

# Association Française de Topographie

xyz

n° 83

topographie  
géodésie  
photogrammétrie  
SIG  
géomatique  
météorologie  
hydrographie  
topométrie  
cartographie  
génie civil



ISSN 0290-9057

2<sup>e</sup> trimestre 2000 - 22<sup>e</sup> année - 130 F - 20 €





Véhicule instrumenté du LCPC pour l'évaluation précise en site urbain des systèmes de localisation muni d'un scanner de codes-barres, utilisé dans le cadre d'une étude sur les performances effectives du DGPS par RDS, sur Paris-Nantes. Lire notre article page 42.

**DIRECTEUR DE LA PUBLICATION**  
André BAILLY

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

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

**COMITÉ DE LECTURE**  
• MM. BAILLY, COMBES, FONTAINE,  
LEVALLOIS, MEYER, MILLION,  
PUYCOUYOUL, SCHAFFNER,  
VINCENT.

**MAQUETTE ET MONTAGE**  
Jack BIQUAND

**ABONNEMENTS**  
Evelyn MESNIS  
e-mail : [aftopo@club-internet.fr](mailto:aftopo@club-internet.fr)

Trimestriel - Le numéro : 130 F / 20 €

**Abonnement d'un an**

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

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

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

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

Tous droits de reproduction ou d'adaptation  
strictement réservés.


**COMPOSITION CD GRAPH - GRAND LARGE**  
9 rue Hélène Boucher - 44115 Haute-Goulaine  
© 02 40 06 20 68 - fax 02 40 06 00 88  
**IMPRIMERIE MODERNE USHA**  
15001 Aurillac  
© 04 71 63 44 60 - fax 04 71 64 09 09

# REVUE DE L'ASSOCIATION FRANÇAISE DE TOPOGRAPHIE

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

E-MAIL : [aftopo@club-internet.fr](mailto:aftopo@club-internet.fr) • SITE INTERNET : <http://perso.club-internet.fr/aftopo>

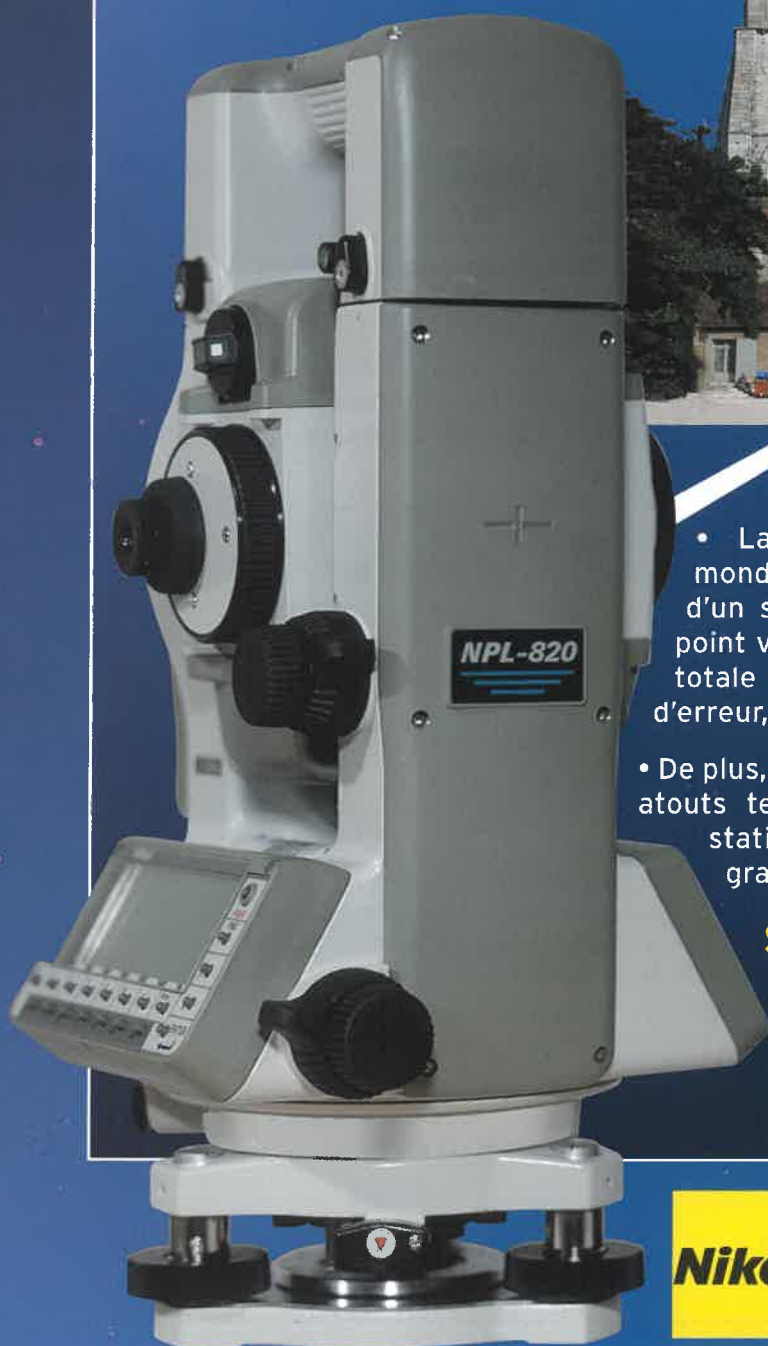
Secrétariat : tous les jours de 9h à 12h et de 14h à 17h

L'AFT est membre de la FIG  ISSN 0290 - 9057 **2000 • 2<sup>e</sup> trimestre**

## n° 83 • s o m m a i r e

- Editorial : Pour un joli mois de mai .....	5
- Info-Topo .....	7
- Topographie des calottes glaciaires par altimétrie satellite Frédérique Rémy .....	17
- Suivi du niveau moyen de la mer par marégraphe et GPS G. Wöppelmann, B. Simon, Cl. Boucher .....	23
- La page voiture - Carminat, le GPS dans la voiture .....	30
- Libre propos - Lettre ouverte de André Fontaine .....	31
- Un SIG pour Vannes Bruno Le Gall .....	33
- Un SIG nomade - ArcPad Olivier Laugier .....	39
- Performances de la transmission des corrections DGPS par radio FM F. Peyret, A. Hussain, P. Briquet, S. Vianez, J.-L. Vacher .....	42
- Modélisation photoréaliste en 3D Laurent Fuchs .....	48
- De l'étranger : MAROC : Copropriété, automatisation du dessin des plans Mourad Bouziani, Tayeb Tachallait, Hamoun El Ghaziani, A. Kachach .....	52
- GPS et coordonnées en projection Henri Dufour .....	56
- Photogrammétrie expédiée, étude de cas Christian Donnenwirth, Jacques-Alain Quessette, Valérie Rousset, Claude Soiro .....	61
- Projet HISTAR H. Dupraz, W. Coosemans, F. Ossart, V. Bourquin .....	65
- Une histoire d'optique topo Marie-Noëlle Thomas .....	70
- Au planétarium de Vaulx-en-Velin Dominique Vinot .....	72
- Mission archéologique au Soudan Christian Meyer .....	74
- Comment choisir un système de positionnement par satellite quand on recherche le centimètre dix fois par seconde ? Jean-Pierre Grassien, Marc Henaut .....	79
- Avant la méridienne verte, la méridienne de pierre Robert Vincent, Gérard Robineau, Jacques Grébill .....	85
- La page GSF : Tomegebe, le retour Christian Toinon .....	90
- TOPO-vécue : les amers du temps, TCHAD années 50 Claude Million .....	92
- Les livres Jack Biquand .....	96
- Annonceurs .....	100

# NPL 820 une ère nouvelle pour la technologie laser



- La NPL 820 est la seule station totale au monde à offrir un distancemètre coaxial doté d'un système de focalisation breveté : chaque point visé est vraiment le point mesuré avec une totale fiabilité. Et si il existe le moindre risque d'erreur, la NPL 820 le détecte instantanément.
- De plus, la NPL 820 vous fait bénéficier de tous les atouts techniques de sa nouvelle génération de station Khéops-2 : carte PCMCIA, large écran graphique haute résolution, logiciel AP800.

**Station laser NPL 820 de NIKON :  
la certitude de la mesure exacte**

*Pour toute information, contactez le :*  
**01 45 16 46 60**

**Nikon**

**NIKON FRANCE S.A.**

191, RUE DU MARCHÉ ROLLAY - 94504 CHAMPIGNY-SUR-MARNE CEDEX  
TÉL. : 01 45 16 46 60 - FAX : 01 45 16 45 55

BOUYSSOU/CREASIGNE

# Pour un joli mois de mai

*Avec la première gorgée de ce numéro nous plongeons dans le dramatique de l'espèce humaine. Depuis deux siècles, l'homme, à la recherche de développement industriel et agricole, modifie son environnement, pioche et transforme sa planète. On en prédit des catastrophes : la fonte des calottes glaciaires, la montée des océans en même temps que la pénurie d'eau. C'est l'alerte ! Nous, topographes, pendant ce temps, toujours au cœur de l'activité humaine, on mesure.*

*On mesure les calottes glaciaires dont la connaissance est révolutionnée par les nouveaux satellites de télédétection. Depuis 1991 l'altimètre d'ERS permet la topographie du Groenland et de 80 % de l'Antarctique, et, en 2001, l'ASE lancera la plate-forme ENVISAT et vient de décider la mission CRYOSAT dédiée à l'étude des glaces continentales et aux glaces de mer. Frédérique Rémy, du LEGOS, nous écrit un article sur la question, avec une introduction alarmiste de Bertrand Imbert qui fut chef des expéditions polaires françaises pendant l'année géophysique internationale. Un autre texte, signé par G. Wöppelmann, B. Simon, du SHOM, et Claude Boucher de l'IGN, traite du suivi du niveau moyen de la mer par marégraphe et GPS. Les scientifiques remettent les choses à niveau !*

*Mais, quel que soit le niveau de la mer, en 2015, on expérimentera un tronçon pilote du "swissmétré", un véhicule à lévitation et guidage magnétique qui vous transportera à 500 km/h. Pour ce faire, H. Dupraz, W. Coosemans, F. Ossart et V. Bourquin nous décrivent le projet HISTAR destiné à en préciser les phénomènes aérodynamiques.*

*Côté GPS, nos collègues du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, F. Peyret et A. Hussain, de Nantes, et P. Briquet, S. Viannez et J.-L. Vacher, de Paris, ont mené deux campagnes d'essais destinées à évaluer les performances de la transmission des corrections DGPS par RDS, en partenariat avec France-GPS, SOGETEC, et l'IGN. Lisez leurs conclusions et leurs suggestions d'améliorations. Toujours côté GPS, Jean-Pierre Grassien et Marc Henaut nous expliquent leur méthode de sélection du port de Dunkerque pour l'acquisition d'un GPS cinématique bifréquence centimétrique réel.*

*Un clin d'œil vers les SIG avec la ville de Vannes, centre d'art et d'histoire, mais aussi ville de développement moderne nécessitant la maîtrise de l'urbain et du social : "un SIG pour Vannes" nous explique Bruno Le Gall, pendant qu'Olivier Laugier de "ESRI-France" nous propose un SIG nomade pour réaliser des observations sur le terrain.*

*Au nord de Forbach, en Moselle, on désaffecte des emprises industrielles. Pour leur reconversion on modélise les projets. Sur le site du puits Simon une modélisation photoréaliste en 3D est décrite par Laurent Fuchs qui la lie aux principaux enjeux techniques et humains en cause.*

*Après ces lasers sur l'avenir et les prédictions, pour ne pas dire les prédications, cajolons un peu ce passé de l'homme somme toute bien méritoire et qui suscite toujours, à l'AFT, un petit coup de cœur, regardez Christian Meyer qui a pris sa station totale sous le bras pour sonder la disposition des vestiges de l'antique Egypte du Dieu Râ, à Sedeinga, entre la deuxième et la troisième cataracte du Nil, à 800 km au nord de Khartoum, et écoutez Claude Million quand il nous repasse un film de 1953 où il erre à la recherche d'un chantier au bord du fleuve Logone au Tchad où il est plus important d'être mécanicien que topographe, rubrique "topo-vécue". Avant la "méridienne verte" qui bourgeonnait dans notre dernier numéro, était "la méridienne de pierre", une histoire de la matérialisation du Méridien de Paris que nous content Robert Vincent, Gérard Robineau et Jacques Grébill.*

*De l'étranger, nos amis du Maroc Mourad Bouziani, Tayeb Tachallait, Hamoun El Ghaziani et A. Kachach, nous écrivent sur l'automatisation du dessin des plans de copropriété dans le pays, et la page Géomètres Sans Frontières est consacrée au développement d'un village du Togo, Tomegbe, où une première mission de GSF a effectué des relevés topo en 1992, Christian Toinon vient d'y vivre un deuxième séjour.*

*Profitez de cette page pour annoncer le 23<sup>e</sup> colloque de notre association qui se tiendra au Mans, à l'ESGT, les 5 et 6 octobre prochains sur le thème des SIG et de la gestion des espaces ruraux et urbains. D'ici là l'AFT sera présente et actrice à INTERMAT, NAVSAT, aux journées d'ESRI, au congrès de l'OGE, à GPS2000 à Nantes et au forum GPS de l'ENSG.*

*Pour conclure par notre brin de muguet du mois de mai, la rédaction de XYZ a le plaisir d'annoncer la nomination à chevalier de la Légion d'Honneur de son directeur de la publication et président de l'AFT, ce qui honore particulièrement notre revue.*

*Félicitations monsieur André Bailly.*

XYZ



# interopérabilité

PENSEZ-Y COMME ETANT LA CLE  
DE VOS AFFAIRES



DU CANEVAS A  
L'IMPLANTATION.

STATIONS TOTALES  
TOUTES MARQUES.

GPS.



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

**Trimble**  
ADDING VALUE TO GPS

**LEPONT**  
EQUIPEMENTS

Trimble Navigation France S.A.  
T : 02 23 25 01 50  
F : 02 23 25 22 97

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

Visitez notre site au [www.trimble.com](http://www.trimble.com)

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

Présent au congrès national des géomètres-experts, à Tours, 14, 15, 16 juin, stand 56

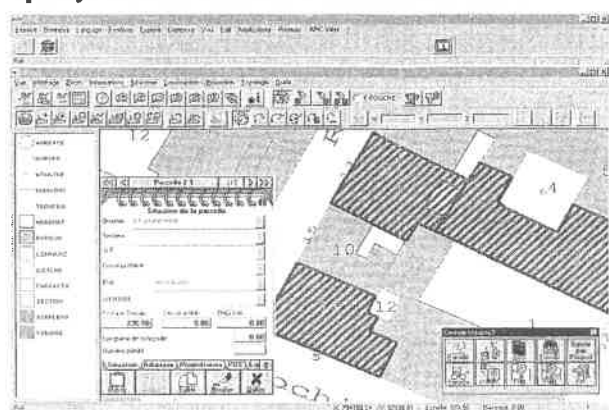
# INFO actualités bloc-notes flashes

# TOP

numéro  
83

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

## apic joue la carte des "liens métiers"



La société APIC-SA, conçoit et édite une gamme de logiciels pour exploiter l'Information Géographique.

En réalisant le module « APIC-Connect », elle entend multiplier les partenariats avec des éditeurs spécialisés pour améliorer son ouverture vers des logiciels « métiers ». Ces partenariats ont permis de procéder à des installations communes dans de nombreuses collectivités locales en France.

Liens disponibles : services techniques (logiciel TECHPRO), cimetières (logiciel CIMPRO), gestion électronique de documents (logiciel DocuWare), urbanisme et foncier (logiciels URBAPRO, VISDGI).

Parmi les villes équipées, Metz, Cannes, Clermont-Ferrand, Bègles, Noisy-le-Sec, Gradignan, St-Médard-en-Salles, Ambarès et Lagrave, le Haillan, Villeneuve d'Ornon, Eysines. Dans ces mairies la solution Apic et ses liens métiers ont été installés et les équipes formées, en moins d'une semaine les sites sont devenus opérationnels.

(apic - 113 av. A. Briand - 94117 Arcueil CEDEX  
tél. 01 49 08 83 00 - fax 01 49 69 92 93)

## ESRI-France

### - ArcIMS 3.0

« National Geographic », le célèbre magazine américain, renforce son activité en proposant aux internautes un service

cartographique dynamique qui porte le nom de MAP MACHINE et est rendu accessible par un large public grâce à ArcIMS 3.0 de la société ESRI. Ce leader mondial des SIG a développé cet outil en s'appuyant sur son expérience acquise dans le déploiement de solutions cartographiques sur Internet/Intranet. Avec une banque d'images satellitaires et une base de cartes numérisées, ArcIMS 3.0 apporte la possibilité de créer instantanément des cartes sur mesure de toutes les régions de la planète.



