesse angulaire  $-\omega_v$ . L'ellipse semblerait alors immobile sur le plateau.

La période de rotation du plan du pendule est

$$\tau' = \frac{2\pi}{\omega_v} = \frac{2\pi}{\omega \sin \varphi} = \frac{\tau}{\sin \varphi}$$

C'est donc la durée du jour sidéral  $\tau$ , divisée par le sinus de la latitude du lieu. Pour la latitude du Panthéon :

$$\tau' = 114436 \text{ secondes}$$

$$\text{On a : } \frac{T}{\tau'} = \frac{T}{2\pi} \cdot \omega_v = \frac{\omega_v}{\alpha}$$

qui d'après (P 2) est égal au rapport b/a

On voit ainsi que le rapport b/a des demi-axes de l'ellipse est égal au rapport  $T / \tau'$  de la période d'oscillation du pendule à la période de la rotation de son "plan".

Dans le cas du pendule du Panthéon, c'est au bout de 6956 oscillations que le "plan" du pendule aura fait un tour complet.

Imaginons que l'on donne une impulsion angulaire initiale  $-\omega_v$ , c'est-à-dire une vitesse  $-a\omega_v = -b\alpha$  perpendiculaire au plan du pendule. L'oscillation transversale serait ainsi annulée et le pendule ainsi lancé aurait un mouvement rectiligne suivant l'axe des abscisses : mouvement du pendule simple.

Ce raisonnement montre que, dans ses oscillations, l'azimut de la boule d'un tel pendule simple est *fixe* dans le référentiel galiléen.

Ceci peut s'exprimer par la relation différentielle :

$$(P 6) \quad dy/dx = 0$$

En différentiant les formules (P 4) et en posant :

$$(P 7) \quad r^2 = a^2 \sin^2 \alpha t + b^2 \cos^2 \alpha t$$

la vitesse de déplacement du pendule sur sa trajectoire elliptique est :

$$(P 8) \quad V_e = ds/dt = \alpha \cdot r$$

avec ds élément d'arc infinitésimal de l'ellipse :

$$ds^2 = dx^2 + dy^2$$

et comme dy est négligeable dans une ellipse très aplatie, on a :  $ds \approx dx$  et l'équation (P 8) devient :

$$(P 9) \quad V_e \approx dx/dt = -a\alpha \sin \alpha t$$

D'autre part, on sait que le rayon de courbure  $\rho$  en un point d'une ellipse est :

$$(P 10) \quad \rho = r^3/ab = (a^2 \sin^2 \alpha t + b^2 \cos^2 \alpha t)^{3/2}/ab$$

$\rho$  est minima pour  $\alpha t = n\pi$ , ( $\sin \alpha t = 0$  et  $\cos \alpha t = 1$ ), à chaque "extrémité" des oscillations et vaut alors  $b^2/a$ .

$\rho$  est maxima pour  $\alpha t = (2n+1)\pi/2$ , ( $\sin \alpha t = 1$  et  $\cos \alpha t = 0$ ), au milieu de chacune des oscillations et vaut alors  $a^2/b$ .

Les accélérations longitudinale et transversale sur l'ellipse sont, en dérivant deux fois les équations (P 4) du mouvement :

$$(P 11) \quad \Gamma_{ex} = d^2x/dt^2 = -\alpha^2 x = -a \alpha^2 \cos \alpha t$$

$$(P 12) \quad \Gamma_{ey} = d^2y/dt^2 = -\alpha^2 y = -b \alpha^2 \sin \alpha t \\ = -a \alpha \omega_v \sin \alpha t$$

On a bien une accélération centrale, dirigée vers la verticale du point de suspension, base même de la théorie du pendule conique.

L'accélération transversale  $\Gamma_{ey}$  est due à la présence d'une vitesse absolue transversale initiale  $a \cdot \omega_v$ .

Dans ce qui précède, nous avons négligé l'influence du petit mouvement vertical de la boule du pendule, lors de chacune de ses oscillations. Victor Puiseux (1820-1883) en a donné l'incidence : l'ellipse du mouvement absolu n'est plus tout à fait fixe, mais tourne lentement, dans le sens de parcours, à la vitesse angulaire :

$$(P13) \quad \Omega = \frac{3 a \cdot b \cdot \alpha}{8 l^2}$$

Or, d'après (P2) :  $b \alpha = a \omega_v$

$$d'où : (P14) \quad \Omega = \frac{3 a^2}{8 l^2} \omega_v$$

Sous cette dernière forme, on voit que cette rotation est proportionnelle au carré du rapport  $a/l$  d'ouverture maximum du pendule, qu'il convient donc de ne pas rendre trop grand en limitant l'amplitude.

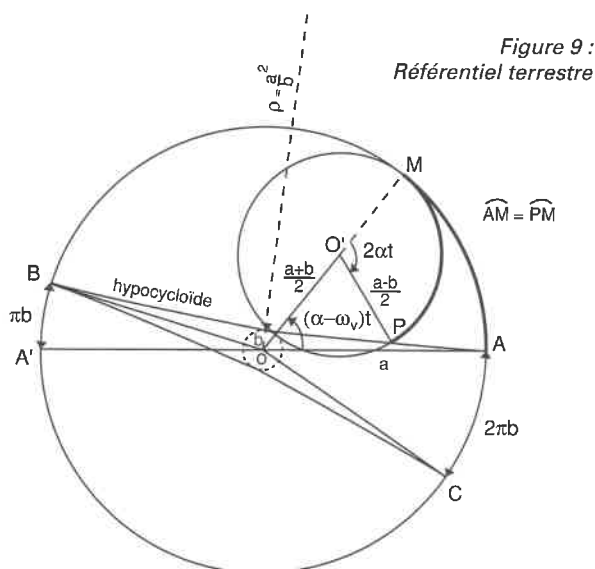
Sous la forme (P13), on voit que la rotation est proportionnelle à la surface de l'ellipse ( $\pi ab$ ). Or, dans l'amortissement du mouvement du pendule, si  $a$  diminue, par contre  $b$  augmente beaucoup plus, de sorte que la vitesse de la rotation de Puiseux  $\Omega$  augmente avec le temps et comme elle est de sens contraire à la rotation de Foucault, elle peut parvenir à masquer cette dernière.

Plaçons-nous maintenant dans le **référentiel terrestre** :

D'après ce qu'on vient de voir, on serait tenté de penser que l'ellipse va tourner à la vitesse angulaire  $-\omega_v$ . Il n'en est rien !

Pour s'en convaincre, il suffit de voir qu'au moment du lâcher, la vitesse relative de la boule du pendule *par rapport à la Terre* est nulle et donc que la tangente à la trajectoire qu'elle va prendre est dirigée vers la verticale du point de suspension. Pourtant la trajectoire va passer à la distance "b" de ce point en le laissant sur sa *gauche* dans l'hémisphère boréal, comme dans le mouvement elliptique galiléen : elle sera donc incurvée et se poursuivra jusqu'au point opposé où la vitesse relative va s'annuler avec une tangente venant de la verticale du point de suspension, puis repartira dans l'autre sens avec cette même tangente - nous aurons donc là un point de rebroussement dans la trajectoire - pour passer à nouveau à la distance "b" de la verticale, en la laissant encore sur sa gauche, c'est-à-dire à l'opposé pratiquement du passage dans l'autre sens et ainsi de suite : nous allons montrer que la trajectoire du pendule dans

le référentiel terrestre, comme l'a énoncé Henri Beghin (1876-1969) [5], est une *hypocycloïde* (figure 9).



Les axes OX, OY du référentiel terrestre tournent à la vitesse  $+\omega_v$  dans le référentiel galiléen. À l'instant  $t$  un point de coordonnées absolues  $x, y$  sur l'ellipse, a pour coordonnées  $X, Y$  dans le référentiel terrestre :

$$X = x \cos \omega_v t + y \sin \omega_v t$$

$$Y = y \cos \omega_v t - x \sin \omega_v t$$

$$(P15) \quad X = a \cos \alpha t \cos \omega_v t + b \sin \alpha t \sin \omega_v t$$

$$Y = b \sin \alpha t \cos \omega_v t - a \cos \alpha t \sin \omega_v t$$

$$X = [(a+b)/2] \cos (\alpha - \omega_v) t + [(a-b)/2] \cos (\alpha + \omega_v) t$$

$$Y = [(a+b)/2] \sin (\alpha - \omega_v) t - [(a-b)/2] \sin (\alpha + \omega_v) t$$

Soit  $\vec{OP}$  le vecteur joignant l'origine des coordonnées au pendule P :

$$\vec{OP} = \vec{OO'} + \vec{O'P} \text{ avec :}$$

$\vec{OO'}$  vecteur de longueur  $(a + b) / 2$ , tournant à la vitesse  $-\alpha - \omega_v$

$\vec{O'P}$  vecteur de longueur  $(a - b) / 2$ , tournant en sens contraire à la vitesse  $-(\alpha + \omega_v)$

Les deux vecteurs font donc entre eux, à l'instant  $t$ , un angle  $2 \alpha t$ .

Au bout du temps  $t$ , les arcs :

$\widehat{AM}$  du cercle de centre O, de rayon  $a$ , d'angle au centre  $(\alpha - \omega_v) t$ , donc de longueur

$$a (\alpha - \omega_v) t = a \alpha t - a \omega_v t$$

$\widehat{MP}$  du cercle de centre O', de rayon  $(a-b)/2$ , d'angle au centre  $2 \alpha t$ , donc de longueur

$$[(a-b)/2] \cdot 2 \alpha t = a \alpha t - b \alpha t$$

ont même longueur puisque d'après (P2) :  $b \alpha = a \omega_v$

La trajectoire du point P est donc celle du point d'un cercle de rayon  $(a-b)/2$  roulant sans glissement à l'intérieur d'un cercle de centre O et de rayon  $a$ . C'est une hypocycloïde.

On notera que si l'on était tenté de négliger  $b$  (très petit devant  $a$ ) on aurait, en faisant  $b=0$ , un point d'un

cercle de rayon  $a/2$  roulant sans glissement à l'intérieur d'un cercle de rayon  $a$  : il décrit alors un diamètre fixe. C'est dire que l'hypocycloïde décrite par le pendule est un ensemble de segments presque rectilignes, mais c'est aussi souligner l'importance de la vitesse absolue initiale du pendule lors du lâcher :  $a \omega_v (= b \alpha)$  pour expliquer sa rotation.

En différentiant les équations (P15) du mouvement hypocycloïdal, on obtient :

$$\begin{aligned} dX/dt &= -(\alpha\alpha - b\omega_v)\sin\alpha t \cdot \cos\omega_v t + (b\alpha - a\omega_v)\cos\alpha t \cdot \sin\omega_v t \\ dY/dt &= +(\alpha\alpha - b\omega_v)\sin\alpha t \cdot \sin\omega_v t + (b\alpha - a\omega_v)\cos\alpha t \cdot \cos\omega_v t \end{aligned}$$

$$\text{Or d'après (P2) : } b\alpha - a\omega_v = 0$$

$$\begin{aligned} dX/dt &= -(\alpha\alpha - b\omega_v)\sin\alpha t \cdot \cos\omega_v t \\ dY/dt &= +(\alpha\alpha - b\omega_v)\sin\alpha t \cdot \sin\omega_v t \end{aligned}$$

Soit  $dS$  l'élément d'arc infinitésimal de l'hypocycloïde :

$$dS^2 = dX^2 + dY^2 \quad \text{d'où :}$$

$$dS/dt = -(\alpha\alpha - b\omega_v)\sin\alpha t = -\alpha\alpha(1 - \omega_v^2/\alpha^2)\sin\alpha t$$

$$S = a(1 - \omega_v^2/\alpha^2)\cos\alpha t$$

$$dY/dX = -\tan\omega_v t$$

Nous sommes dans le cas d'un pendule simple, d'amplitude :  $a(1 - \omega_v^2/\alpha^2)$  légèrement plus petite que " $a$ " et dont le mouvement serait entraîné dans une rotation ayant son centre instantané confondu avec le pendule et une vitesse angulaire  $-\omega_v$  égale et de signe contraire à celle de la Terre.

L'équation différentielle (P 6) s'écrit donc dans le référentiel terrestre

$$(P 16) \quad dY/dX = -\tan\omega_v t$$

La tangente à la trajectoire *hypocycloïdale* d'oscillation du pendule tourne ainsi par rapport à la Terre, à la vitesse angulaire *uniforme*  $-\omega_v$ . Cette vitesse angulaire est celle de la variation d'azimut de tous les astres au moment où ils franchissent l'horizon du lieu (lever ou coucher).

Cette propriété peut s'énoncer comme suit :

**Dans le référentiel terrestre, l'azimut de la boule du pendule varie à chaque instant uniformément comme celui des étoiles situées sur l'horizon du lieu.**

**Cette propriété est bien indépendante de la vitesse de rotation de la Terre.**

Il convient de relever ici que l'expression parfois utilisée : "*le plan d'oscillation du pendule est fixe par rapport aux étoiles*" est erronée. Cela n'est vrai qu'aux pôles. Ailleurs, le "plan" du pendule contient quasiment la verticale du lieu qui décrit sur la voûte céleste un petit cercle centré sur le pôle et de rayon égal à la colatitude.

La vitesse de déplacement du pendule sur sa trajectoire hypocycloïdale est :

$$\begin{aligned} (P17) \quad V_h &= dS/dt = -(\alpha\alpha - b\omega_v)\sin\alpha t \\ &= -\alpha\alpha(1 - \omega_v^2/\alpha^2)\sin\alpha t \\ V_h &\approx -a\alpha\sin\alpha t \end{aligned}$$

L'accélération longitudinale sur l'hypocycloïde est, en différentiant :

$$\begin{aligned} (P 18) \quad \Gamma_{hx} &= -(\alpha\alpha - b\omega_v)\alpha \cdot \cos\alpha t \\ \Gamma_{hx} &= -a(\alpha^2 - \omega_v^2)\cos\alpha t \approx -a\alpha^2\cos\alpha t \end{aligned}$$

Cette accélération est égale à celle  $\Gamma_{ex}$  du mouvement elliptique (P 11).