National Geographic avec ArcIMS 3 / ESRI France

Sa fonction dynamique permet de zoomer et de naviguer virtuellement au cœur d'un planisphère, et de localiser un lieu au moyen d'un moteur de recherche.

À la disposition de l'utilisateur, dix-huit types d'information (nature des sols, type de végétations, activité sismique, relief, ressources minérales, etc.) et une fonction zoom avec six niveaux d'échelle variables. Une sauvegarde permet de créer un atlas personnalisé en ligne.

### - ERDAS Imagine 8.4

De la simple application cartographique aux travaux avancés en imagerie, ERDAS Imagine propose une gamme complète et unique d'outils simples et efficaces, organisés en solutions modulaires et adaptables à l'évolution de toute organisation.



**UTILISATION DES SYSTÈMES  
DE COORDONNÉES  
DANS LES SIG**

**du 2 au 3 octobre 2000**  
**3 400 F - 518,33 €**

**RÉSEAU GÉODÉSIQUE  
FRANCAIS - CONCEPTS ET  
APPLICATIONS PRATIQUES**

**le 28 septembre 2000**  
**1 500 F - 228,67 €**

**RÉSEAUX GPS PERMANENTS  
L'IGS ET LE RGP**

**le 17 octobre 2000**  
**1 500 F - 228,67 €**

**PRATIQUE DU GPS EN  
GÉODÉSIE ET TOPOMÉTRIE**

**du 18 au 22 septembre 2000**  
**9 000 F - 1 372,04 €**

**INTÉGRATION DES DONNÉES  
GPS DANS LES SIG**

**le 5 octobre 2000**  
**1 800 F - 274,41 €**

**ÉCOLE NATIONALE  
DES SCIENCES GÉOGRAPHIQUES**

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



Centre de Formation Permanente

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

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

Mel : Cfpe@ens.gign.fr

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

BPE - INSG / IGN

**Offres d'emplois**

Leica Geosystems SARL, fabricant et distributeur d'une gamme complète d'instruments et de systèmes topographiques, recherche :

- ✓ un **Ingénieur de Vente**, diplômé(e) d'une école d'ingénieurs, type E.N.S.A.I.S., E.S.G.T., il (elle) sera chargé(e) de la prospection et la vente de nos instruments sur la région Nord-Ouest. Maîtrise de l'anglais, ainsi que rigueur dans l'organisation du travail, autonomie et mobilité seront des qualités appréciées.
- ✓ un **Ingénieur**, diplômé(e) d'une école d'ingénieurs, type E.N.S.A.I.S., E.S.G.T., il (elle) sera chargé(e) du support à la vente des produits GPS et secondera le chef de produit. Les qualités énoncées ci-dessus sont demandées ainsi qu'une expérience commerciale.
- ✓ un **Ingénieur**, diplômé(e) d'une école d'ingénieurs, type E.N.S.A.I.S., E.S.G.T. avec spécialisation SIG, il (elle) sera chargé(e) du développement de l'activité SIG. Les qualités énoncées ci-dessus sont demandées ainsi qu'une expérience commerciale, une bonne maîtrise du SIG et des connaissances en GPS.

Envoi des candidatures (lettre manuscrite, CV, prétentions) à :  
**Leica Geosystems SARL, à l'attention de Nathalie DUBREUIL**, Parc du Saint-Laurent - 54, route de Sartrouville - 78232 Le Pecq Cedex. Télécopie : 01 30 09 17 02.  
Internet : [nathalie.dubreuil@leica-geosystems.com](mailto:nathalie.dubreuil@leica-geosystems.com)

**Leica**

MADE TO MEASURE

**ADP**  
*Aéroports de Paris*

**Recherche pour la Direction de l'Équipement  
un OPÉRATEUR TOPOGRAPHE**

Sous la responsabilité d'un Chef de Brigade, vous êtes chargé des opérations de levés, implantations, contrôle des travaux à l'aide d'instruments topographiques de pointe.

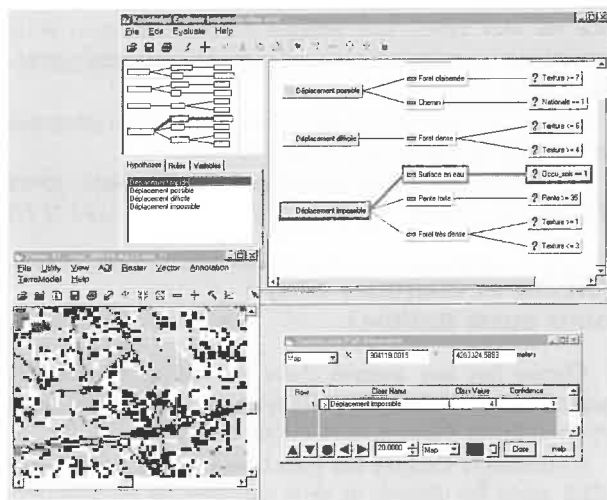
Par ailleurs vous l'assistez dans le traitement des dossiers, transfert des données sur ordinateur, calculs, finalisation des dossiers.

Titulaire d'un CAP/BEP en Topographie, vous êtes débutant ou justifiez d'une première expérience dans ces métiers.

→ Pour ce poste basé sur Roissy, merci d'adresser votre candidature (CV + lettre manuscrite et prétentions) à :

**AÉROPORTS DE PARIS**  
**Service Emplois - Orly Sud 103**  
**94 396 ORLY AÉROGARES CEDEX**

Il permet d'accéder à de nombreux formats d'images (photographies aériennes et images satellites) de les orthorectifier, de les mosaïquer, de les interpréter et de produire de nombreux documents (cartes, vidéos 3D...).



- Une plus grande intégration avec les solutions ESRI (création directe de couche vecteur au format ArcView).
- Une écriture directe d'images sous différents formats (IMG, GRID, TIFF/GeoTIFF).
- Un utilitaire de modélisation graphique d'une chaîne de production (Knowledge engineer). Celui-ci permet à un expert de modéliser son expérience en utilisant des hypothèses, des règles conditionnelles. L'utilisateur peut ensuite lancer des traitements complexes sans avoir de connaissances particulières sur les techniques utilisées afin d'arriver au résultat final.
- Une automatisation des traitements à partir d'assistants.

Ces nouveautés apportent ainsi une plus grande souplesse d'utilisation et une meilleure intégration avec l'ensemble des solutions ESRI.

Signalons que « le Grand Lyon », zone urbaine de la ville, vient de confier au groupement ISIS/ESRI-France/Générale d'Infographie/MAGIS-Méditerranée, la refonte du système urbain de références. Il s'agit du remplacement du système existant mis en place à la fin des années 80 sur près de 90 postes de travail, et du déploiement de l'information géographique auprès d'un grand nombre d'utilisateurs. Le nouveau système, baptisé SUR2001, sera basé sur une architecture client/serveur avec des clients en environnement Windows, développés autour du tout nouveau SIG orienté ArcInfo8, accédant à un serveur Oracle8 grâce à la technologie ArcSDE8, développé par la société ESRI.

Pour servir un public important, le nouveau système fera une large place à l'architecture inet (internet et intranet) avec la dernière technologie ESRI connue sous le nom de ArcIMS3.

Il faudra plus d'une année de développement pour l'équipe d'ESRI France, avant de livrer l'application ATLAS (Accès à Toutes Les Applications du SUR2001) définie par le Grand Lyon. Il faudra également toute l'expertise d'IMAGIS pour assurer la migration en douceur des données du système actuel vers SUR2001. Enfin, sur base de l'application ATLAS, la vingtaine d'applications du SUR actuel sera progressivement migrée, en commençant par l'application ARIANE (gestion du filaire des voies et adresses) qui doit être fournie par Générale d'Infographie au titre du marché.

Il s'agit du plus ambitieux dossier SIG traité dans le domaine des Collectivités Locales depuis de nombreuses années. Ne

serait-ce que par l'ampleur des besoins et du patrimoine à couvrir (55 communes, plus de 200 000 parcelles...) et par le fait que cette refonte va être progressive et va voir cohabiter les deux systèmes pendant la phase de migration de façon à préserver la continuité de service.

(ESRI-France - 21 rue des Capucins - 92 190 Meudon  
Tél. 01 46 23 60 60 - Fax 01 45 07 05 60 - infoesrifrance.fr)

## Spot Image ouvre son premier bureau européen à Berlin

Forte d'une présence commerciale déjà ancienne en Allemagne, assurée par son distributeur GAF, Spot Image vient d'ouvrir un bureau de représentation à Berlin, animé par Bertrand Saint-Guilhem.

L'objectif de Spot Image est de renforcer sa présence commerciale dans l'ensemble des régions allemandes et de consolider la coopération avec son distributeur situé à Munich. À terme, il est prévu de compléter ce dispositif par un réseau d'agents commerciaux locaux spécialisés par application (cartographie, gestion foncière, géologie, planification urbaine et rurale, agriculture, forêt,...).

Spot Image distribue dans le monde une gamme étendue de produits et de services issus des trois satellites SPOT en orbite, des satellites radars ERS et Radarsat ainsi que celles de l'instrument Végétation embarqué à bord de SPOT 4 qui permet d'obtenir une couverture quotidienne des terres émergées. Cette complémentarité des différentes sources entre elles (données optiques, données radar) ainsi que celle des différentes résolutions (basse, haute et très haute résolution) permet de développer une large gamme de solutions et d'applications en information géographique.

Cette implantation, la première en Europe, confirme la volonté de Spot Image d'offrir un service de proximité à ses clients et de prendre en compte les besoins spécifiques de chaque marché.

Cette stratégie commerciale a conduit Spot Image à développer, depuis sa création en 1982, un réseau de distribution international composé aujourd'hui de quatre filiales (États-Unis, Australie, Singapour et Chine), 90 distributeurs et 23 stations de réception à travers le monde.

(6 rue des Satellites - BP 4359 - F-31030 Toulouse CEDEX 4  
France - Tél. + 33 (0) 6 62 19 40 40 Fax + 33 (0) 6 62 19 40 11  
Site : [www.spotimage.fr/](http://www.spotimage.fr/))

## BENTLEY - des avancées technologiques

Avec l'adoption par l'IAI d'aecXML, Bentley-Systems voit confirmés ses choix technologiques. IAI (International Alliance for Interoperability) a été fondée en 1995. Sa vocation est l'établissement de standards techniques. Son premier objectif est développer et promouvoir une version commerciale des formats courants permettant l'échange rapide d'informations entre toutes les disciplines intervenant dans des projets d'AEC (Architecture Engineering Construction) ou de FM (Facilities Management) dans le secteur de la construction, et ce tout au long des phases du projet: de la conception et l'ingénierie à l'évacuation des coûts, au chantier, à la gestion des modifications et à la maintenance des bâtiments.

L'IAI pour poursuivre cette mission vient d'adopter AecXML.

AecXML est un ensemble de schémas qui vont favoriser des communications de grande qualité entre tous les intervenants des projets d'AEC et FM, incluant les architectes, les fabricants



de matériaux, les propriétaires immobiliers, les sous-traitants, les ingénieurs, les gestionnaires, les éditeurs de logiciel, les experts en énergie et environnement, etc. AecXML utilise le standard XML, qui connaît une croissance rapide, et permet d'éliminer les difficultés générées par l'utilisation de logiciels très divers. Les limitations étant levées, l'information critique pourra être échangée sans le moindre problème au travers d'Internet, économisant ainsi temps et argent.

D'autre part, Bentley-Systems annonce la disponibilité de son système de gestion de projets techniques « ProjectBank™ DGN ». S'appuyant sur une approche nouvelle, ce système apporte des innovations importantes pour la gestion des données techniques et l'ingénierie collaborative.

(Bentley Systems - CNIT - BP 424 - 92 053 La Défense - Paris  
Tél. 01 46 92 40 92 - Fax 01 46 92 40 93 - Site: [www.bentley.com](http://www.bentley.com))

## **INNOBAT fête son 10<sup>e</sup> anniversaire**

Du 5 au 7 octobre 2000, se déroulera à Anglet (Pyrénées Atlantiques) la 10<sup>e</sup> édition du salon INNOBAT, salon professionnel de la construction de l'euro-région Aquitaine Euskadi Navarre.

INNOBAT est le rendez-vous professionnel pour développer ses affaires, rencontrer de nouveaux clients dans une région transfrontalière de plus de 5,5 millions d'habitants.

Cet événement, unique dans le Sud Ouest, concerne directement les maîtres d'ouvrage, prescripteurs, concepteurs, distributeurs et entrepreneurs.

(INNOBAT Expomédia - 3 avenue Armand Toulet  
64 600 Anglet - Tél. 05 59 31 11 66 - Fax 05 59 31 03 98)

## **MAPTEK change d'adresse**

Dans notre dernier numéro la société MAPTEK nous invitait à voyager au cœur d'« I-SITE », dans un article signé Rob Airey, sur son nouveau système d'imagerie laser, un moyen d'acquisition rapide et direct de données en trois dimensions, dans tout type d'environnement de grande échelle (6 000 points/seconde relevés, même en site dangereux ou difficile d'accès).

Aujourd'hui, la société nous donne une quatrième dimension: sa nouvelle adresse depuis le 1<sup>er</sup> mars!

(MAPTEK/KRJA - Systems Ltd. Minerva House - Spaniel Row  
Nottingham NG1 6EP United Kingdom  
Tél. + 44 (0) 115 947 2000 - Fax + 44 (0) 115 947 2010  
Site: <http://www.maptek.com>)

## **GEOSYS choisit PRODIGEO**

L'information géographique pour l'agriculture et l'environnement est la spécialité de la société internationale GEOSYS, avec des compétences particulières pour l'exploitation des sources de données satellitaires. Il est donc indispensable de disposer d'un outil performant pour répondre aux besoins des utilisateurs: géométrie, complétude, structure, rapidité d'exécution, volume.

Le logiciel PRODIGEO de Matra Systèmes et Information a été choisi par GEOSYS pour être cet outil. Ce logiciel réalise le géocodage et le mosaïquage des images de télédétection de SPOT, LANDSAT et ERS, et d'images aériennes.

PRODIGEO génère des données géocodées de précision grâce à une grande fiabilité des traitements de modélisation, de rectification et de mosaïquage. Il assure la gestion des bases de données (images brutes et rectifiées, MNT, cartes, points d'appui,...) ainsi que la gestion des projets.

Le système modélise les données, soit par modélisation polynomiale, soit par modélisation physique, soit par modélisation segment SPOT ou par modélisation multi-segments SPOT. Il extrait ensuite les modèles numériques de terrain (génération et mosaïquage de MNT SPOT, contrôle, correction de tout MNT) puis effectue l'orthorectification et le mosaïquage en traitant les images et en effectuant des corrections radiométriques.

Le logiciel compose enfin les spatiocartes tout en effectuant un habillage cartographique et géographique.

(Matra Systèmes et Information - 6 rue Dewoitine - BP 14  
78 142 Velizy CEDEX - Tél. 01 34 63 74 41 - Fax 01 34 63 73 77)

## **Encore et toujours GPS, mais aussi Galilée!**

Chaque fois que quelque chose de neuf et d'intéressant apparaît comme acquis dans le projet GPS il est aussitôt remis en question au moment de son financement.

À nouveau le Congrès des États Unis a décidé, pour l'année 2000, après des démêlés de deux mois avec les représentants du Gouvernement, de ne pas modifier sa décision de ne pas financer les 17 millions de \$ nécessaires pour installer le nouveau signal civil sur les satellites GPS, et cela en dépit des efforts de la Maison Blanche, du Ministère des Transports, de la NASA, et même du Ministère de la Défense, pour obtenir une décision qui leur serait favorable.

Cela n'arrange personne car si les 17 millions du Ministère des Transports manquent le Ministère de la Défense devra trouver dans son propre budget 14 millions de \$ supplémentaires.

En revanche, l'agence spatiale Européenne (ESA) et la Commission Européenne viennent d'annoncer que les contrats clés pour la phase de définition de Galilée qui est le premier élément du projet GNSS viennent d'être accordés. En effet le 7 décembre l'ESA a signé un contrat de définition du projet « GalileoSat » de 20 millions d'Euros avec un groupement de 50 Sociétés dont le chef de file est la firme italienne « Alenia Aerospazio ». Il s'agit de développer les principes de base de la constellation Européenne de satellites et de sa partie terrestre.