Nous venons de voir que le vecteur vitesse  $V_h$  tourne à la vitesse angulaire  $-\omega_v$  :

Le rayon de courbure de la trajectoire est  $\rho$  tel que  $\rho\omega_v = V_h$

$$\text{d'où (P 19) } \rho = a(\alpha/\omega_v)\sin\alpha t = (a^2/b)\sin\alpha t$$

$\rho$  est nul pour  $\alpha t = n\pi$  : à chaque extrémité des oscillations, il y a un point de rebroussement.

$\rho$  est maxima pour  $\alpha t = (2n+1)\pi/2$  au milieu de chacune des oscillations et vaut alors  $a^2/b$ .

L'accélération transversale sur l'hypocycloïde est :

$$\begin{aligned} (P 20) \quad \Gamma_{hy} &= \omega_v^2 \cdot \rho = -\omega_v V_h = +\alpha\alpha(1 - \omega_v^2/\alpha^2)\omega_v \sin\alpha t \\ \Gamma_{hy} &= +b(\alpha^2 - \omega_v^2)\sin\alpha t \approx +b\alpha^2\sin\alpha t \end{aligned}$$

Cette accélération est égale et de signe contraire à l'accélération transversale  $\Gamma_{ey}$  sur l'ellipse (P 12) et les rayons de courbure des deux courbes au même point milieu des oscillations sont aussi égaux à :  $a^2/b$  mais de sens opposés. L'hypocycloïde tourne sa convexité vers le point de suspension qui pourtant imprime au pendule une accélération centrale. Cela peut paraître paradoxal :

Comparons la avec l'accélération transversale sur l'ellipse (P 12) :

$$\Gamma_{ey} = -b\alpha^2 \cdot \sin\alpha t$$

$$\text{La différence vaut : } \Gamma_c = \Gamma_{hy} - \Gamma_{ey} = +2b\alpha^2 \cdot \sin\alpha t$$

$$\Gamma_c = 2a\alpha\omega_v \cdot \sin\alpha t$$

Cette dernière équation montre qu'entre les observations du mouvement du pendule dans le référentiel galiléen et dans le référentiel terrestre, *tout se passe comme si* le pendule recevait, à l'instant " $t$ ", en plus de l'accélération pendulaire centrale, une accélération *apparente*  $\Gamma_c$ , horizontale et vers la droite dans le sens du déplacement, égale au double du produit de la vitesse à ce même instant et de la composante verticale  $\omega_v$  de la vitesse angulaire du référentiel dans lequel le mouvement est observé. On peut écrire :

$$\vec{\Gamma}_c = 2\vec{\omega}_v \cdot \vec{V}$$

$V = -\alpha a \sin\alpha t$  étant la vitesse à l'instant  $t$  et l'on peut écrire :

$$\vec{\Gamma}_c = 2\vec{\omega} \wedge \vec{V}$$

Nous retrouvons ici l'accélération de Coriolis.

Il convient de remarquer que pour obtenir l'accélération transversale du mouvement hypocycloïdal dans le référentiel terrestre en partant de l'accélération de Coriolis, celle-ci doit bien entendu être ajoutée géométriquement à l'accélération transversale du mouvement absolu elliptique. Si l'on considérait par erreur que le mouvement absolu galiléen était celui rectiligne d'un pendule simple, donc sans accélération transversale, on



trouverait bien un mouvement hypocycloïdal, mais son accélération transversale et la courbure de sa trajectoire en fonction du temps seraient deux fois trop grandes, ce qui donnerait un pendule tournant deux fois trop vite !

En d'autres termes, il est tout à fait remarquable que le pendule, bien qu'ayant reçu, au moment de son lâcher, la vitesse de rotation absolue initiale  $+ \omega_v$  de la Terre, soit animé, sur sa trajectoire hypocycloïdale, d'une rotation relative uniforme de vitesse  $-\omega_v$ .

Pour expliquer le phénomène, Foucault avait admis en 1851 ce qu'il appela lui-même le *postulat effronté* suivant : "*Quand la verticale, toujours comprise dans le plan d'oscillation, change de direction dans l'espace, les positions successives du plan d'oscillation sont déterminées par la condition de faire entre elles des angles minima : autrement dit et en langage vulgaire, lorsque la verticale sort du plan d'impulsion primitive, le plan d'oscillation la suit en restant aussi parallèle que possible.*"

En réalité, nous avons vu que l'on ne peut parler de *plan d'oscillation* et encore moins de *verticale toujours comprise dans le plan d'oscillation* que comme des images commodes et que dans le référentiel terrestre, le plan défini par le vecteur vitesse du pendule et son point de suspension, ne reste pas vertical : il n'est vertical qu'aux extrémités des oscillations et s'écarte de la verticale au maximum au milieu des oscillations d'un angle  $b/l$ , proportionnel à l'amplitude du mouvement pendulaire. Foucault était trop rigoureux pour se permettre de telles approximations en toute connaissance de cause et il n'aurait pu négliger cette inclinaison prise par le pendule s'il l'avait connue, alors qu'elle est l'essence même du phénomène. Il n'avait donc sans doute pas clairement perçu la teneur du phénomène qui pourtant peut s'expliquer relativement aisément par l'application du théorème que Coriolis avait énoncé 16 ans plus tôt en 1835. Mais en 1843, Coriolis était décédé à 51 ans et l'on peut raisonnablement penser que son théorème n'était pas encore assimilé en 1851 - au fait, l'est-il bien de nos jours ? - et que, compte tenu du retentissement de l'expérience de Foucault, Coriolis, s'il avait vécu, aurait donné sur le champ l'explication rigoureuse. De même, Poisson qui en 1837, nous l'avons dit, avait bien mis en évidence l'influence de la rotation terrestre sur la déviation vers la droite des projectiles, était également décédé entre temps, en 1840, et n'a donc pu, lui aussi, apporter une véritable explication.

Nous avons ainsi montré, dans le cas du pendule, que l'étude de la trajectoire nous permettait de retrouver une application du théorème de Coriolis et aussi de conclure à l'invariance dans le référentiel universel de la direction du mobile lâché sans vitesse relative dans le référentiel terrestre.

Nous arrivons à la même conclusion qu'avec l'étude de la chute d'un corps.

## CONCLUSION

Nous avons vu que les directions des trajectoires du corps en chute libre et du pendule pendant ses oscillations, sont liées au référentiel sidéral qu'est l'ensemble de l'Univers et non à la Terre qui n'agit que par sa gravitation et n'est, en l'occurrence, qu'un support matériel pour observer les phénomènes décrits.

Dès que nos corps sont lâchés sans vitesse relative par rapport à la Terre, on peut dire qu'ils ne conservent que la composante de translation du mouvement terrestre et se trouvent affranchis, pour les degrés de liberté que nous leur accordons, de la rotation de notre planète.

La théorie de la Relativité explique cette liaison du corps en chute libre ou de la boule du pendule au référentiel sidéral par l'interaction entre toutes les masses présentes dans l'univers, que l'on appelle l'inertie de la matière.

Cette étude montre que ces deux expériences prouvent bien que c'est la Terre que nous voyons tourner sous le corps en chute libre et sous le pendule de Foucault.

Quand Galilée fut condamné, à tout le moins au silence, c'est donc avec raison qu'il frappa du pied sur le sol, non pas de dépit, mais bien pour désigner l'objet de toutes ses réflexions : la Terre, en ajoutant *in petto* : EPPUR SI MUOVE ! Et pourtant, elle est mobile !

## BIBLIOGRAPHIE

### (ORDRE CHRONOLOGIQUE)

[1] **Histoire de la Physique**, par Johann Christian Poggendorff 1878 (traduction française de E. Bibart et G. de la Quesnerie 1883) 582 pages. Réimpression 1993 Jacques Gabay ISBN 2-87647-093-4, 151 bis rue Saint-Jacques 75005 Paris

[2] **Astronomie populaire**, par Camille Flammarion (1879)

[3] **Bulletin de la Société Astronomique de France**, 3 rue Beethoven 75016 Paris :

- 1896 : Les preuves mécaniques de la rotation de la Terre, par Ph. Gilbert, (Novembre : pages 348 à 359 et Décembre : pages 381 à 393)

- 1897 : Sur la déviation des graves, par Maurice Fouché, (pages 246 à 253)

- 1902 : Le pendule du Panthéon, par Camille Flammarion (Novembre : pages 465 à 480)

- 1903 : Expériences sur la déviation de la chute des corps faites au Panthéon (pages 329 à 335).

[4] **La rotation de la Terre, ses preuves mécaniques anciennes et nouvelles** par le Père J.G. Hagen : Spec. Astr. Vaticana (189 pages) - 1911 -

[5] **Cours de Mécanique théorique et appliquée** (Tome 1, Chapitre XI § 201), professé à l'École Polytechnique, par Henri Beghin, Gauthiers-Villars, Paris, 1952.

**[6] Les Preuves de la Rotation de la Terre**, par Henri Beghin : Conférence faite au Palais de la Découverte, Paris, 23 Avril 1955 (24 pages).

**[7] Revue Géomètre**, 40 avenue Hoche 75008 Paris - ISSN 0295422.

- Octobre 1959 : Appareil Gebi, par Clément Abel (pages 515 à 520)

- Avril, Mai, Juin 1979 : Les premières lunettes, par Roland Lesprit (23 p)

- N° 4 - 1983 : Une histoire d'appareils, par Clément Abel (pages 51 à 56)

**[8] Plaque de la Société Astronomique de France** : Galilée et la pensée contemporaine, pour le quatrième centenaire de sa naissance, par Paul Couderc : 24 pages (Janvier 1966).

**[9] Oscillations et stabilité selon Foucault**, par Paul Acloque, Éditions du CNRS, Paris 1981, 150 pages, ISBN 2-222-02849-3, diffusé par la Documentation française.

**[10] Cahiers d'histoire et de philosophie des sciences** - C.N.R.S. Paris

- nouvelle série N°4, 1982 : Histoire des expériences pour la mise en évidence du mouvement de la terre, par Paul Acloque, 141 pages

**[11] Mesurer la Terre, 300 ans de Géodésie française**, par Jean-Jacques Levallois. Publié par l'Association Française de Topographie, 136 bis rue de Grenelle, 75007 Paris -1988-ISBN 2-907586-00-6

- Chapitre I - Les précurseurs, l'œuvre de Picard (pages 13 à 19)

- Chapitre III - La Terre est un sphéroïde aplati (pages 31 à 47).

**[12] Revue XYZ** de l'Association Française de Topographie, 136 bis rue de Grenelle, 75007 Paris -ISSN 0290-9057.

- N° 58 - 1994, 1er trimestre : À propos de Coriolis, par Robert Genty (pages 60 à 64)

**[13] Le pendule de Foucault** au Musée National des Techniques du Conservatoire des Arts et Métiers, 32 pages, 270 rue Saint-Martin 75003 Paris -1990- ISBN 2-908207-04-4

**[14] Le Ciel**, revue de la Société Astronomique de Liège, avenue de Cointe 5, 4000 Liège - ISSN 0771-3010.

- Numéro spécial - 1993 : Autour du pendule de Foucault, par Joseph Barsics, Yves De Rop, André Lausberg, Jean Manfroid, 46 pages.

**[15] Revue du Palais de la Découverte** - Paris - ISSN 0339-7521.

- N° 210 Juillet-Août-Septembre 1993 : La physique sur un manège, par Gérard Rumèbe (pages 61 à 69)- Département Physique, Palais de la Découverte - Paris.



*Jean Bernard Léon Foucault*  
1819 - 1868

# L'ART-LES LIVRES

## ■ SOUS LA BANNIERE DU BICENTENAIRE DE L'ECOLE NORMALE SUPÉRIEURE, À L'INSTITUT DE FRANCE, RENTRÉE DES CINQ ACADEMIES

Sous la coupole, le 18 octobre dernier, avait lieu la traditionnelle rentrée des cinq académies, présidée par Jacques Friedel, président de l'Institut et président de l'Académie des Sciences. C'était l'occasion, cette année pour célébrer les deux cents années d'existence de l'ENS, cette école prestigieuse qui "fournit" entre le quart et le cinquième des fauteuils de l'Académie Française, le quart de ceux de l'Académie des Sciences Morales et Politiques, le tiers de l'Académie des Sciences et les deux tiers de l'Académie des Inscriptions et Belles Lettres ! (sans compter la moitié des chaires au Collège de France, et le tiers des prix Nobel français...!)

Cette vieille dame de la rue d'Ulm a des ressources et du chien et il y a de l'habit vert dans chaque cartable qui franchit la lourde porte. Pour ouvrir cette séance publique et néanmoins solennelle (!), c'est du haut des 360 ans de l'Académie Française qu'Alain Peyrefitte se pencha sur les deux siècles d'Archicubes comme sur une petite sœur, avec beaucoup d'humour et d'esprit, mais aussi une pointe d'émotion. Il retraça l'histoire d'une institution créée pour asseoir une république de citoyens et qui connut mille vicissitudes avant sa vitesse de croisière qui permit de sortir des académiciens et des maîtres de pensée comme des petits pains d'un four. Alain Peyrefitte raconte l'édification de l'école par la convention, alors que la révolution, dans son désir populaire et même populiste, voulait faire table rase de l'ancien régime et batissait sur ces ruines fumantes les grandes écoles : Normale, Polytechnique, Le CNAM, Langues O... Mais c'est l'Empereur qui devait définitivement mettre sur rail l'ENS comme tant d'autres institutions : le Conseil d'Etat, l'Université, la Cour des Comptes, la Comédie Française, les Préfets, la Légion d'Honneur, le Code Civil, etc

Au nom de l'Académie des Sciences Morales et Politiques le sociologue Raymond Boudon sortit de l'écrin quelques perles pures qui franchirent des sommets dans les différents secteurs de la pensée. Il constata qu'aucun secteur de la vie intellectuelle n'échappe à l'influence des normaliens et il s'interrogea sur le secret de cette influence qu'il attribua à la foi d'universalité qui anime l'Ecole et surtout au fait que les élèves et les professeurs donnent aux sciences humaines un objectif primordial : créer du savoir, un savoir objectif, solide, acceptable par tous, et couvrant tous les horizons des sciences des techniques et des Arts

Notons au passage pour le plaisir du topographe, que notre académicien cite l'œuvre d'un normalien, Maurice Halbwachs, qui écrivit en 1941 une "topographie légendaire des Evangiles en Terre sainte" où est étudié le mécanisme de la mémoire collective et la manière dont, selon les époques et selon leurs origines, les pèlerins situent les lieux mentionnés par les Ecritures.