Deux jours plus tard, la Commission Européenne annonçait qu'elle allait passer quatre contrats de recherche totalisant 37,5 Euros à des équipes dirigées par la Société Britannique « Racal Electronics » et par la Société Française « Alcatel Space and Sextant Avionique », une filiale du groupe « Thomson CSF » qui recevra la mission spécifiée dans le premier marché appelé GALA de 27 millions d'Euros qui définira l'architecture globale et les cahiers des charges générales du système.

Le projet, tel qu'il est grossièrement défini à l'heure actuelle, comporterait 21 satellites orbitant à une altitude de 24 000 kilomètres, avec en complément des satellites géostationnaires à une altitude de 36 000 kilomètres.

Le budget global de Galilée est de 2,7 milliards d'Euros, les travaux commenceront en 2005 pour un achèvement prévu en 2008.

Pour définir les normes des signaux l'Union Européenne se rapproche des États-Unis pour utiliser les fréquences L1 et L2 de GPS les États-Unis sont bien intéressés à créer de nouvelles normes pour des signaux Civils mais de leur côté ne peuvent rien faire sans les financements correspondants...

Du côté japonais ça ne va pas fort, le premier satellite construit par la Société Californienne « Loral », destiné au Ministère des Transports Japonais pour, essentiellement, la navigation aérienne, a dû être détruit au cours de son lancement par une fusée japonaise H-29.

## Logiciels STAR pour les bases aériennes

En 1996 le Service Spécial des Bases Aériennes du Sud-Ouest (SSBA-SO) est chargé d'acquiescer un outil de type SIG pour la gestion du patrimoine. L'objectif est de renseigner correctement les échelons régionaux et centraux sur le patrimoine aéronautique à partir des données saisies dans les services locaux des bases aériennes. Un logiciel est alors choisi qui démontra rapidement ses lacunes et s'avéra fiable.

En 1998, un processus de sélection plus élaboré est lancé, mandaté par les ministères de l'Équipement et de la Défense. Des conditions sont fixées concernant l'existant, les attentes et les résultats. Cette procédure permet de sélectionner 41 postulants.

En 1999, trois sociétés sont retenues pour aboutir au choix définitif de la société STAR INFORMATIC.

La solution retenue se compose de trois logiciels sélectionnés parmi la gamme de produits de la société: STAR GIS, WinStar et STAR NeXt. Le premier permet la consultation des bases de données et leur exploitation, WinStar offre la possibilité de saisir et intégrer les données cartographiques dans les différents aéroports. Ces données sont ensuite exploitées localement et compilées pour réaliser des états du patrimoine au niveau central. Enfin, STAR NeXt permet la consultation des informations via les réseaux Intranet et Internet.

La combinaison de ces trois logiciels offre une solution en adéquation avec les besoins.

Un point fort de cette solution STAR est sa capacité à lire directement et sans transformation de formats graphiques. Les bases aériennes disposaient déjà de données très diversifiées de par leurs natures, leurs supports et les normes utilisées. Ces données sont désormais totalement intégrées dans le nouveau système pour former un ensemble homogène et être exploitées sans contrainte.

Cet outil évolutif satisfait aux standards du marché, est utilisable à tous les niveaux (production, consultation, etc.), orienté objet, sa composante graphique fonctionne sur PC et Windows.

(Star Informatic - Parc scientifique de Saint-Tilman  
24 av. du Pré Aily - B-4031 - Angleur - Tél. + 32 4367 53 13  
Fax + 32 4367 17 11 - Site Internet: [www.star.be](http://www.star.be))

## Planté dans les chiffres

La rédaction d'XYZ s'est plantée dans les chiffres dans une « info-topo » du numéro 82. Un article présentant la conférence de presse organisée par « Télé-Atlas » (30 novembre 1999) sur les cartes numérisées accessibles via Internet (page 10), citait en particulier la performance en la matière de « ismap » ([www.ismap.com](http://www.ismap.com)).

Cette société diffuse mensuellement 1,7 million de pages (et non 1 million comme nous l'écrivions), couvrant toute la France en 2271 villes (et non 9 comme nous l'écrivions). Par contre, nous avions juste pour les 2 villes européennes diffusées, Londres et Bruxelles.

Que Marseille nous excuse d'avoir diminué la taille de la sardine!

(Europarc BC - Technopole de Château Gombert  
13013 Marseille- Tél. 04 91 35 50 14)

## L'escapade AFT-PACA

Partis à 17 ils étaient toujours 17 en arrivant à l'Oustaou de Mathias à Cavaillon pour le repas après la sortie-visite du TGV

Méditerranée le 14 mars dernier, accueillis à la base TGV de Cheval Blanc par Monsieur Dezetter, responsable communication. Près de Roquemaure, au nord d'Avignon, visite du chantier grandiose de pose automatique de la voie provisoire.

P. Cecchinell et F. Renault, organisateurs vous demandent de ne pas oublier vos suggestions pour les futures sorties de la profession.

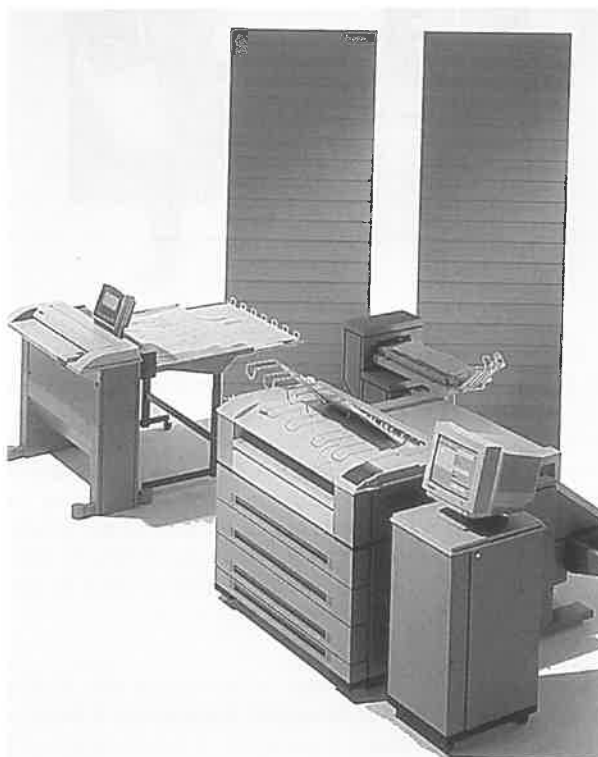


## Impression, archivage, diffusion, les solutions Océ

Océ, société européenne consacrée à la bureautique présente une offre quasi complète sur le marché. Elle lance actuellement un nouveau logiciel pour la gestion électronique de documents: Doc Manager, une déclinaison de logiciels de création de bases de données et d'organisation de documents techniques (outils d'archivage et d'extraction, personnalisation et prévisualisation aisées, gains de productivité garantis).

Sept solutions d'impression tous formats, dont:

### Océ 9600





Solution multifonctions, impression, copie, numérisation grands formats. Système doté d'une plate-forme logicielle intégrée Windows N.T. standardisé pour PC permet l'intégration de systèmes et une connectivité réseau souple et ergonomique. Deux combinaisons possibles de 2 à 6 bobines de papier, on peut y adjoindre 3 magasins d'alimentation feuille à feuille (A2 à A4). Seize configurations possibles du A0 au A4 en continu confèrent une autonomie et une souplesse remarquable.

### OCÉ 5 I 50



Par ce nouveau modèle, Océ complète sa gamme d'imprimantes à jet d'encre couleur en direction de la CAO et de l'AEC. La combinaison productivité/qualité (1 A0 en 6 minutes), la bonne résolution (720 dpi monochrome et 360 dpi couleur) en font un outil remarquable. Sa convivialité apporte un confort d'utilisation et une ergonomie qui permettent de bons résultats sans manipulations complexes. L'Océ 5 I 50 en adéquation avec la plupart des langages graphiques du marché, elle traite les fichiers HP/GL, HP/GL2, RTL, CC906/907, aussi bien que les formats TIFF en noir et blanc et couleur.

### OCÉ 9 300



Imprimante laser grand format spécialement adaptée pour les groupes de travail CAO et GED. Plus rapide qu'une imprimante jet d'encre elle peut produire 2 A0 par minute (intéressant pour tracés rapides de contrôle ou de pic de production). Alimentée par un ou deux rouleaux de 175 m, son réservoir de toner haute capacité produit jusqu'à 500 impressions. La haute qualité des tracés et des rendus est garantie par le laser. Les pilotes Océ (AutoCad par exemple) permettent de commander toutes les fonctions. Pilotable à distance grâce au logiciel Océ Plot Director pour Windows.

Signalons que Océ développe un partenariat avec Fujifilm concernant la distribution de support d'impression et de commercialisation de solutions d'impression. Ce partenariat vise à

apporter une solution globale en terme d'impression et d'imagerie pour les métiers de la photo professionnelle, des imprimeurs, des services de communication.

(OCÉ - 32 av. du Pavé Neuf - 3882 Noisy le Grand - CEDEX  
Tél. 01 45 92 50 00 - Fax 01 43 05 74 25)

### WalkNeXt chez Star Informatique

Avec la technologie STARNeXt, la société StarInformatique offre l'accès rapide par Intranet/Internet à de grandes bases de données dans la plupart des formats populaires du marché. Pour l'utilisateur STARNeXt se décline sous deux formes: une applet JAVA multifonctionnelle et hyper paramétrable ou une solution 100 % html.

Désormais cette solution WalkNeXt est accessible via un PALMTOP relié par modem à un GSM. Avec un navigateur et Windows CE, l'accès à distance à de très grandes bases de données s'effectue en quelques secondes avec une simplicité d'emploi maximale.

WalkNeXt est commercialisé sous forme d'un kit, ses illustrations sont accessibles sur le site [www.star.be](http://www.star.be) à la rubrique vip-journalistes-WalkNeXt.

(StarInformatique - Parc Scientifique du Sart-Tilman  
Av. du Pré Ailly 24 - B. 4031 Angleur  
Tél. + 32 4 367 53 13 - Fax + 32 4 367 17 11)

### NMG: deux nouvelles interfaces

Network Management Group (NMG), concentre son activité autour du système d'information technique, pour la gestion de données représentées sous une forme descriptive (documents, plans, schémas) ou sous forme dynamique (code 7, IP, GSM, Internet, TMN) permettant la supervision et l'administration des réseaux et des infrastructures. Après l'accord commercial et technique signé en mai 1999 avec Safe Software (Canada), la société enrichit FME® de nouveaux formats SIG européens avec FME-GeoCity qui permet d'importer et exporter toutes données en rapport avec GeoCity.

Notons que NMG, avec les équipes de SYSECA, viennent d'effectuer des modifications majeures dans GeoCity: un des gros problèmes des SIG était jusqu'à aujourd'hui la difficulté de stocker et manipuler des données géographiques sur un continuum géographique mondial. GeoCity, qui gère des coordonnées planes (x,y) gère désormais des coordonnées géographiques (longitudes, latitudes), ce qui lui permet d'assurer le stockage et la manipulation des objets sur une couverture mondiale.

D'autre part, NMG a développé une interface EDIGEO dans FME® (en lecture seulement), qui concerne le marché national, la norme étant utilisée par tous les acteurs du domaine des SIG. Avantage indéniable, le système permet d'importer des données EDIGEO dans n'importe quel SIG, notamment dans Oracle Spatial.

(NMG - 183 av. Georges Clemenceau - F - 92024 Nanterre  
CEDEX - Tél. 01 41 37 17 00 - Fax 01 41 37 17 38)

### NetGeo (Générale d'Infographie)

Générale d'Infographie, société créée en 1991, appartient au groupe GTIE. Elle emploie 89 ingénieurs en France et a pour vocation d'apporter une réponse personnalisée dans la mise en œuvre de SIG, en particulier dans les télécommunications. Les infrastructures, sont confrontées au problème de la mise à

jour exhaustive de la base de données décrivant leur patrimoine technique. Pour ce faire il faut des outils spécifiques qui permettent d'échanger les données selon des formats normalisés et de travailler en toute sécurité en environnement multi-utilisateurs.

La solution de Générale d'Infographie est NetGeo, application de type Windows d'ergonomie très intuitive et ne nécessitant pas de savoir faire informatique particulier.

- NetGeo Site: pour la gestion et la maintenance de parc de sites de télécommunications fixes ou mobiles.
- NetGeo Fibre: pour la gestion complète d'un parc d'infrastructures et du réseau associé.
- NetGeo Fibre Viewer: pour l'accès en consultation des données saisies et mises en forme par NetGeo Fibre.
- NetGeo Fibre Plus: pour la création des documents associés à la vision schématique et synoptique du réseau.

Les différents modules de NetGeo sont dédiés à des postes ayant les caractéristiques minimales suivantes: type PC sous Windows® ou Windows NT - Pentium mémoire 64 Mo, processeur 300 MHz - Disque dur de 2 Go minimum - Carte graphique avec 4 Mo RAM et résolution 1 024 x 768 pixels.

(Générale d'Infographie - Novaxis II - 2 allée des Gêmeaux  
72 100 Le Mans - Tél. 02 43 39 20 00 - Fax 02 43 39 20 01)

### **Spectra Precision dans la fosse aux lions**

On connaît la gamme des produits de cette société présente dans tous les numéros de notre revue: stations totales, systèmes GPS, niveaux électroniques, laser, systèmes de guidage d'engins, etc.

Fin mars elle organisait la première conférence européenne de ses distributeurs, à Vienne en Autriche, six mois après la fusion de la société et de la division géodésique de Carl Zeiss Jena GmbH, dont nous vous avons tenu informés dans nos pages (voir XYZ 80).

Le but était de remercier les quelque 60 distributeurs pour leur engagement important envers l'entreprise et son organisation commerciale. Un Lion a été choisi comme emblème de cette conférence et, pour l'illustrer, une visite au zoo de Vienne était organisée. C'est dans l'ancienne cage aux lions du zoo que fut remis un don symbolique de 20 000 schillings aux administrateurs pour la construction d'un nouveau parc aux lions.

### **35<sup>e</sup> Congrès National de l'Ordre des Géomètres Experts - TOURS**

Les 14-15 et 16 juin 2000, sous la présidence de Louis Besson, secrétaire d'État au logement, et André Radier, président du Conseil Supérieur de l'Ordre G.E. *Thème du Congrès*: « Compétences et partenariat », le géomètre expert, une compétence au cœur d'un partenariat.



### **SEMINAIRE AFT/ESRI - France 8 juin 2000 - 14 h Auditorium Saint-Germain - PARIS**

Thème :

Topographie : les nouvelles solutions Géomatiques au service des professionnels DAO et SIG, Photogrammétrie numérique, technologies nomades.

Organisé avec le soutien de l'AFT.

La conférence a été l'occasion pour la société de dévoiler ses nouvelles stratégies et, en particulier l'implantation au niveau mondial de deux programmes, CPI (Continuous Process Improvement), c'est-à-dire l'amélioration en continu des procédures, et CDIM (Customer Integrated Decision Making), intégration du client dans le processus de prise de décision.

Ce programme a d'ailleurs été appliqué pour la première fois pour le nouveau laser d'assainissement « Dialgrade », utilisé dans la construction de canalisations.

(Spectra Precision - Parc Hightec VI - av. du Canada  
Les Ulis - 91 966 Courtabœuf CEDEX  
Tél. 01 69 18 63 30 - Fax 01 69 18 63 27)

### **Radian™ chez POSeA**

POSeA, spécialiste des solutions GPS en France, élargit aujourd'hui sa gamme de systèmes complets et propose le Radian™.

Radian™ est un système GPS bifréquence qui répond à tous types d'applications de topographie. Il garantit une précision centimétrique, en temps réel, pour les mesures statiques et cinématiques (RTK). La transmission des corrections différentielles se fait soit par radio, type UHF/VHF, soit par GSM, permettant ainsi de s'affranchir des problèmes de portée. Il est également fourni avec son logiciel de post-traitement qui, de façon très conviviale, traite les solutions en mode statique, rapide statique et cinématique avec une précision millimétrique.

POSeA sera présent au salon mondial de la navigation NAVSAT 2000, se déroulant au CNIT de Paris la Défense les 6, 7 et 8 juin prochains.

(POSeA - 33 av. Philippe Auguste - 75011 Paris  
Tél. 01 48 05 11 00 - Fax 01 48 05 11 22  
www.posea.com - E-mail: info@posea.com)

### **Journée de la toponymie**

L'AFT, section régionale Île de France, et le lycée Jean-Pierre Timbaud de Brétigny sur Orge organisaient une journée de la toponymie le 19 avril dernier.