Mais Raymond Boudon termina son intervention sur un ton pessimiste en faisant allusion à certains courants de pensée actuels, dont ceux qu'on nomme postmodernistes, qui consistent à traiter le savoir et généralement les valeurs comme des illusions. Ces thèses s'appuient sur la formule célèbre de Nietzsche : "il n'y a pas de faits mais seulement des interprétations". Il conclut en espérant que la mission et le rôle de la "vieille maison" maintiendront en vie la leçon de tous les pionniers qui ont forgé notre pensée et lutte contre l'obscurantisme.

Quand l'Académie des Beaux Arts monta à la tribune en la personne de Christian Langlois c'était pour remarquer que la pénurie de normaliens est grande dans cette académie, et même quasi-totale. C'était aussitôt pour s'en féliciter, non qu'il jugea néfaste pour l'Art la présence des produits de l'ENS, mais simplement au nom de la diversité et de la sagesse qui veut cultiver les différences et enrichir les complémentarités. "L'Ecole Normale, dit-il, a pour sa part réussi la gageure de réunir en son sein deux des principales disciplines de l'esprit : les lettres et les sciences... Il existe par ailleurs des disciplines différentes qui visent à communiquer avec les hommes par d'autres canaux : ceux des sens et sans le secours du verbe. Il s'agit de l'Art".

Comme si l'Académie des Sciences avait peur, Paul Germain, son secrétaire perpétuel, s'écria en commençant son discours que "le risque est grand d'identifier l'Ecole Normale à sa composante littéraire". Ce serait trahir et défigurer l'Ecole et sa vocation séculaire. Si l'Ecole est reconnue comme lieu privilégié de culture, il s'agit d'élucider les rapports des sciences et de la culture. Question fondamentale que va s'efforcer d'éclairer Paul Germain dans son intervention : l'ENS doit être ce lieu où se forment les personnalités qui auront demain à inventer ensemble les démarches et les modalités ouvrant nos sociétés à une plus juste appréciation de la place et du rôle joués pour les sciences dans leur évolution culturelle.

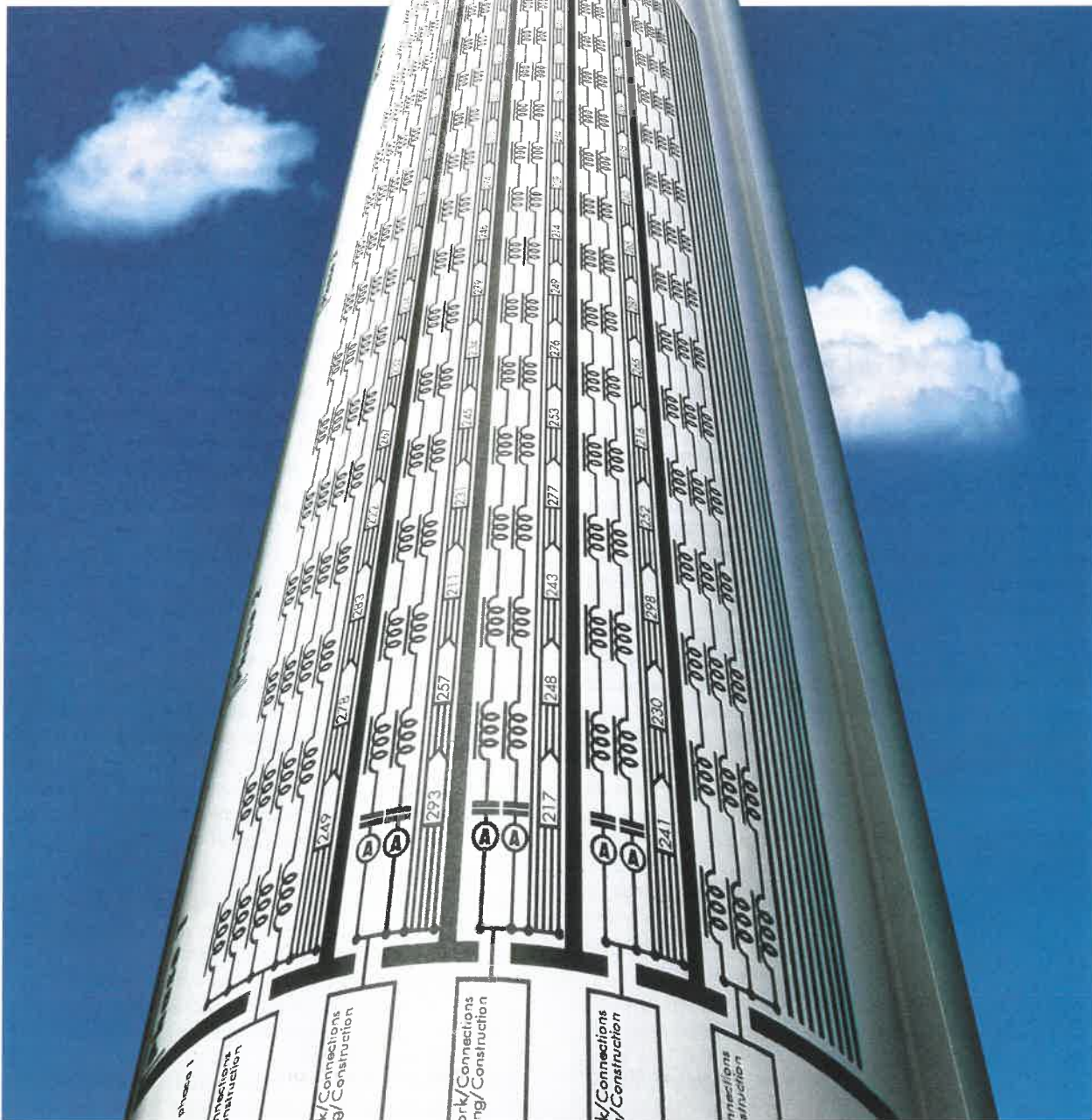
L'Académie des Inscriptions et Belles Lettres s'honora en faisant entendre une voix féminine dans ce

# HP DesignJet 220 :

Plus précis, plus rapide.

Vous recherchez un traceur jet d'encre, monochrome et de grande qualité? Hewlett-Packard vous propose le nouveau **HP DesignJet 220**, 5 à 10 fois plus rapide qu'un traceur traditionnel. Il vous offre

une haute résolution d'impression, 600 ppp, le silence et la facilité d'utilisation à un prix très compétitif. Ainsi grâce au nouveau **HP DesignJet 220**, vous allez atteindre des sommets.



SAATCHI & SAATCHI ADVERTISING

Coupon-réponse à retourner à  
Hewlett-Packard, DesignJet 220.  
42, quai du Point-du-Jour, 92659 Boulogne Cedex.

Je souhaite recevoir:

- ☐ un exemple d'impression en 600 ppp
- ☐ une documentation sur le HP DesignJet 220
- ☐ un tarif

Nom \_\_\_\_\_ Prénom \_\_\_\_\_

Société \_\_\_\_\_

Adresse \_\_\_\_\_



Consultez le 3616 HPMICRO.  
(1,27 F/minute)

 **HEWLETT®  
PACKARD**



concert masculin. Jacqueline de Romilly rappella qu'il fallut attendre longtemps avant que les portes normaliennes ne s'ouvrent aux femmes, et que cela se passa, au début, très discrètement (Simone Weil, Clémence Ramnoux, Simone Pétrement - avant 1930). Mais heureusement l'invasion féminine s'accéléra et il y eut bientôt, rue d'Ulm, des cours faits par les femmes et, un demi siècle plus tard, tout était commun dans une école mixte où Sèvres avait rejoint la rue d'Ulm.

La sensibilité du féminin apparaît dans l'intervention de Mme de Romilly quand elle décrit l'univers interne de l'Ecole, avec sa bibliothèque qui en est, dit-elle, le cœur, et par l'évocation du jardin où les groupes que l'on voit lire, bavarder, méditer sur les bancs, semblent l'image d'une continuité sereine qui survit à nos agitations et modes. Cette distinguée helléniste pense et dit que le lien qui existe entre l'Ecole et l'Humanisme n'est pas un hasard mais qu'il est dû à un rapport profond entre les études classiques et la formation normalienne.

Signalons que viennent d'être élus à l'Académie des Sciences, Messieurs Antoine Labeyrie dans la discipline Astronomie et Claude Loriaux dans la discipline Sciences de la Terre, et que Madame Marianne Grunberg-Manago est nommée vice-présidente de cette Académie.

Enfin, entre à l'Académie des Beaux-Arts, le sculpteur Antoine Poncet au fauteuil de Louis Leygue, le discours de réception fut prononcé par Jean Dewasne.

## ■ LES HOLOGRAMMES DU GLOBE DE MARTIN BEHAÏM

Le globe de Martin Behaïm est la première représentation en volume de notre terre. Il fut réalisé en 1492. Cette terre sur laquelle ne sont présents ni l'Amérique ni le Pacifique est *"le symbole émouvant de la modestie des connaissances en cette fin de 15ème siècle, mais aussi de l'extraordinaire énergie, du courage et de l'invention qui animèrent le temps des Découvertes."*

Cinq siècles plus tard, après avoir posé le pied sur la lune, et alors que nous regardons tourner la Terre en direct, de nouvelles frontières s'ouvrent aux images : celle du volume en particulier, grâce à l'holographie.

Mais nous savons surtout que de nombreuses applications restent à explorer et que l'holographie nous entraîne vers de nouvelles dimensions de la création. L'expression holographique du globe de Martin Behaïm devient alors le symbole de la modestie de nos connaissances en cette fin de 20ème siècle.

Le 29 septembre dernier avait lieu la présentation des résultats du programme de recherche et de création conduit par l'Atelier Holographique de Paris. Cet atelier a été créé en 1986 par Pascal Gauchet et Dominique Sevray avec l'aide d'Alain Conraud, directeur de la Société Lyonnaise Laser Equipement, qui souhaitait intégrer l'holographie dans l'ensemble de ses produits et services.

Monsieur Christian Salaün, directeur de la société

Elan, est à l'origine du projet d'holographie du globe de Martin Behaïm. L'original, conservé à Nuremberg, n'étant pas utilisable, Monsieur Salaün a sollicité de la Bibliothèque Nationale de France l'autorisation d'holographier le fac-similé manuscrit de 1847 conservé dans ses collections. La réalisation technique de ce projet a ensuite été confiée à l'Atelier Holographique de Paris.

Ce globe, d'une valeur inestimable ne pouvait être holographié directement : risques inhérents aux manipulations indispensables. De plus les techniques que nous maîtrisons en holographie par réflexion n'autorisaient pas sa représentation à sa taille réelle. Il fallait donc trouver pour mener à bien ce projet un moyen de le reproduire le plus fidèlement possible et dans une taille qui en permette la plus belle expression holographique.

Sans entrer dans le détail de ce qu'est l'holographie, car tel n'est pas notre propos, disons que le procédé présenté est original. Il semble que les techniques mises au point à cette occasion changent les règles du jeu en établissant un lien entre les images numériques et l'édition holographique. C'est une nouvelle génération d'images qui apparaît incluant le volume, l'espace, la lumière et même le temps... L'holographie dispose de ses qualités propres mais s'enrichit désormais de toute la souplesse du numérique pour exprimer le volume et le mouvement. L'obtention des couleurs réelles devient elle-aussi possible par des procédés simples.

## ■ LA PRÉTENDUE ÉCOLE NAUTIQUE DE SAGRES FONDÉE PAR HENRI LE NAVIGATEUR

Dans le n°45 (1993) de la Revue "Imago Mundi" on trouve un intéressant article de W.G.L. Randles intitulé :

"The Alleged Nautical School Founded in the Fifteenth Century by Prince Henri of Portugal, Called the Navigator".

Cette étude très documentée, avec 90 références bibliographiques, développe l'argumentation que je résumais dans mon article "La connaissance de la géographie du globe à l'époque de Christophe Colomb" (supplément au n°54 d'XYZ) par la brève note du bas de la page 48 : "L'existence d'une importante Académie de Marine à Sagres est actuellement contestée".

M. Randles rappelle dans son article que dans une récente publication (1990) "Voies océaniques de l'ancien aux nouveaux mondes", Mireille Pastoureau écrit :

"Depuis 1413, l'Infant <sup>(1)</sup> s'était fixé à Sagres, sur un plateau sauvage dominant une baie près du cap de St Vincent, non loin de Lagos, à l'extrémité sud du Portugal. Il devait transformer ce lieu austère en arsenal et y attirer tous ceux qui, astronomes, capitaines et cartographes, pouvaient concourir à la réussite de ses projets".

D'autres publications anglo-saxonnes assez récentes de S.E. Morison (1971), de Kenneth Nebenzahl (1990) font aussi état de la création par le prince Henri d'un centre nautique, astronomique et cartographique à Sagres, mais en 1420. Dans de nombreuses publications

modernes il est indiqué que dans le chantier naval de ce centre aurait été mise au point la "caravelle" et construits les navires des explorations portugaises.

Or il résulte d'études de différents historiens portugais modernes qu'un tel centre nautique avec chantier naval n'a jamais existé.

En effet d'après le professeur *Randles* le prince Henri ne s'installa pas à Sagres à son retour de Ceuta en 1415, mais seulement après 1452 et il mourut en 1460.

En fait, comme il l'a confirmé dans son testament, le prétendu arsenal n'était qu'un abri pour les navires, qui pouvaient s'y ravitailler.

Il est attesté de façon certaine qu'un navigateur cartographe majorcain vint au Portugal pour transmettre son savoir-faire aux marins portugais, mais on peut penser qu'il resta à Lisbonne et qu'il ne vint pas à Sagres, où l'on ne trouve d'ailleurs jamais trace de présence d'astronomes, ni de cartographes.