80 personnes ont assisté aux différentes conférences assurées par M<sup>me</sup> Couchard, professeur de lettres (aspects linguistiques), M<sup>me</sup> Mulon, des Archives Nationales et auteur de « Noms de lieux en Île de France », M. Eyssidieux, de la division toponymie de l'IGN, M. Bessière du Service du Cadastre (DGI).



## ANNONCES

### • 83-1 – À vendre :

Un théodolite Wild T1600, un distancemètre Wild DI 1001, un carnet de terrain informatique Wild GREA, une canne télescopique GLS11, un prisme GPHJA, deux batteries Wild GEB70, un chargeur GKL12, un oculaire coudé, deux trépieds GST20, un ensemble de polygonation comprenant une embase, un porteur, un voyant. Le tout pour 35 000 FHT.

Un niveau automatique de précision Wild NA2, un micromètre à lame plan parallèle Wild GPM3, une mire industrielle Wild GWL182, un trépied GST20. Le tout pour 13 000 FHT.

→ Écrire à la revue ou Tél. 01 30 16 46 70.

### • 83-2 – Restituteur photogrammètre

30 ans d'expérience dont 10 en indépendant. Travaille sur tous matériels et peut renforcer les équipes lors des surcharges. Disponible pour séjour à l'étranger.

→ Écrire à la revue ou Tél. 01 39 64 68 56.

### • 83-3 – Contrat en alternance

JH - Lycée Violet le Duc à Villiers St Frédéric (78 460), recherche contrat en alternance pour préparation d'un BTS Topographe. Région parisienne, à compter de septembre 2000.

→ Écrire à la revue ou Tél. 06 19 58 64 42.

### • 83-4 – Offre d'emploi

EDF/CNEPE recherche un jeune technicien titulaire du BTS Géomètre Topographe pour sa division topographie. Lieu de travail : Lyon.

→ Écrire à la revue ou Tél. 02 47 21 20 01.

### • 83-5 – Ingénieur des Ventes

TOPCON SARL - Fabricant et distributeur d'instruments de topographie, recherche pour le secteur Grand Sud-Est, un Ingénieur des Ventes, de formation Géomètre

→ Envoi des Candidatures à TOPCON - 89 rue de Paris - 92585 Clichy CEDEX - Fax 01 47 39 02 51.

(Autres annonces en page 8)

## SUR NOTRE AGENDA

16-21/05/2000 INTERMAT - Paris-Nord Villepinte.

8/06/2000 Séminaire AFT/ESRI - Paris - Renseignements à l'AFT ou ESRI: Tél. 01 46 23 60 60 - Fax 01 45 07 05 60.

6-7-8/06/2000 NAVSAT 2000 (Mondial de la navigation par satellites)  
XXL Communication: Tél. 01 56 05 07 51 - Fax 01 56 05 07 49.

8/06/2000 Séminaire AFT/ESRI France - Auditorium St-Germain à Paris - Renseignements à l'AFT.

14-16/06/2000 Congrès OGE-Tours « Les Géomètres Experts au cœur du partenariat ».

20-21/06/2000 Journées GPS 2000 - LCPC Nantes - Tél. 02 40 84 56 23 - Fax 02 40 84 59 92.

26-30/06/2000 Conférence annuelle ESRI - San Diego (USA) - Tél. 1 (909) 793 2853 - Fax 1 (909) 793 5953.

3-6/07/2000 2<sup>e</sup> conférence européenne sur le contrôle des structures - ENPC - Champs sur Marne.

16-23/07/2000 ISPRS 2000 « Géoinformation pour tous »  
Amsterdam (NL) - Tél. 31 (53) 487 4358 - Fax 31 (53) 487 4335.

18-22/09/2000 Séminaire des commissions FIG n° 2-4-5-6-7 - Malte.

19-22/09/2000 ION GPS 2000 - Salt Lake City (USA).

28/09/2000 Forum Technique GPS-ENSG à Marne la Vallée - de 9h à 17h - Entrée libre.

5-6/10/2000 23<sup>e</sup> colloque AFT - Les SIG et la gestion des espaces ruraux et urbains  
ESGT - Le Mans - Renseignements à l'AFT.

5-7/10/2000 INNOBAT - Salon professionnel de la construction  
Région Aquitaine - EUSKADI-Navarre - Tél. 05 59 31 11 66 - Fax 05 59 31 03 98.

11-13/10/2000 INTERGEO (84<sup>e</sup> Geodatenstag) - Berlin (D).

8-9/11/2000 Gr2C - Colloque sur le risque et le génie civil - Unesco - Paris - Tél. 01 44 13 32 79 - Fax 01 43 59 68 30.

# SERVICES GEOGRAPHIQUES Toulouse

CENTRE DE FORMATION AUX TECHNIQUES GEOGRAPHIQUES  
Systèmes d'Information Géographique (S.I.G.), Cartographie Assistée par

## Ordinateur, ... Les stages 2000

*Des stages orientés vers le monde professionnel  
Des prix étudiants et demandeurs d'emploi*

FORMATIONS	Durée	Prix Professionnel	Prix Etudiant et Demandeur d'emploi	Dates
<b>SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE</b>				
CONCEPTS DE BASE DES S.I.G. <i>Notions élémentaires indispensables</i>	3 jours	3600 F	1800 F	Du 13 au 15 juin Du 19 au 21 juillet
DECOUVERTE DES S.I.G. <i>Les notions de base, les données, les logiciels</i>	5 jours	3500 F	1500 F	Du 26 au 30 juin
APPRENTISSAGE D'UN LOGICIEL S.I.G. <i>connaissance des S.I.G. nécessaire</i>	MAPINFO	3600 F	2600 F	Du 15 au 17 mai Du 24 au 26 juillet
	ARCVIEW			Du 28 au 30 juin
	MAPINFO/ ARCVIEW			Du 10 au 12 juillet
S.I.G. NIVEAU II <i>Approfondissement et pratique.</i>	5 jours	3500 F	1500 F	Du 3 au 7 juillet
S.I.G. RENFORCE <i>Bases, pratique, projets.</i>	4 semaines	8320 F	4160 F	Du 4 au 29 septembre
APPRENTISSAGE DES BASES DE DONNEES (ACCESS) <i>Notions de bases de données, liens avec les S.I.G..</i>	3 jours	3600 F	2000 F	Du 17 au 19 juillet
DECOUVRIR UN MACROLANGAGE S.I.G. <i>Les bases d'un macrolangage S.I.G.</i>	MapBasic	3600 F	2600 F	Du 3 au 5 mai
	Avenue			Du 10 au 12 mai
REALISER DES CARTES <i>Pour mieux faire ses cartes...</i>	4 jours	4500 F	2500 F	Du 9 au 12 mai
UTILISER UN MACROLANGAGE S.I.G. <i>Les bases de la programmation et l'apprentissage de MapBasic.</i>	2 semaines	10000 F	6000 F	Du 17 au 28 juillet
<b>DESSIN ASSISTE PAR ORDINATEUR (STAGES AGREES PAR LE FAF-PL POUR LA FORMATION DES GEOMETRES)</b>				
INITIATION AU LOGICIEL AUTOCAD V. 2000	3 jours	3600 F	2000 F	Du 19 au 21 juin 2000
MAITRISE DU LOGICIEL AUTOCAD V. 2000	2 jours	2400 F	1500 F	Les 22 et 23 juin 2000
INITIATION AU LOGICIEL AUTOCAD MAP 2000	2 jours	2400 F	1500 F	Les 26 et 27 juin 2000
CONCEPTS DE BASE DES S.I.G. POUR LES GEOMETRES	3 jours	3600 F	2000 F	Du 13 au 15 juin 2000
S.I.G. POUR LES TECHNICIENS GEOMETRES <i>Bases et pratiques des outils S.I.G. pour les Géomètres Topographes</i>	7 semaines	20.000 F	10.000 F	Du 19 juillet au 1 <sup>er</sup> septembre
<b>POUR LES SALARIES ET DEMANDEURS D'EMPLOI :</b>				
METHODES ET TECHNIQUES DES S.I.G. <i>Acquérir une maîtrise des outils S.I.G. suffisante pour une pratique professionnelle.</i>	16 semaines	31.000 F	13 440 F	D'avril à juillet 2001
<b>POUR LES ETUDIANTS:</b>				
TECHNICIEN SUPERIEUR SPECIALISE EN SIG-CARTO <i>Un an, dont 6 mois en milieu professionnel. (Formation EPTEGE)</i>	12 mois		28.000 F	Octobre 2000 à Septembre 2001

**Nouvelles sessions à partir de septembre... nous contacter**

*Une documentation est disponible sur simple demande ou sur le site web*

**f Un matériel informatique performant et adapté**

**f 6 ans d'expériences et des références :** ONF, CNASEA, IFREMER, Universités, Géomètres-Experts, ORSTOM, Agences de l'Eau, collectivités locales, DDE, INC Gabon, Société Géoimage, Latitude, Géodata,...

**f Hébergement** possible sur place à prix réduits (étudiants).

### SERVICES GEOGRAPHIQUES

*Organisme de formation continue à but non lucratif*

**75 avenue de Grande-Bretagne, 31300 TOULOUSE**

**Tél.: 05 34 50 50 34 - Fax: 05 34 50 50 31**

**E-Mail : SGE@compuserve.com - Site INTERNET : <http://perso.libertysurf.fr/sge/>**

# VUES AERIENNES METRIQUES

TOUTES ÉCHELLES - TOUTES ÉMULSIONS :  
POUR TOUTES APPLICATIONS



**AU SERVICE DES AMENAGEURS**

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

Téléphone : 04.42.60.05.45 • Télécopie : 04.42.24.26.04

## **Olivier Reis**

*Ingénieur géomètre-topographe ENSAI Strasbourg*

*Diplômé de l'Institut de traducteurs et d'interprètes (ITI) de Strasbourg*

*9, rue des Champs F-57200 SARREGUEMINES*

*Téléphone : 03 87 98 57 04 Télécopie : 03 87 98 57 04 E-mail : o.reis@infonie.fr*

Pour toutes vos traductions d'allemand et d'anglais en français en  
**topographie - géodésie - photogrammétrie - SIG - cartographie - GPS**

## **Reinhart Stölzel**

*Ingénieur géomètre-topographe*

*Interprète diplômé de la Chambre de commerce et d'industrie de Berlin*

*9, rue de l'Europe - F-67560 ROSHEIM*

*Téléphone : 00 33 3 88 49 24 14 E-mail : Stoelzel@t-online.de*

Pour toutes vos traductions de français et d'anglais en allemand en  
**topographie - géodésie - chemin de fer - routes**

## **Paul Newby**

*Membre de la Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS)*

*Diplômé des universités de Cambridge (géographie) et de Londres (photogrammétrie)*

*9 Merrytree Close, West Wellow, Romsey, Hants SO51 6RB GB*

*Téléphone : 00 44 1794 322 993 Télécopie : 00 44 1794 324 354 E-mail : xav40@dial.pipex.com*

Pour toutes vos traductions de français en anglais en  
**topographie - géodésie - GPS - SIG - cartographie - photogrammétrie - télédétection**

***Des topographes traducteurs à votre service***



■ Depuis 1991, l'altimètre d'ERS, satellite européen, permet de mesurer la topographie de la surface de 80 % de l'Antarctique et de la totalité du Groenland. La topographie de surface est une donnée essentielle: elle permet de contraindre les modèles, de les tester ou de les initialiser. Les processus physiques qui agissent sur la glace se manifestent à travers les différentes signatures de la surface dont l'analyse permet d'améliorer la modélisation de l'écoulement. ■

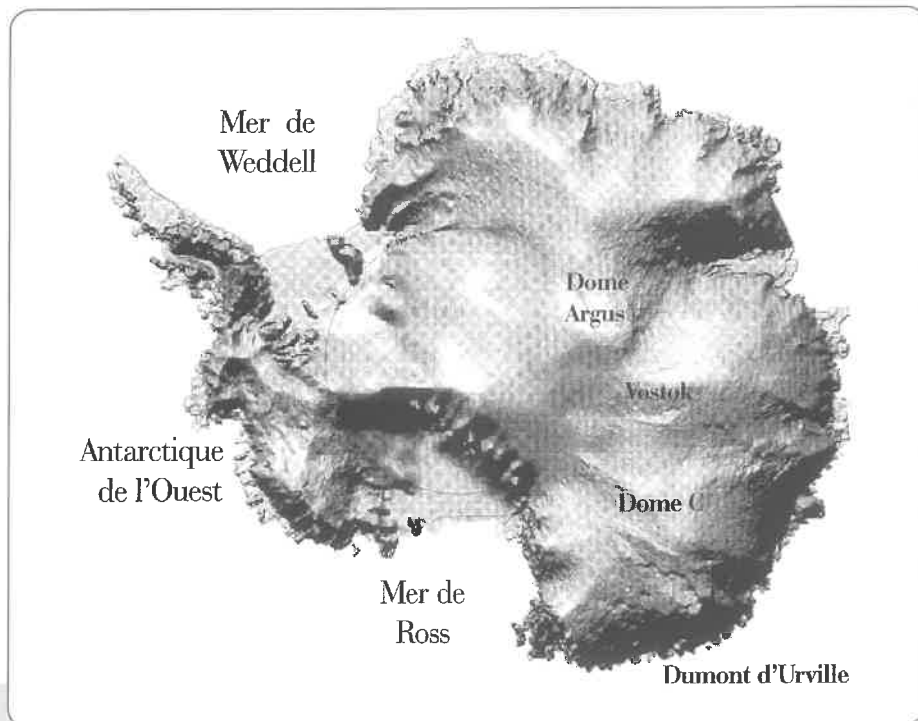


Figure 1 - Carte de la topographie de l'Antarctique, obtenue à partir de l'orbite géodésique d'ERS1. L'altitude dépasse 4 000 m à Dôme Argus. La topographie au sud du parallèle 82°S (cercle) est empruntée à une compilation de mesures in situ.

## topographie des calottes glaciaires par altimétrie satellite

Frédérique Rémy - LEGOS (CNES-CNRS-UPS)

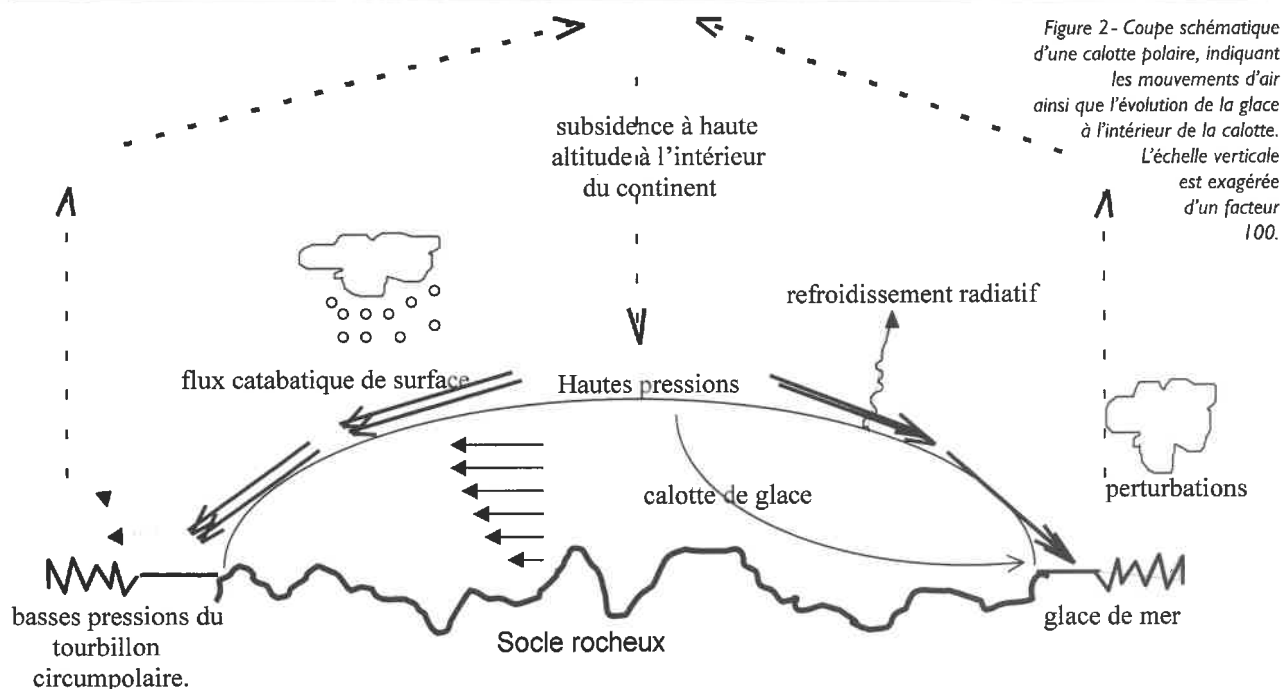
### Introduction

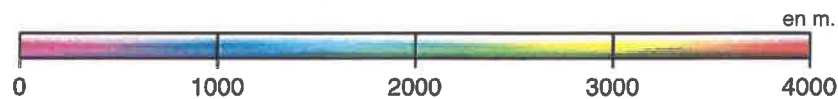
Depuis environ dix ans, l'arrivée de nouveaux satellites de télédétection a révolutionné notre connaissance des océans, mais aussi des calottes polaires du Groenland et de l'Antarctique (80 % en raison de l'orbite). Frédérique Rémy et son équipe du CNES travaillant sur les calottes polaires sont internationalement reconnues comme les plus performants.

En altimétrie, la complexité du milieu neigeux ne permet actuellement d'atteindre que la précision du mètre, contre quelques centimètres en océanographie. Le lancement l'an prochain du nouveau satellite européen ENVISAT et une amélioration des traitements accroîtront la précision d'un facteur 10 indispensable si l'on veut obtenir des bilans de masse, car ces calottes polaires sont des déserts avec des précipitations très faibles. D'ailleurs, il faudrait aussi obtenir une topographie du socle rocheux ou liquide!

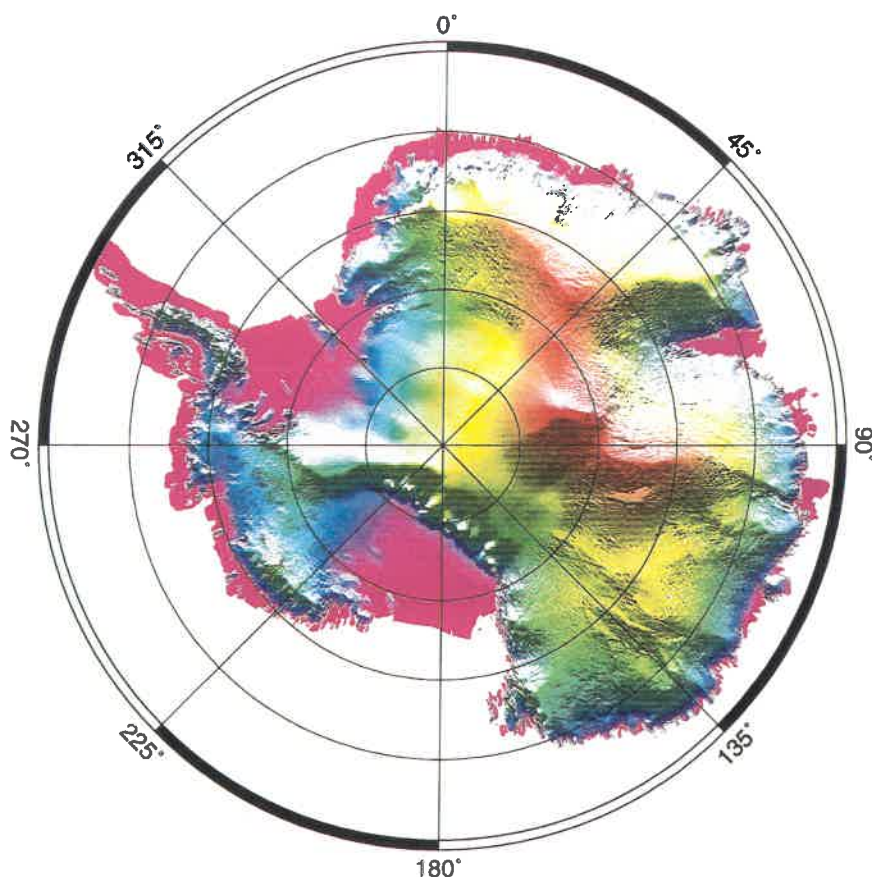
En glaciologie, d'autres équipements embarqués donnent une topographie dynamique, décrivant l'écoulement inégal de cette glace, soumise à des variables complexes. Depuis deux siècles, l'homme, à la recherche du développement agricole et industriel a inconsciemment modifié le climat de notre planète. Soudain, la recherche scientifique lui révèle les conséquences possibles; effrayé, aura-t-il le courage de prendre en temps voulu les mesures nécessaires pour éviter les drames économiques et humains?

Bertrand Imbert - Chef des expéditions polaires françaises en Antarctique pour l'AGI (1956-1958)





## Topographie de l'Antarctique



### Le continent antarctique

L'Antarctique est un continent dont le socle est presque entièrement recouvert de glace. Avec une surface de 14 millions de km<sup>2</sup> et une épaisseur moyenne de glace de 2200 m, pouvant dépasser 4000 m par endroit, ce continent représente 90 % de la glace terrestre et contient l'équivalent de 70 m du niveau d'eau des océans. Il reste encore, de nos jours, un continent peu connu et soumis à des mécanismes qui ne sont pas encore tous compris. C'est le continent le plus froid, le plus haut, le plus sec et le plus venté de la Terre. La température en surface décroît des côtes vers l'intérieur de -15 °C à -60 °C en moyenne. L'air froid et dense du centre dévale les pentes en créant des vents catabatiques, vents forts et persistants. À Dumont d'Urville, la vitesse moyenne du vent est de 40 km/h, le maximum pouvant atteindre 3 ou 4 fois cette valeur. Ces vents sculptent la surface de la calotte, de l'échelle centimétrique (microrugosité) à l'échelle métrique (sastruggi, dunes de neige créées par érosion de la surface), mais aussi déplacent localement une grande quantité de neige ou contribuent à des phénomènes d'érosion tels la sublimation.

En Antarctique, il ne neige que quelques centimètres par an à l'intérieur du continent et quelques dizaines de centimètres en zone côtière. Cela représente toutefois environ 2200 gigatonnes de neige déposées chaque année, soit l'équivalent de

6 mm du niveau des océans. La répartition spatiale et temporelle de l'accumulation de neige est relativement peu connue. Les modèles suggèrent une composante annuelle et une semi-annuelle alors que l'analyse fine des composantes annuelles et semi-annuelles du niveau de la mer peut s'expliquer parfaitement sans faire appel aux calottes polaires. Une des difficultés réside dans l'appréciation de l'écart entre les précipitations de neige, estimées par les modèles atmosphériques, et les taux d'accumulation effectifs, estimés in situ. L'écart entre les deux termes est dû à l'érosion, au dépôt ou au transport de la neige par le vent, ainsi qu'à la sublimation. Le rôle du vent sur la rugosité ou l'érosion, l'importance du transport de neige ou de l'érosion de la surface sont des processus encore mal compris.

L'ensemble de cette neige s'enfonce, se transforme en glace et s'écoule très lentement jusqu'à la côte où elle est évacuée sous forme d'iceberg (Figure 2). Les vitesses sont extrêmement faibles au centre, inférieures au m/an, et atteignent quelques 100 m/an dans certains glaciers émissaires. La neige tombée au centre de l'Antarctique met plusieurs centaines de milliers d'années avant de retourner à la mer. Ce long temps de résidence fait des calottes polaires les archives glaciaires de la terre. Les carottages de Vostok en Antarctique ou GRIP au Groenland permettent de remonter l'histoire climatique sur plusieurs cycles de transition entre période glaciaire et périodes interglaciaires. Les processus physiques qui permet-

tent à la glace de se déformer ou de glisser, le rôle des conditions limites à la côte ou l'effet des contraintes longitudinales (de traction ou de compression) sur la glace font l'objet de nombreuses controverses.

Ces chiffres, taux d'accumulation et de perte, sont actuellement évalués avec une faible précision, de l'ordre de 20 ou 30 %, ce qui entraîne beaucoup d'incertitudes sur son équilibre climatique. Pourtant, l'importance de son cycle annuel en terme de niveau des océans fait qu'une évolution de quelques % du bilan pourrait avoir des répercussions majeures sur le niveau de la mer. Les causes de déséquilibre sont si nombreuses et si incertaines qu'il est très difficile de les modéliser et de connaître même le signe du bilan de masse. En effet, autant les taux de précipitation ou l'évaporation suivent instantanément les variations climatiques, autant il faut des dizaines de milliers d'années pour qu'une fluctuation de température se propage vers la base de la glace et modifie de façon notable l'écoulement. La variation de volume en Antarctique est donc due à l'intégrale des différents effets des perturbations climatiques depuis environ 100 000 ans. Le cas de l'Antarctique de l'Ouest est encore plus complexe. En effet, son socle rocheux est en partie enfoncé par le poids de la glace sous le niveau de la mer et une part importante de l'écoulement met en jeu des fleuves de glace rapide s'écoulant vers des plates-formes de glace flottante, processus dont le temps de réponse aux variations climatiques est potentiellement plus court. La question de sa stabilité est régulièrement soulevée.

Si l'on veut un jour pouvoir prédire l'évolution des calottes et leur contribution au niveau des océans, il faut donc être non seulement capable d'estimer les variations de volume mais aussi d'en expliquer les causes. Pour comprendre, modéliser, prédire l'évolution des calottes polaires, exploiter les informations qu'elles contiennent, il est nécessaire de connaître les processus physiques, climatiques et dynamiques qui les contrôlent. La taille de ces continents, les difficultés d'accès, les conditions météorologiques rudes (vent et température), rendent difficiles les mesures in situ et font de la cartographie de l'Antarctique par les différents systèmes de télédétection un outil de prédilection (voir article de Christophe Podevin dans XYZ n° 77, 4<sup>e</sup> trimestre 1998). Parmi les paramètres mesurables, la topographie de la surface est probablement l'un des plus déterminants : elle permet de contraindre les modèles d'évolution dynamique des calottes, de les tester, de les initialiser ou de mettre en évidence les processus physiques. Le suivi de la topographie permet d'estimer les variations de volume des calottes et leur contribution au niveau des océans.

## Altimétrie satellite

L'altimétrie par satellite a été initialement conçue pour l'observation des océans. Le principe est simple : il s'agit de mesurer le temps aller-retour d'un signal émis à la verticale et réfléchi par la surface pour en déduire la distance entre le satellite et la surface. Une fois prise en compte l'orbite précise du satellite (la distance entre le satellite et une surface de référence), les délais de propagation des ondes à travers l'atmosphère et l'ionosphère, l'effet d'état de la mer, les biais instrumentaux et les marées terrestres et océaniques, la précision affichée de l'instrument, moyennée sur quelques kilomètres, approche le centimètre. Une telle précision de l'altimètre Topex-Poseidon permet, par exemple, d'estimer l'élévation du niveau de la mer avec une précision de 0,2 mm/an.

L'observation des surfaces terrestres et en particulier des calottes polaires présente des difficultés spécifiques liées à leur caractère accidenté et à la pénétration plus ou moins grande

des ondes dans le milieu. La pente de la surface observée décale la position du point de mesure par rapport à la zone visée. Les algorithmes de poursuite des radars altimètres ne sont pas adaptés au suivi précis des ondulations de la surface. À la longueur d'onde utilisée par l'altimètre (2,3 cm ou bande Ku), l'onde électromagnétique pénètre dans la neige très froide et sèche si bien que la réflexion ne provient pas uniquement de la surface mais des couches superficielles. Cette pénétration de l'onde dans le milieu induit un décalage entre le point d'observation et la surface physique. L'effet de la pénétration sur la restitution de la hauteur est d'autant plus complexe qu'il se combine à une surface naturelle plus ou moins rugueuse. Cette erreur est de loin la plus délicate à prendre en compte. En effet, difficilement estimable car la neige est un milieu très complexe, elle est probablement variable au cours du temps ou des saisons. Ceci rend imprécise l'interprétation des séries temporelles de mesure de hauteur des calottes car il faut corriger l'évolution de la hauteur des dérivés de cette erreur liées aux changements d'état de la neige. En revanche, l'analyse de l'ensemble des observations altimétriques nous donne des informations sur les premiers mètres de neige, reliées plus ou moins directement aux taux d'accumulation, au régime des vents ou à la stratification, excellents indicateurs de l'évolution climatique actuelle.

En 1978, la NASA lançait le satellite altimétrique Seasat dont l'inclinaison de 72° permettait le survol de la moitié sud du Groenland et d'un secteur de l'Antarctique. En 1983, des Américains se servirent des mesures altimétriques de Seasat pour estimer la topographie des régions survolées par ce satellite. En 1991 le satellite européen ERS-1, embarquant un altimètre, a permis d'observer pour la première fois la topographie de surface de 80 % de l'Antarctique et de la totalité du Groenland. ERS-1 a été placé successivement sur des orbites survolant le même point tous les 3 jours ou tous les 35 jours, permettant l'étude locale de la variabilité à l'échelle météorologique ou saisonnière. D'avril 1994 à mars 1995, ERS-1 a été placé sur une orbite dite géodésique ne repassant jamais au-dessus d'un même point, apportant une excellente résolution spatiale : environ 30 millions de formes d'onde ont permis de cartographier la topographie de surface des calottes polaires avec une résolution de 2 km (figure 1). La précision de ces cartes, estimée par méthodes inverses ou par comparaison des mesures au point de croisement des orbites montantes et descendantes, est meilleure que le mètre dans les régions centrales. Elle peut cependant dépasser le mètre près de la côte, notamment à cause de la variabilité de la topographie et de la pente de la surface qui y sont plus fortes.

## Topographie et dynamique de l'antarctique

La surface des calottes polaires est une surface libre. Du kilomètre à la centaine de kilomètres, le relief est très marqué par tous les processus dynamiques ou climatologiques, actuels et passés, qui en contrôlent l'évolution. La connaissance de la topographie permet de contraindre les modèles d'écoulement, d'estimer la rhéologie de la glace ou de décrire des mécanismes physiques présents, tant à l'échelle globale que locale. Même si certaines signatures de la topographie de surface ont été découvertes et partiellement expliquées il y a déjà plusieurs décennies à la suite des premières expéditions scientifiques l'altimétrie spatiale en permet de nos jours une description beaucoup plus fine.

Au premier ordre et à échelle globale, le relief des calottes est « quasi parabolique » comme tout corps plastique reposant sur



un socle: de la côte vers le centre, la hauteur augmente et la pente de surface diminue. Sur plus de 1 000 km, la pente est inférieure à quelques m. par km. À cette échelle, le relief est essentiellement contrôlé par la distance à la côte. Il reflète l'équilibre entre précipitations neigeuses et évacuation de la glace et dépend, par conséquent, des conditions climatiques et des lois de la dynamique. La glace s'écoule dans la direction de la plus grande pente. La topographie nous permet donc d'estimer les vitesses d'écoulement. Celles-ci sont inférieures à 1 m/an près des dômes et le long des lignes de séparation des bassins, et atteignent 100 m/an au bord. On observe des chenaux d'écoulement rapide dont l'effet se fait sentir jusqu'à plusieurs centaines de km à l'intérieur du continent. L'observation de la situation sur l'ensemble du pourtour Antarctique fait apparaître que 80 % des glaces transitent par seulement 20 % des côtes.

Une analyse précise de la topographie permet aussi de visualiser le drainage de la glace: la figure 3 représente l'anomalie de hauteur dans le sens perpendiculaire à la direction de l'écoulement, estimée en calculant la courbure de la topographie dans cette direction à l'échelle de 100 km. À la côte, cette valeur est étroitement contrôlée par les vallées observées du socle rocheux, ce qui suggère que ces anomalies ont leur cause près de la côte et traduisent l'existence de glaciers émissaires rapides ou lents. Cette anomalie se transmet jusqu'à l'intérieur du continent, suggérant la direction du drainage et des lignes d'écoulement. On peut ainsi établir que la vitesse de chaque chenal et donc la topographie à l'échelle globale est aussi contrôlée par les vitesses d'écoulement des glaciers émissaires: Les lignes bleues d'écoulement rapide sont légèrement concaves et par conséquent plus basses que les lignes jaunes d'écoulement lent. Ceci permet de séparer visuellement les différents bassins de drainage. On peut ainsi imaginer que le niveau de la mer qui affecte la vitesse d'écoulement des émissaires à la périphérie, a un effet sur la forme de toute la calotte. Enfin, on peut aussi constater que le long de la côte,

les chenaux lents et rapides alternent de façon régulière, avec une longueur d'onde de 250 km, ce qui est interprété comme un effet de rétroaction complexe entre les vitesses des glaciers et l'érosion du socle rocheux.