Si le prince Henri avait quelque prédilection pour l'astrologie, il n'avait pas la moindre compétence en navigation astronomique ; celle-ci ne fut pratiquée au Portugal qu'après sa mort.

L'article de M. *Randles* a le mérite d'expliquer comment est née cette légende du prince Henri fondateur d'une école nautique avec astronomes et cartographes. L'auteur énumère trois catégories d'historiens concernés : ceux du temps du Prince Henri (15ème siècle), ceux du 16ème siècle et enfin ceux des siècles postérieurs. Certains mots ou désignations furent mal interprétés au 16ème siècle et petit à petit se créa le mythe d'une école de navigation avec chantier naval, mythe qui fut accompagné d'une sorte de "sacralisation" du Prince Henri, dans laquelle on amplifia considérablement le rôle qu'il a joué dans les grandes découvertes portugaises, en le considérant même à tort comme ayant introduit au Portugal la navigation astronomique.

(1) *L'Infant est le Prince Henri du Portugal dit "le Navigateur".*

(Raymond d'Hollander)

## ■ TAXIS DE CHEZ NOUS

La fonction de transport du taxi est essentielle et complémentaire de celle des transports en commun. Ce livre est le reflet de ce monde à part, il nous rappelle l'origine du taxi et les faits d'importance avant de nous en raconter l'histoire en images. Ces photos illustrent l'aventure des taxis, avec ses hauts, ses bas, ses époques glorieuses...

(Collection "... de chez nous, édité par ETAI/MDM - 1 vol. 144 pages. 140 illust. 180 F)

Viennent de paraître également : Excursions de chez nous et Motos de chez nous.

## ■ EVALUER LE TERRAIN

Plutôt que de présenter quelques formules illusoire pour une bonne évaluation, ce livre propose un débat où plusieurs des meilleurs spécialistes du sujet exami-

nent les problèmes que pose l'approche de la valeur d'un terrain. Un terrain, en effet, n'a aucune valeur intrinsèque. Celle-ci dépend totalement de ses possibilités d'utilisation, qui dépendent des conditions économiques, qui elles-mêmes varient profondément.

(Edition ADEF - Etudes Foncières - Grande Arche - 92044 La Défense - Cedex 41)

## ■ GUIDE DU TOURISME INDUSTRIEL ET TECHNIQUE

La culture industrielle et technologique doit s'ouvrir au tourisme, c'est le but d'une série de guides par région éditée par Solar pour la collection EDF. Partant du principe que les entreprises, les laboratoires, font partie intégrante de la vie et du patrimoine régionaux, ces guides s'adressent à ceux qui voyagent pour leur plaisir mais aussi pour leur travail. Une autre face de notre pays, celle qui est à la tâche.

Sont parus : Rhône Alpes, Bretagne Pays de Loire, Nord Pas de Calais Picardie, Languedoc Roussillon, Poitou Charente Aquitaine, Bourgogne Franche Comté, Haute et Basse Normandie, Ile-de-France, Provence Alpes Côte d'Azur, Corse, Alsace Lorraine, Champagne Ardennes, Auvergne, Limousin Centre.

(Collection EDF, La France Contemporaine - Presses de la Cité - Solar)

## ■ ASSOCIATION PROTECTION Foudre - APF

Cette association s'est donnée comme programme : sensibiliser, informer et éduquer les installateurs, les architectes et le grand public sur les dangers de la foudre et les moyens de s'en protéger.

Les dégâts de celle-ci sont beaucoup plus importants et conséquents qu'il y paraît, se montant au milliard de francs annuels, sans compter les victimes humaines. En 1994 un comité scientifique a mis en place un observatoire de la foudre.

L'association édite un petit livre "Règles de base pour se prémunir contre les effets néfastes de la foudre" (Bernard Evenot, ingénieur ESE), qui explique le mécanisme, pas totalement élucidé d'ailleurs, de cet infernal arc électrique ou les puissances intervenantes sont phénoménales. Sont décrites les mesures préventives et les dispositions de sécurité possibles.

Par ailleurs, des fascicules s'adressant au public donnent les recommandations de prudence en cas d'orage (très instructif et démystifiant sur certaines légendes).

(APF. 62 av de Wagram - 75017 Paris - Tél : 47 63 31 88)

## ■ LA DIOXINE ET SES ANALOGUES (RAPPORT DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES)

Depuis une vingtaine d'années le mot Dioxine est devenu synonyme de poison absolu engendré par l'activité industrielle. Si un enchaînement très particulier a pu alerter l'opinion, il convient de situer le débat dans un contexte serein. Dans ce rapport l'Académie fait le

point des données scientifiques actuelles sur le sujet.

On y apprend que l'homme est peu sensible à la dioxine et qu'aucun élément ne permet aujourd'hui de la considérer comme un risque majeur pour la population. L'Académie des Sciences, le CADAS et les experts considèrent seulement qu'il convient de rester vigilants et recommandent des actions de nature scientifique et industrielle.

(CADAS - Editions TEC et DOC Lavoisier - 14 rue de Provigny - 94236 Cachan Cedex)

## ■ DICTIONNAIRE DE L'ACADÉMIE FRANÇAISE : SA NAISSANCE, SON ACTUALITÉ

A l'occasion des 300 ans du "dictionnaire", la bibliothèque de l'Institut de France organise une exposition au château de Langeais du 16 avril au 3 juillet 1995.

Un catalogue est édité à cette occasion : origine, création, les auteurs et le futur. Disponible par correspondance - 50 F.

## ■ A L'OCCASION DU BICENTENAIRE DU CNAM

Dans la collection "Histoire biographique de l'enseignement" est édité sous la direction de Claudine Fontanon et André Grelon (maîtres de conférences à l'Ecole des hautes études en sciences sociales) : "*Les professeurs du conservatoire national des arts et métiers*", dictionnaire biographique 1794 - 1955 en deux volumes : tome 1 (A à K) de 752 pages et tome 2 (L à Z) de 688 pages.

Depuis sa fondation en 1794, une des missions essentielles du Conservatoire national des arts et métiers a été de transmettre le savoir scientifique et technique à un public d'ouvriers, d'artisans, de techniciens et d'industriels. S'appuyant d'abord sur les démonstrations des machines qui étaient exposées dans ses galeries, cette mission a pris une nouvelle forme en 1819 avec la mise en place d'un haut enseignement gratuit de sciences appliquées. Les trois chaires créées alors se sont multipliées au fil du temps, l'enseignement accompagnant dans tous ses développements l'essor industriel et la croissance économique du pays.

Ce livre rassemble les biographies de ses directeurs et de ses enseignants, démonstrateurs et professeurs, qui se sont succédé depuis l'origine de l'établissement jusqu'au milieu du XXe siècle. Plus d'une centaine de chercheurs de toutes disciplines ont participé à cette entreprise. Avec cette vaste fresque, c'est tout un aspect, jusqu'ici peu connu, de l'histoire intellectuelle de la France et de l'histoire des sciences qui est aujourd'hui éclairé.