Aussi, la région de Vostok, où se situe le carottage Russe permettant l'analyse de près de 460 000 ans d'archives glaciaires (figure 4) est assez reconnaissable par un plateau de près de 250 km de long sur quelques dizaines de km de large. À cet endroit, la fonte de la glace basale engendre du glissement: il y a donc un relâchement des contraintes qui se traduit par une diminution de la pente de la surface. Ce plateau est entouré d'un bourrelet qui pourrait être expliqué par les contraintes longitudinales induites par la transition entre déformation et glissement, lesquelles peuvent ainsi être mieux décrites.

## Conclusion

Beaucoup de signatures de la topographie de surface des calottes restent inexplicables et contiennent encore matière à améliorer notre connaissance de l'écoulement des calottes. En 2001, l'Agence Spatiale Européenne lancera la plate-forme ENVISAT dont l'altimètre a pour tâche d'assurer la continuité des observations des satellites ERS1 et ERS2. L'Agence Spatiale Européenne vient également de décider la mission CRYOSAT, dédiée à l'étude des glaces continentales et aux glaces de mer. La NASA, quant à elle, lancera en 2001 le satellite ICESAT embarquant un altimètre laser, qui devrait cartographier de façon exacte la surface des calottes polaires avec une résolution horizontale exceptionnellement fine de 20 m et une précision sur la hauteur de quelques cm. L'apport de ces missions devrait totalement révolutionner nos connaissances sur la dynamique des calottes polaires et leur contribution sur l'évolution du climat de la Terre.

frederique.remy@cnes.fr

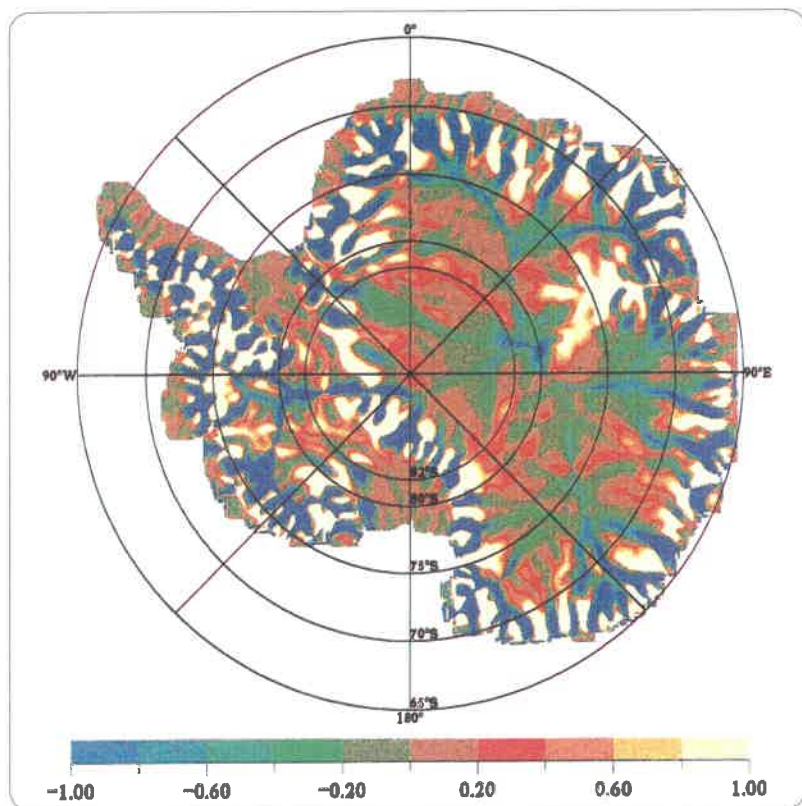


Figure 3 - Anomalie de hauteur perpendiculaire à l'écoulement, en mètre, estimée à partir de la courbure sur 100 km dans cette direction. Les chenaux jaunes correspondent à des chenaux lents, les chenaux bleus correspondent à des chenaux plus rapides.

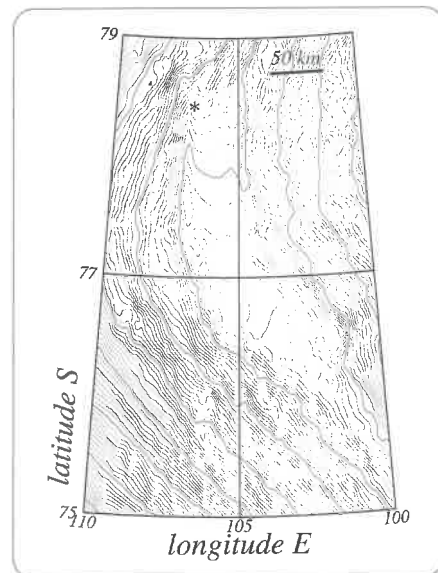


Figure 4 - Topographie de la région de Vostok. L'étoile situe le carottage (78,5°S, 106,8°E). La présence d'un lac à plus de 3 500 m de profondeur provoque du glissement qui se traduit en surface par un relâchement des contraintes donc à une diminution de la pente. On peut observer un bourrelet contourant le lac qui est la marque de la transition brusque entre glissement et déformation.

**ZEISS**

## Des marques de référence



Robustesse, précision et fiabilité. Telles sont les exigences des professionnels de la topographie pour leurs instruments. Les produits de Spectra Precision ont ces qualités.

Avec des marques telles que Elta®, DiNi®, Geodimeter® et Geodat® Win, Spectra Precision a défini des standards dans le domaine de la topographie d'hier et d'aujourd'hui, grâce à des systèmes innovants qui répondent aux besoins des géomètres.

En optant pour ces instruments vous choisissez un partenaire de grande renommée : Spectra Precision.

 **SPECTRA™  
PRECISION**  
[www.spectraprecision.com](http://www.spectraprecision.com)

Spectra Precision S.A. • Parc Hightec VI • 9 avenue du Canada • Les Ulis • 91966 COURTABOEUF CEDEX  
Tél.: 01 69 18 63 30 • Fax: 01 69 18 63 27

**Présent au congrès national des géomètres-experts, à Tours, 14, 15, 16 juin, stand 19**



# Stations Totales

## Caractéristiques:

- Système MS-DOS
- Carte mémoire PCMCIA
- Haute précision (ATS-101: 1")
- Ecran graphique
- Détecteur atmosphérique automatique
- Compensation triaxiale
- Télécommande alphanumérique

## Programme en français:

- Fichier
- Lever
- Relèvement
- Implantation
- Surface
- Distance entre points
- Axe
- Gabarit

## Série ATS

**ATS-101**  
**ATS-102**  
**ATS-105**



# PENTAX®

CERTIFIE ISO 9001

## PENTAX France

12-14 rue Jean Poulmarch - BP 204 - 95106 Argenteuil cedex

Tél: 01 30 25 75 75 - Fax: 01 30 25 75 76

Région Centre	P. Casas	Tél/Fax: 04 73 31 05 10
Région Sud-Est	A. Guirand	Tél/Fax: 04 42 50 68 83
Région Sud-Ouest	F. Bernata	Tél/Fax: 05 59 83 23 72

Présent au congrès national des géomètres-experts, à Tours, 14, 15, 16 juin, stand 13



■ *L'objet de cet article est l'évolution à long terme du niveau des mers, loin du fond sonore médiatique qui prédit des catastrophes planétaires, avec réchauffement et effets de serre, hausse diabolique du niveau des océans.*

*Mais la question de l'élévation récente de ce niveau n'est cependant pas simple, et la marégraphie s'y pointe bien sûr au premier plan pour analyser les mesures.*

*Après les informations et les scoops, écoutez les scientifiques nous remettre les choses à niveau. ■*

# Suivi du niveau moyen de la mer par marégraphie et gps

**G. Wöppelmann**  
SHOM

**B. Simon**  
SHOM

**C. Boucher**  
IGN

## INTRODUCTION

Force est de constater que la marégraphie n'est pas devenue un simple outil de calibration comme d'aucuns le prédisaient avec l'avènement de l'altimétrie radar embarquée sur satellite. La marégraphie apparaît clairement comme une technique complémentaire par la nature même de ses mesures, côtières ou de grands fonds, à échantillonnage temporel élevé, couvrant de longues périodes de temps, parfois séculaires.

Les marégraphes sont de fait un moyen indépendant de vérifier la conformité des conséquences des théories de l'océanographie avec l'observation. Cela est vrai de manière générale, quelle que soit l'origine de ces théories, mais il faut reconnaître que l'altimétrie radar a fortement contribué à l'amélioration de nos connaissances en océanographie ces dernières années. Aussi, le caractère indépendant de la mesure des marégraphes revêt une importance particulière pour valider ces nouvelles connaissances.

Le terme de marégraphe est souvent associé à tort à la fonction de mesure de la marée, alors qu'en réalité il mesure des hauteurs d'eau dont l'exploitation sert effectivement à l'étude, à la détermination et à la prédiction de la marée. Mais, nombreux sont les processus physiques, autres que la marée, qui affectent le niveau de la mer. Il convient donc plutôt de se rappeler que "mare", signifie mer en latin.

Le succès actuel de la marégraphie ne se réduit pas aux seules applications scientifiques ; loin s'en faut pour entraîner les administrations américaines, australiennes,

françaises ou autres, dans des programmes de renouvellement de leur réseau d'observation. Aussi, comment expliquer les demandes des ports autonomes ou des Phares et Balises, si ce n'est par l'existence d'applications pratiques bien identifiées. Une part importante de l'engouement actuel est liée aux progrès technologiques récents en instrumentation et en réseaux de communication qui permettent de collecter les données sous forme numérique, à distance et en temps réel.

Il convient de remarquer cependant que nombre de besoins requièrent une observation géodésique complémentaire, plus ou moins précise, pour surveiller la stabilité de la référence des hauteurs d'eau et pour rattacher les résultats dans une référence unifiée, légale, nationale ou mondiale. L'exemple le plus notoire d'application scientifique est l'évolution à long terme du niveau des mers. Ce sera l'objet de notre article, mais il existe d'autres applications plus pratiques qui requièrent ce complément géodésique. Le numéro 79 de la revue XYZ en décrivait justement une : la détermination du zéro hydrographique dans un système de référence terrestre mondial.

## CONTEXTE SCIENTIFIQUE ET INTERNATIONAL

### *Quelques chiffres*

Le tableau 1 donne les prévisions d'évolution du niveau moyen de la mer pour le prochain siècle. Ces prévisions sont issues du deuxième rapport produit par l'IPCC en 1995. Le précédent remonte à 1990. L'IPCC est un panel intergouvernemental sur le changement climatique établi

# Spécialistes

## Des SIG

## Du géomarketing...

## De la gestion de patrimoine



### Lisez

# Géomatique

Expert



**Cette revue  
est faite  
pour vous !**

*Chaque mois recevez votre*

## "Observatoire de la géomatique"

Le premier magazine mensuel français consacré aux technologies et applications des Systèmes d'Information Géographique.

De la production des données géoréférencées à leur exploitation, Géomatique Expert permet de mieux comprendre le monde de la géomatique.

**Profitez  
de notre  
offre  
d'essai**

Bon pour deux numéros gratuits

Géomatique Expert - 1 rue E. Dupuis - 94043 Créteil Cedex - Fax : 01 49 80 31 47

Nom.....

Entreprise.....

Adresse.....

Code Postal.....

Ville.....

Tél.....

Prénom.....

en 1988 par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement et par l'Organisation Météorologique Mondiale. Son rôle est de résumer l'état actuel des connaissances et d'apporter les informations nécessaires, d'ordre scientifiques, techniques et socio-économiques, pour comprendre les risques que comportent les changements climatiques d'origine anthropique.

Année	2020	2040	2100
Prévision basse	2.9 cm 1 mm/an	5.7 cm 1.1 mm/an	13 cm 1.2 mm/an
Prévision moyenne	8.6 cm 2.9 mm/an	18.6 cm 3.7 mm/an	55 cm 5 mm/an
Prévision haute	18.6 cm 6.2 mm/an	38.6 cm 7.7 mm/an	110 cm 10 mm/an

**Tableau 1 :** Prévisions de l'élévation du niveau des mers, estimées par les modèles climatiques suivant divers scénarios d'émission en gaz à effet de serre, d'après l'IPCC [1995]. Les vitesses correspondent à la variation par rapport à 1990.

Le rapport de l'IPCC [1995] revoit les prévisions de changement du niveau des mers à la lueur des dernières améliorations apportées aux modèles climatiques. Ces améliorations résultent surtout d'une meilleure compréhension du rôle de l'océan et du couplage entre ce dernier et l'atmosphère.

Les prévisions varient suivant les modèles considérés et suivant les scénarios d'émission en gaz à effet de serre pris en compte. Le tableau donne les valeurs extrêmes et moyennes. On observe une accélération des tendances à partir de 2015-2020, auparavant l'élévation reste sensiblement linéaire.

Il est intéressant de noter que les conséquences les plus sévères d'une élévation du niveau de la mer de cinquante centimètres ne viendraient pas de l'inondation des terres peu élevées, mais d'effets indirects. Par exemple, la fréquence de retour des ondes de tempêtes et des niveaux extrêmes exceptionnels augmenterait considérablement, passant de 50 ans aujourd'hui à 15-20 ans dans les nouvelles conditions de niveau moyen de la mer.

Le deuxième tableau résume les différentes contributions aux variations générales du niveau de la mer. Si l'on considère que la forme du contenant reste inchangée - hypothèse raisonnable à l'échelle de temps séculaire - le niveau moyen des océans dépend :

- i. de la quantité d'eau (fonte / accumulation d'eau sur les continents)
- ii. et du volume occupé par cette eau (effet de changement de densité ou effet stérique)

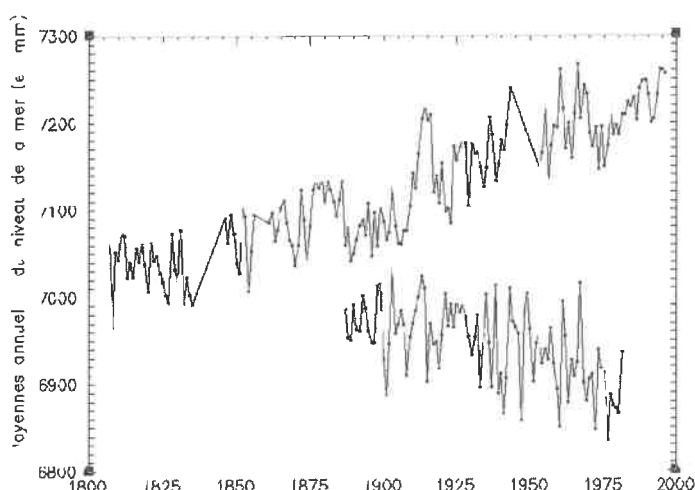
Contribution	Estimation basse	Estimation moyenne	Estimation haute
Dilatation thermique	2 cm	4 cm	7 cm
Glaciers	2 cm	3.5 cm	5 cm
Groenland	-4 cm	0 cm	4 cm
Antarctique	-14 cm	0 cm	14 cm
Réservoirs d'eau terrestres	-5 cm	0.5 cm	7 cm
TOTAL	-19 cm	8 cm	37 cm

**Tableau 2 :** Estimations des différentes contributions à l'élévation actuelle du niveau des mers, d'après l'IPCC [1995].

Les valeurs indiquées dans ce tableau proviennent également du deuxième rapport de l'IPCC. Elles illustrent l'état actuel des connaissances et les incertitudes sur l'origine de la variation séculaire passée du niveau marin. Cette variation est estimée entre 10 et 20 cm sur ce dernier siècle.

#### **D'où viennent les estimations d'élévation récente du niveau des mers ?**

Les estimations d'élévation récente du niveau général de la mer proviennent de l'analyse des séries temporelles de marégraphie disponibles au PSMSL, Service international du niveau moyen de la mer, qui collecte depuis 1933 les moyennes mensuelles et annuelles des marégraphes. La figure 1 représente deux échantillons des séries temporelles en question. Il s'agit de deux séries de valeurs annuelles du niveau de la mer à Brest et dans un observatoire de la mer Baltique (Varberg). Soulignons que Brest dispose de la plus longue série de mesures de hauteur d'eau dans le monde.



**Figure 1 :** Séries marégraphiques de niveaux moyens annuels de la mer.

Les hauteurs d'eau sont exprimées en millimètres sur ce graphique. Les tendances se dégagent assez nettement des marégraphes centenaires. Elles sont de 1.2 mm/an à Brest et de -1 mm/an dans la station de la mer Baltique, affectée par un mouvement vertical du socle dû au rebond post-glaciaire. On remarque cependant la variabilité interannuelle et interdécennale relativement importante dans les deux enregistrements, de l'ordre de la dizaine de centimètres. Par ailleurs, on remarque aussi des tendances contradictoires, non seulement entre les deux stations, mais également en une même station sur des périodes différentes de vingt à trente ans. Cet dernier constat conduit à une réduction importante du nombre de séries utiles. En général, des séries temporelles d'au moins cinquante ans sont nécessaires. Cette contrainte entraîne de fait une couverture spatiale fortement biaisée vers l'hémisphère nord.

#### **Les stratégies d'estimation**

Les différents chercheurs qui se sont penchés sur l'estimation d'une évolution récente du niveau général de la mer ont dû affronter les différentes contraintes rappelées ici, liées aux données de marégraphie. Si les premières études considéraient toutes les séries possibles d'au moins dix ans, afin de bénéficier de la meilleure couverture spatiale possible et de s'affranchir des mouvements



verticaux en supposant qu'ils se compenseraient dans la moyenne, il est vite apparu que cela n'avait pas beaucoup de sens. D'abord, nous avons vu l'importance des signaux décennaux et interdécennaux. Ensuite, nombre de géologues affirment que près des côtes dominent les phénomènes de subsidence : sédimentation, pompes de fluides, tassements, etc [Pirazzoli, 1996].

Les contraintes de longueur minimale des séries temporelles à prendre en considération varient selon les études, de 40 à 70 ans, sachant que ce choix se fait au détriment du nombre et de la répartition spatiale des données, donc de la prise en compte de l'effet stérique. La correction des mouvements verticaux du support du marégraphe est certainement le point le plus délicat encore aujourd'hui. On dispose de modèles pour le rebond postglaciaire, mais les corrections sont trop sensibles, au niveau de précision considéré ici, le mm/an, aux choix des paramètres du modèle de terre et au modèle de déglaciation utilisé. Sans tenir compte du fait que les autres mouvements verticaux sont toujours ignorés.

Le concept de côte stable est alors apparu explicitement [Emery & Aubrey, 1991]. Il repose sur des observations géologiques locales. Mais ces données témoignent d'un passé souvent très éloigné de la période considérée. Certains mouvements peuvent ne plus être d'actualité. D'autres sont peut-être apparus depuis. En particulier, les effets d'affaissement des constructions ou de tassements, suite à l'extraction de fluides, ne sont certainement pas négligeables près des côtes sur les derniers cent ans.

En résumé, la question de l'élévation récente du niveau de la mer n'est pas simple. Il est intéressant de remarquer sur le tableau suivant que notre connaissance du problème était déjà bien résumée en 1935 par un ancien directeur du Nivellement Général de la France, Monsieur Vignal, qui réalisa une étude des séries temporelles marégraphiques disponibles à l'époque autour de la Méditerranée.

N°	Auteurs	Résultats (mm/an)	N°	Auteurs	Résultats (mm/an)
1	Vignal (1935)	1 à 2	11	Aubrey (1985)	0 à 3
2	Outenburg (1941)	1.1 ± 0.8	12	Gornitz & Lebedeff (1987)	1.2 ± 0.3
3	Kuonen (1950)	1.2 à 1.4	13	Barnett (1988)	1.15
4	Lieitzin (1974)	1.1 ± 0.4	14	Trupin & Wahr (1990)	1.75 ± 0.13
5	Fairbridge & Krebs (1962)	1.2	15	Gornitz & Seeber (1990)	1.26 ± 0.78
6	Emery (1980)	3	16	Feltier & Tushingham (1991)	2.4 ± 0.9
7	Gornitz et al (1982)	1.2	17	Emery & Aubrey (1991)	0.8
8	Klige (1982)	1.5	18	Douglas (1991)	1.8 ± 0.1
9	Barnett (1983)	1.54 ± 0.15	19	Mitrovica & Davis (1991)	1.5 ± 0.3
10	Barnett (1984)	1.4 ± 0.14	20	Wöppelmann (1997)	1.6 ± 0.3

**Tableau 3 :** Estimations de l'évolution séculaire récente du niveau des mers.

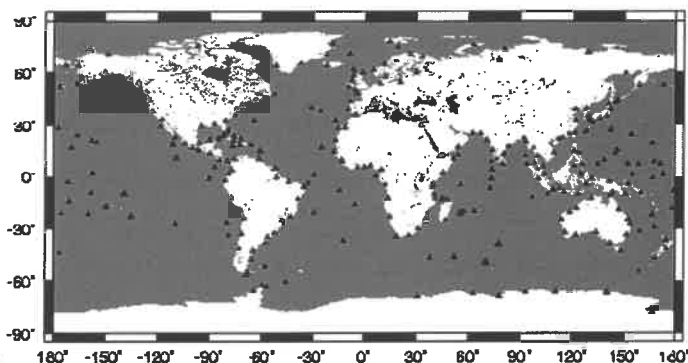
Vignal estimait déjà une élévation du niveau général de la mer de l'ordre du millimètre par an. Il constatait que cette élévation variait très sensiblement et irrégulièrement d'un port à l'autre, remarquant aussi l'abaissement dans certains ports. En outre, il appréhendait déjà correctement la nature du signal délivré par les marégraphes, ainsi que les incertitudes associées : "[...] quand bien même certains appareils marémétriques dénoteraient un mouvement ascensionnel non périodique incontestable du niveau moyen de la mer, cette ascension pourrait tenir, non à une véritable montée des eaux par rapport au socle continental, mais simplement

à un affaissement très localisé d'une étroite bande côtière" [Vignal, 1935].

Le fait que, plus de soixante ans après, nous ne cernions pas mieux la question, vient du manque d'informations complémentaires nécessaires à la marégraphie pour mesurer et corriger les mouvements verticaux présents dans ses données. Les estimations actuelles sont approximativement les mêmes 60 ans après. Cela confirmerait la tendance linéaire du marégraphe de Brest. Aucune accélération n'est en effet visible dans cette série de données qui débute avant l'ère industrielle, contredisant donc, en apparence, le lien entre élévation du niveau de la mer et réchauffement climatique d'origine anthropique.

## SYSTÈMES D'OBSERVATION

Face aux incertitudes évoquées, la Commission Océanographique Intergouvernementale a démarré en 1985 un programme d'observation du niveau des mers appelé GLOSS. Fondé sur un réseau mondial de stations de marégraphie, ce réseau a été conçu idéalement par un groupe d'experts internationaux, le groupe d'experts GLOSS, pour répondre à des applications scientifiques. Il s'appuie pour une grande partie sur des marégraphes existants. La carte de la figure 2 montre la couverture du réseau GLOSS tel qu'il est défini aujourd'hui, depuis les dernières modifications apportées en 1997.



**Figure 2 :** répartition des marégraphes GLOSS.

Le réseau comporte 287 stations autour desquelles s'articulent des réseaux régionaux. Trois pôles d'intérêt scientifique regroupent les stations :

- GLOSS-LTT, pour l'étude des tendances à long terme du niveau des mers;
- GLOSS-ALT, pour la calibration des altimètres radar embarqués sur satellite;
- GLOSS-OC, pour la surveillance de la circulation générale des océans.

GLOSS comprend par ailleurs un réseau de contacts et de représentants nationaux. Ce sont eux qui assurent l'adéquation entre le réseau idéal et sa réalisation pratique. Aussi, ont-ils proposé, puis validé, les contributions concernant les marégraphes qui se trouvent sous la responsabilité des organismes de leur pays.

## Les critères de qualité GLOSS

Le programme mondial GLOSS a établi un certain nombre de critères pour assurer la qualité des stations qui contribuent à son réseau. Ils sont résumés ici :

- la mise en place de marégraphes modernes de précision instrumentale d'ordre scientifique, munis de centrales d'acquisition numériques ; ceci permet l'exploitation et la diffusion des observations par les moyens informatiques.

- la maintenance et le contrôle du fonctionnement et des performances des marégraphes, notamment par étalonnages et opérations de nivellement annuels;

- la surveillance géodésique de la référence des marégraphes par techniques spatiales telles que GPS ou DORIS;

- l'accès et la diffusion des données dans des délais compatibles avec les besoins des utilisateurs.

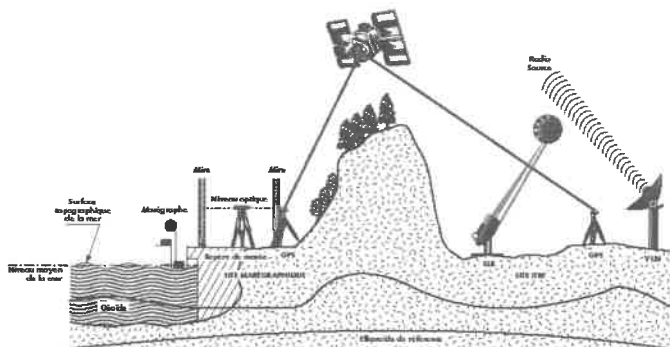
Ces critères, établis il y a maintenant dix ans, sont encore d'actualité bien qu'ils puissent encore évoluer à la lueur des résultats et des recommandations des groupes de travail internationaux.

### La surveillance géodésique

La surveillance géodésique des marégraphes concerne surtout les composantes GLOSS-LTT et GLOSS-ALT. En ce qui concerne la première application, nous avons vu que l'on s'intéresse à des signaux ténus, de l'ordre du mm/an. Il est donc essentiel de réaliser une surveillance rigoureuse de la stabilité de la référence des mesures de ces marégraphes.

D'une part, la référence interne de ces marégraphes doit être déterminée et contrôlée par étalonnages réguliers par rapport à un repère matériel proche, appelé repère de marée. D'autre part, les mouvements verticaux des repères de marée doivent être surveillés en local et, surtout, dans un système de référence terrestre mondial de qualité suffisante. Rappelons que l'on cherche à mettre en évidence des variations de l'ordre du mm/an.

La figure 3 illustre les principaux éléments intervenant dans le processus de surveillance synergique du niveau de la mer par géodésie et marégraphie. Les techniques de nivellement sont souvent nécessaires pour faire la liaison entre repères de marée et repères de géodésie spatiale. Les repères de marée sont en effet rarement adaptés à l'observation directe par des instruments de géodésie spatiale.



**Figure 3 :** principe du rattachement géodésique des marégraphes dans un système géodésique mondial (illustration A. Pasquier).

Il est intéressant de noter l'évolution des idées sur la stratégie d'observation à mettre en œuvre en géodésie spatiale. Il y a une dizaine d'années, la communauté scientifique s'est engagée dans une stratégie d'observation par campagnes de quelques jours, à répéter annuellement sur dix-vingt ans. Aujourd'hui, l'idée est plutôt de réaliser une surveillance continue par des instruments permanents. Celle-ci s'avère moins coûteuse, notamment par GPS, compte tenu des coûts plus raisonnables aujourd'hui des récepteurs et antennes GPS.

L'avantage d'une surveillance continue est certaine pour les sites éloignés. Il est aussi d'obtenir des résultats plus tôt en évitant les phénomènes de sous-échantillonnage des signaux qui peuvent affecter le positionnement sur la composante verticale. Par analogie rappelons que les marégraphes ne donnent des tendances du niveau relatif de la mer précises qu'au bout d'environ 50 ans.

### CONTRIBUTION FRANÇAISE

La France participe au réseau GLOSS par quinze stations, représentées par des triangles dans la figure 2. Elles sont réparties sur l'ensemble du globe. Il s'agit de Brest (242), Cayenne (202), Clipperton (165), Crozet (21), Dumont d'Urville (131), Dzaoudzi (96), Kerguelen (23), Le Robert (204), Marseille (205), Nouméa (123), Nuku Hiva (142), Papeete (140), Pte des Galets (17), Rikitea (138) et Saint-Paul (24). Les chiffres entre parenthèses représentent le numéro GLOSS du marégraphe. Il faut savoir que GLOSS n'a pas de moyens propres pour développer un tel réseau d'observation de près de 300 marégraphes, qu'il convient d'ailleurs de densifier pour mieux appréhender les structures méso-échelles de l'océan. L'objet de GLOSS est de coordonner les ressources et les efforts de chacun au niveau mondial. Son succès repose sur le volontariat des pays et des organismes nationaux.

Dans ces conditions, on voit bien qu'en définitive le succès de GLOSS repose aussi sur un effort analogue de coordination à l'échelle nationale. C'est dans cette optique que l'Institut Géographique National (IGN) et le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) ont démarré le développement du projet SONEL : Système d'Observation du Niveau des Eaux Littorales.

### Le projet SONEL

SONEL s'appuie sur les ressources nationales en matière de marégraphie et de géodésie. L'objet est d'organiser de manière raisonnée et rationnelle les ressources et les efforts nationaux pour mesurer le niveau de la mer dans un ensemble d'observatoires côtiers, et surveiller l'évolution de ce paramètre dans des référentiels local et mondial. C'est aussi de servir d'interface avec l'étranger, notamment dans les projets européens et mondiaux tels que GLOSS, ou encore dans les échanges avec les centres de données internationaux tels que le PSMSL. SONEL n'a pas à proprement parler de réseau d'observatoires. Il constitue à ce propos un réseau virtuel fédérant des réseaux d'observation indépendants sous la responsabilité d'organismes partenaires. Ces derniers peuvent trouver dans SONEL une diffusion et une valorisation complémentaires de leurs données, tout autant qu'un soutien scientifique et technique pour contrôler la qualité des observatoires et, le cas échéant, contribuer à leur mise à niveau.

SONEL repose donc sur des réseaux de marégraphie et de géodésie existants ou en cours de développement, tels que RONIM, un réseau de marégraphes modernes numériques en cours de développement par le SHOM avec le partenariat des DDE, des Ports Autonomes et d'organismes divers et scientifiques [Allain, 1998]; le RGP, réseau GPS permanent en métropole, également

en cours de déploiement, par l'IGN, avec de nombreux partenaires [Boucher, 1999]; le réseau de balises DORIS déployées sur l'ensemble du globe par l'IGN et le CNES [Willis, 1997], etc.

L'élément central de SONEL est une base de données mixte de produits issus de la marégraphie et de la géodésie spatiale. Le système prévoit de collecter les données de chacun des maillons du processus de rattachement des marégraphes décrit dans la figure 3. Il offrira notamment des données de niveau moyen de la mer exprimées aussi bien dans un repère local que dans une référence géodésique mondiale.

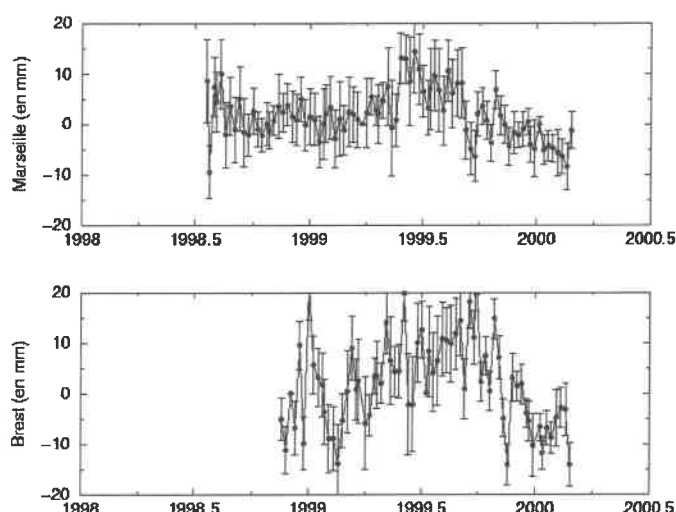
### Stations pilotes de Brest et de Marseille

Les marégraphes de Brest et de Marseille sont des stations pilotes importantes du projet SONEL, comme le souligne la recommandation de l'assemblée générale du Comité National Français de Géodésie et Géophysique, le 6 février 1996. L'IGN et le SHOM les ont équipés du matériel nécessaire pour leur mise à niveau suivant les critères du réseau mondial GLOSS.

Marseille dispose depuis juin 1998 d'un marégraphe moderne de type acoustique semblable à celui de Brest. La surveillance géodésique des deux marégraphes se fait par récepteur GPS permanent : celui de Marseille est en place depuis juillet 1998 et celui de Brest depuis octobre 1998. Les observations GPS de ces deux stations sont désormais collectées, puis traitées en routine dans le réseau GPS national RGP.

L'analyse préliminaire des résultats GPS fournis par le laboratoire LAREG de l'IGN montre que la composante verticale est trois à six fois moins bien déterminée que les composantes horizontales. Ce résultat ne surprend pas, il peut s'expliquer par la configuration du système GPS et par les nombreuses sources d'erreur qui affectent a priori cette composante : propagation des ondes radioélectriques dans l'atmosphère, caractéristiques et variations du centre de phase des antennes GPS, stabilité des monumentations, réalisations du système de référence, etc. L'amplitude des effets dépend néanmoins du site et de son environnement comme l'illustrent les courbes de la figure 4.