Parmi les biographies présentées nos lecteurs seront plus particulièrement intéressés par les textes sur :

• Aimé Laussedat (1819 - 1907) par Maurice Carbonnel et Claudine Fontanon (14 pages)

• Georges Poivilliers (1892 - 1968) par Robert Vincent et Jean Poivilliers (15 pages)

• Louis Ragey (1895 - 1970) par Jean-Jacques Thiercelin (11 pages)

• Henri Roussilhe (1879 - 1945) par Guy Ducher (8 pages)

Publié par l'Institut National de Recherche Pédagogique, 29 rue d'Ulm Paris Cedex 05 - ISBN 2-7342-0436-3 et par le Conservatoire National des Arts et Métiers - Paris Octobre 1994. Prix : 350 Francs chaque volume relié format 16 x 24 cm.

## ■ SAHARA (JEAN-MARC DUROU)

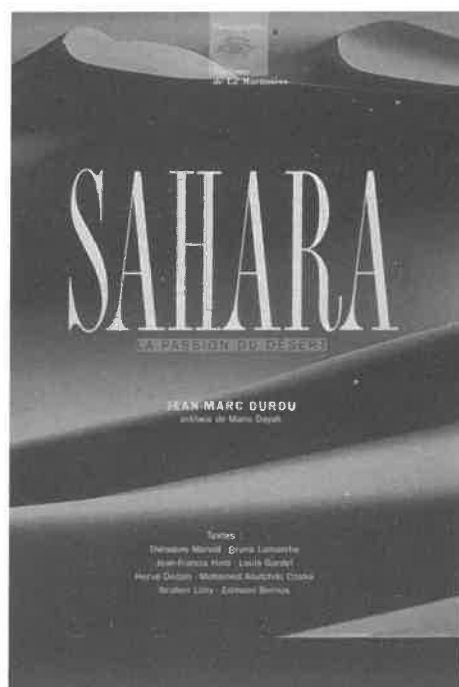
Cet ancien guide saharien que nous avons déjà accueilli dans nos colonnes pour un ouvrage sur l'histoire de l'exploration du Sahara, nous livre aujourd'hui ce très beau livre préfacé par Mano Dayak, avec des textes de spécialistes, dont Théodore Monod.

Jean-Marc Durou est aujourd'hui photographe professionnel. C'est par amour du désert qu'il photographie pour nous transmettre une véritable passion.

Dans cet ouvrage, au-delà de l'émotion pure que dégage l'image, c'est l'histoire du Sahara et de ceux qui l'ont découvert qu'il a voulu privilégier. Des documents anciens et inédits dévoilent pour la première fois l'existence passionnante et passionnée de personnages hors du commun. Explorateurs d'hier et d'aujourd'hui, scientifiques, nomades, grands voyageurs et grands spécialistes tels que Théodore Monod, Edmond Bernus, Mano Dayak, Louis Gardel, Bruno Lamarche, Jean-Francis Held et Hervé Derain, tous participent à ce témoignage sur un monde dont ils sont les ambassadeurs d'exception, chacun à leur manière.

(Aux éditions de la Martinière - 360 F TTC)

Vient également de paraître, de JM Durou, chez B. Laffond, en collaboration avec Yann Queffelec, "Bretagne, le soleil se lève à l'Ouest".





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. 42.93.42.01

**LE LOUVRE DES ANTIQUAIRES**  
2, place du Palais-Royal, Paris 1<sup>er</sup>  
(1, allée Weisweiler, sur rue St-Honoré)  
Tél. 42.60.20.30

**AUX ARMES DE FURSTEMBERG**  
1, rue Furstemberg  
(angle 3, rue Jacob) Paris 6<sup>e</sup>  
Tél. 43.29.79.51

**PROMENADE DES ANTIQUAIRES**  
7, promenade des Anglais  
(sur rue Masséna) 06 NICE  
Tél. 93.82.00.02





# PRES D'UN SIECLE AU SERVICE DU BUREAU D'ETUDES

LA PLUS ANCIENNE ET LA PLUS REPUTEE DES ENTREPRISES DE REPROGRAPHIE FRANÇAISE

## LE CHOIX

- Une gamme complète :
  - Matériel DIAZO
  - Matériel PPC
  - Coupeuses - plieuses
  - Banc de pliage automatique
  - Copieur - Traçeur
  - Fax grande largeur
  - Matériel CAO/DAO



## LES CONSOMMABLES

- Papiers tirage
- Contre-calques
- Polyesters
- Spécialités

La plus large gamme  
de supports pour  
tirage de plans



**L'EXPERIENCE DOREL**  
UNE EQUIPE DE  
PROFESSIONNELS  
DE LA DISTRIBUTION  
AU SERVICE DE  
LA REPRODUCTION  
DE PLANS

## LE SERVICE

FOURNITURES  
pour

BUREAU  
D'ETUDES



### EN FRANCE :

- La présence nationale d'un leader dans la reproduction de plans

### A L'EXPORT :

- La force d'un réseau de partenaires à l'échelon mondial



**DOREL**

SERVICE COMMERCIAL FRANCE ET EXPORT

45, rue de Tocqueville  
75017 PARIS - France

Tél. : (1) 42 27 70 50

Fax : (1) 47 54 04 32

Télex : 644 072

## RÉCRÉATION MATHÉMATIQUE

Par Michel Sautreau

### Problème n° 3/94. Un partage équitable.

Un propriétaire possède une parcelle de terrain ayant la forme d'un triangle dont les trois angles sont aigus. A l'intérieur de cette parcelle est situé un puits.

En vue d'effectuer une donation équitable entre ses trois enfants, ce propriétaire demande à un géomètre de partager sa parcelle en trois parties d'égale superficie, à l'aide de trois demi-droites ayant pour origine le centre du puits.

Saurez-vous effectuer la construction géométrique du partage ainsi demandé ?

### Solution du problème n° 2/94

Le tableau ci-dessous donne la solution permettant d'effectuer le transbordement des quatre couples de la première rive sur la seconde de telle sorte que l'une quelconque des épouses ne se trouve jamais en présence d'un autre homme si son mari n'est pas présent.

Dans ce tableau, les géomètres sont désignés par A, B, C, D, et leurs épouses respectives par a, b, c, d. Chaque traversée est symbolisée par une flèche au centre de laquelle les passagers de la barque sont indiqués entre parenthèses. Ces passagers sont en outre remplacés par un point sur la rive qu'ils viennent de quitter et portés sur la rive où ils vont aborder.

1re rive		Ile		2e rive
ABCD abcd				
ABCD ab ..	← (cd) →	cd		
ABCD abc	← (c) →	.d		
ABCD a..	← (bc) →	bcd		
ABCD ab	← (b) →	.cd		
AB .. ab	← (CD) →	CD cd		
		CD ..	← (cd) →	cd
		CD c	← (c) →	.d
		..c	← (CD) →	CD d
ABC ab	← (C) →			.D d
ABC..	← (ab) →	abc		
ABC a	← (a) →	.bc		
A.. a	← (BC) →			BCD d
		bcd	← (d) →	BCD .
		b..	← (cd) →	BCD cd
AB a	← (B) →			CD cd
.. a	← (AB) →			ABCD cd
a d	← (d) →			ABCD c.
..	← (ad) →			ABCDa cd
		a b	← (a) →	ABCDa cd
		..	← (ab) →	ABCDabcd