Les résultats de la figure 4 proviennent des solutions GPS hebdomadaires calculées en réseau libre par l'équipe RGP du LAREG (D. Maillard et P. Nicolon). Ces solutions sont des jeux de positions issues du traitement des mesures GPS enregistrées dans les stations françaises du RGP et dans quelques stations européennes voisines du réseau permanent EUREF. En raison du calcul en réseau libre, qui optimise la cohérence interne des résultats, chaque jeu se trouve exprimé dans un repère qui lui est propre. Une combinaison de toutes ces solutions hebdomadaires suivant les modèles appliqués dans la section terrestre du Service international de la rotation terrestre (IERS) permet l'expression des positions dans un repère de référence unique [Altamimi, 1997]. Il est ensuite aisé de transformer ce repère "moyen" dans le repère de notre choix, ici l'ITRF97, dernière réalisation disponible du repère terrestre international [Boucher et al, 1999]



**Figure 4 :** Résultats sur la composante verticale des stations GPS de Brest et Marseille, en millimètres (communication personnelle Z.Altamimi, IGN).

La figure 4 représente les écarts de chaque solution hebdomadaire transformée avec la solution "moyenne". Les pentes ont été retirées dans le processus de combinaison. Les incertitudes sur les tendances sont encore trop importantes par rapport à celles qui sont indiquées par les marégraphes, d'un facteur dix environ, soit de l'ordre du mm/an. Rappelons cependant que les mesures GPS sont récentes et trop brèves pour fournir des résultats clairs et significatifs. Il est donc encore difficile de les interpréter comme des mouvements réels de l'écorce terrestre et donc de les utiliser pour corriger les tendances du niveau de la mer indiquées par les marégraphes.

### PERSPECTIVES

Les stations GPS permanentes de Brest et de Marseille sont motivées par l'existence des séries temporelles historiques de marégraphie et leur grand intérêt scientifique. Une nouvelle station d'intérêt pour la communauté scientifique vient d'être équipée par l'IGN à Ajaccio. Le marégraphe devrait bientôt être installé par le SHOM. Cette expérience corse est pilotée par P. Exertier de l'Observatoire de la Côte d'Azur. Elle a pour objet la calibration du futur altimètre radar Jason-1

Les calculs GPS conduits dans le RGP se limitent à la France continentale et à la Corse. Mais nombreux sont les marégraphes d'intérêt pour la communauté française qui se trouvent ailleurs, répartis sur l'ensemble du globe. Un calcul global est d'ores et déjà envisagé dans le cadre d'une expérience pilote avec le Service international GPS (IGS) pour atteindre la meilleure précision possible en cet ensemble de marégraphes équipés de GPS. La composante verticale du positionnement par GPS mérite une attention particulière lorsqu'on s'intéresse aux déplacements verticaux à la surface de la Terre et aux variations générales et à long terme du niveau de la mer. L'objet est de fournir un signal géodésique aussi pur que possible pour permettre une exploitation géophysique correcte en aval. Les premiers résultats de Brest montrent une allure singulière sur la composante verticale. Un effet de surcharge océanique de plusieurs centimètres a été mis en évidence [Llubes et al, soumis], mais il semble que le signal soit plus complexe encore. Des recherches sont en cours aujourd'hui pour mieux



comprendre ce signal. Elles mettent notamment à profit le gravimètre absolu que la communauté scientifique nationale a acquis.

## RÉFÉRENCES

**Allain [1998]** : "Observation systématique du niveau de la mer". Revue XYZ numéro 74 - 1er trimestre 1998, pp. 71-76.

**Altamimi Z. [1997]** : "Analyse d'un logiciel de combinaison de positions et vitesses tridimensionnelles". Publication LAREG MM017, Mai 1997.

**Boucher C. [1999]** : "L'expérience pilote Réseau GPS Permanent (RGP)". Revue XYZ, Nr. 79, 2e trimestre 1999, pp. 21-24.

**Boucher C., Z. Altamimi & P. Sillard [1999]** : "The 1997 International Terrestrial Reference Frame (ITRF97)". IERS Technical Note 27, May 1999, 191 pp.

**COI [1997]** : "Global Sea Level Observing System (GLOSS): Implementation Plan - 1997". Commission Intergouvernementale Oceanographique de l'UNESCO, Technical Series 50.

**Emery K.O. & D.G. Aubrey [1991]** : "Sea levels, land levels, and tide gauges". Springer Verlag, 237 pp.

**Llubes M., N. Florsch, M. Amalvict, J. Hinderer, M-F. Lalancette, D. Orseau et B. Simon [soumis]** : "Observation gravimétrique des surcharges océaniques : premières expériences en Bretagne". Compte-rendus de l'Académie des Sciences, soumis.

**Pirazzoli P. [1996]** : "Sea-level Changes - The last 20 000 Years". Chichester, Wiley 1996, 211 pp.

**IPCC [1995]** : "Climate Change 1995: The Science of Climate Change". Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press 1996, 572 pp.

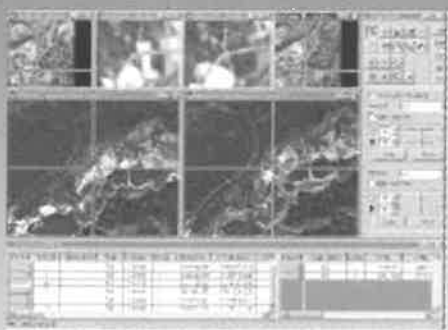
**Vignal J. [1935]** : "Les changements du niveau moyen des mers le long des côtes en Méditerranée et dans le monde". Extrait des Annales des Ponts et Chaussées. Mémoires et Documents. Numéro d'octobre, 52 pp.

**Willis P. [1997]** : "Système DORIS, applications scientifiques". Revue XYZ numéro 73, 1997, pp. 67-74.

**Wöppelmann G. [1997]** : "Rattachement géodésique des marégraphes dans un système de référence mondial par techniques de géodésie spatiale". Thèse de Doctorat de l'Observatoire de Paris, 23 juin 1997, 263 pp.

**Wöppelmann G., S. Allain, C. Boucher, L. Daniel et B. Simon [1999]** : "Présentation du Système d'Observation du Niveau des Eaux Littorales - SONEL". Document SHOM-IGN, Version 1.0, mai 1999, 40 pp.

# SIG et traitement d'image Rejoignez le numéro 1



Document Ville de Saint Brieuc

- Systèmes d'Information Géographique adaptés à toutes tailles de Collectivités Locales,
- Gestion du parcellaire,
- Géoréférencement de planches cadastrales,
- Visualisation et analyse de données 3D,
- Diffusion cartographique dynamique sur internet,
- Suivi de mobiles par GPS,
- Nouvelles solutions de photogrammétrie,
- Orthorectification,
- Stéréorestitution,
- Génération de MNT ...



21, rue des Capucins - 92190 MEUDON  
Tél.: 01 46 23 60 60 - Fax : 01 45 07 05 60  
[www.esrifrance.fr](http://www.esrifrance.fr)

# La page voiture – le GPS chez soi

## CARMINAT la haute technologie dans la voiture



Renault-Scénic (Photo S. Foulon)

Si les systèmes précédemment cités sont en voie de développement, d'autres sont en revanche déjà commercialisés. Avec Carminat Navigation, Carminat Info Trafic et Odysline, Renault met la télématique embarquée au service du conducteur.

Proposé en série ou en option selon les versions sur Safrane, Laguna 2 et Nouveau Scénic, Carminat-Navigation (12 000 F) est un système de guidage et de localisation GPS. Après saisie de la destination sur un clavier simple, le système, qui connaît la position exacte du véhicule via les données satellite GPS et les indications fournies par les capteurs embarqués, calcule l'itinéraire jusqu'à la destination finale grâce aux informations contenues dans la cartographie numérique. Les informations sont transmises sous forme de signalétique en couleur sur un écran situé en haut de planche de bord et par une voix de synthèse désactivable. Avant chaque changement de direction, le conducteur est prévenu et guidé vers la bonne file de circulation.

Plus précisément, l'utilisateur peut sélectionner le guidage par fléchage sur une cartographie schématique, ou par affichage en surbrillance de l'itinéraire sur une cartographie détaillée, réglable à l'échelle désirée par zoom.

Pour faciliter l'orientation locale, le nom du prochain axe à prendre ainsi que la distance à parcourir pour l'atteindre en haut de l'écran. En bas de l'écran, le conducteur peut aussi lire le nom de la rue dans laquelle il se trouve. À l'approche de carrefours complexes, la compréhension de l'information guidage est facilitée par l'affichage de messages nouveaux. Le système présente alors le pictogramme du panneau routier à suivre pour prendre la bonne direction. Pour privilégier la sécurité du conducteur, en évitant tout brusque changement de direction, des messages vocaux anticipent les indications d'orientation

affichées à l'écran en deux temps : « Préparez-vous à tourner à droite ». Un effort particulier a été apporté à la qualité de la synthèse vocale.

En cas d'inattention ou d'impossibilité de suivre la direction proposée, dans le cas de travaux sur un axe routier par exemple, l'ordinateur recalcule automatiquement un itinéraire alternatif et affiche de nouvelles indications de guidage dès le passage de l'axe évité.

La couverture cartographique existante est étendue et précise. Des CD Rom additionnels sont proposés par pays ou zone géographiques (ex. : Allemagne, Autriche, France, Suisse, Italie...). Dans la plupart des pays, la totalité du réseau routier a été numérisée, de même que les cartes détaillées de nombreuses villes, permettant un guidage précis jusqu'au numéro de rue. Édités par Nav-tech, ces CD Rom sont actualisés deux fois par an afin d'intégrer les dernières modifications du tracé routier et les informations collectées sur le terrain par les nombreux relevés.

Destiné à un tout autre usage, Renault propose également Carminat-Info Trafic GPS (8 000 F). L'utilisateur reçoit en temps réel l'ensemble des informations sur l'état de la circulation au travers d'une cartographie simplifiée présentée sur un écran couleur. Une fonction localisation GPS permet de visualiser la position du véhicule de parcours jusqu'à sa destination et déterminer le trajet le plus rapide. Disponible sur toute la gamme, une version portable TM 2000 avec écran monochrome permet l'accès à la fonction temps de parcours.

D'autre part, Odysline, commercialisé en novembre 1998, est proposé en option sur les véhicules neufs et les véhicules d'occasion de moins de 2 ans de la gamme Renault. Garantissant une tranquillité d'esprit, Odysline permet une localisation

précise par satellite du véhicule, par exemple en cas d'accident, de panne ou d'égarement du conducteur. Un boîtier d'appel comportant 3 boutons (vert, orange et rouge) et un émetteur GSM fixe mains libres – d'une puissance de 8 W pour une couverture maximale – permet une liaison 24 heures/24 avec une plate-forme d'assistance. Le bouton rouge marque l'appel d'urgence en cas d'accident ou de problème médical. L'orange permet l'intervention de Renault Assistance pour tout problème avec le véhicule (panne, crevaison...). Le vert est un bouquet de services avec notamment une aide à la navigation et des renseignements concernant le trafic. Odysline est proposé en option au tarif de 3 900 F avec un forfait mensuel de 195 F/mois. Ce forfait inclut 30 minutes annuelles d'informations trafic et de guidage.

AFT - J. B.

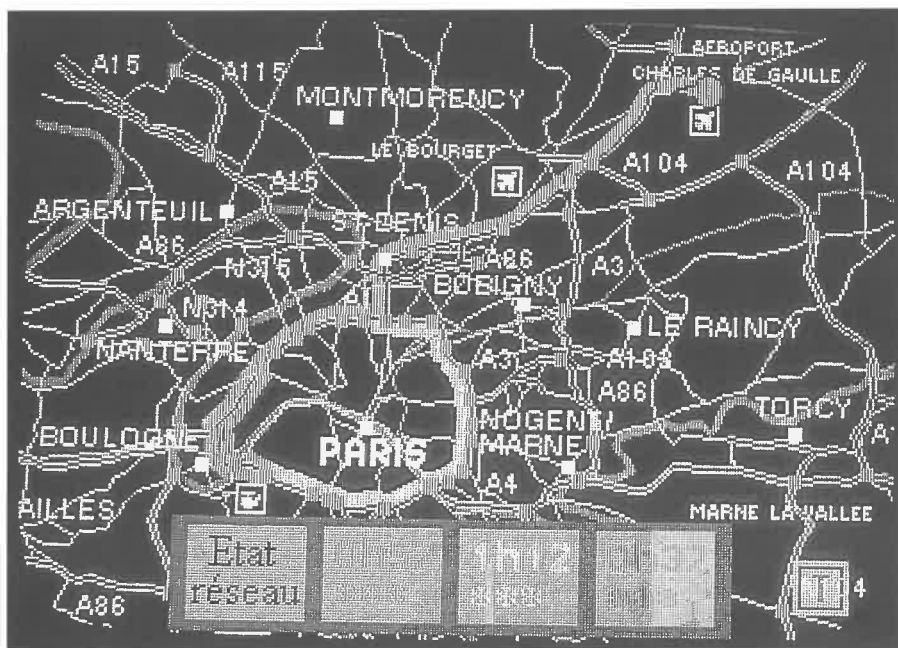


Photo Philippe Pons

■ Dans le numéro 81 du dernier trimestre du  $xx^e$  siècle, monsieur Lambda prenait ses responsabilités par l'intermédiaire de son porte-parole officiel Claude Million.

« Ah! La géodésie! » s'exclamait celui-ci en expliquant les états d'âme de son patron. Depuis plusieurs publications de XYZ une sourde controverse semblait opposer les tenants d'une géodésie géométrique tridimensionnelle à ceux d'une géodésie bidimensionnelle, et monsieur Lambda y mettait son grain de sel. Ce sujet épineux, plein de points d'exclamation, s'épice aujourd'hui d'une lettre ouverte en réponse, missive d'André Fontaine que nous nous empressons de décacheter. ■

## lettre ouverte

Libres propos  
André Fontaine

### en réponse aux états d'âme de monsieur Lambda

*Cher Monsieur Lambda,*

Je ne sais si pour vous je suis l'Alpha ou l'Oméga, mais je crois que seul un epsilon nous sépare car nous sommes sur la même voie: nous cherchons à comprendre. Comme il ne s'agit pas de problèmes bien compliqués, ni de la théorie du big-bang, ni même de la courbure des verticales, nous ne devrions pas tarder à nous rejoindre. De quoi s'agit-il? Simplement de savoir ce qu'on fait en utilisant le GPS et ce qu'on a fait pendant deux siècles sous le nom de géodésie.

D'abord un peu de polémique, vous nous dites que pour la pose de ses câbles l'EDF préfère avoir la distance géométrique. Est-ce si sûr? Nous savons tous qu'un câble dans le champ de pesanteur prend la forme d'une chaînette dont la longueur entre deux points diffère notablement de la corde qui les joint. En plus de la distance géométrique, l'EDF a besoin de l'altitude des deux points pour se placer dans un plan vertical dans lequel on prend une horizontale comme axe des  $x$  pour le calcul de la chaînette. Ne croyez-vous pas que la fourniture des coordonnées géodésiques des points eût simplifié le problème? Tout ceci pour dire que la très grande majorité des activités humaines se réfère à la verticale du lieu, ne serait-ce que la marche bipède. Les coordonnées géométriques ne suffisent pas, on leur adjoint le plus souvent les altitudes.

Pour se rapprocher des coordonnées géodésiques, on projette souvent les coordonnées géométriques sur un ellipsoïde; en plus de la latitude et de la longitude, on voit alors apparaître une troisième grandeur la hauteur du géoïde au-dessus de l'ellipsoïde. D'où la question: comment se fait-il que, pendant deux siècles dans les travaux topographiques, on se soit contenté de deux coordonnées planimétriques sans le moindre ennui et que maintenant il faille en ajouter une troisième?

Chacun saisit très bien ce que sont les coordonnées géométriques données par GPS, mais à la lueur de mon expérience je me suis aperçu que les coordonnées géodésiques étaient fort mal comprises. Pourtant la méthode de leur calcul est familière: on ramène les mesures effectuées en un point de la surface topographique à ce qu'elles seraient si elles avaient été faites sur le géoïde et à partir de ces dernières on fait les calculs sur une surface de référence dont on suppose qu'elle se confond avec le géoïde en ce point.

Suivons, par exemple, ce processus le long d'un cheminement; du premier point connu, je mesure la distance et l'azimut du second, je ramène la distance au géoïde par les corrections bien connues du topographe en fonction des altitudes, de la réfraction et de la courbure de la surface de référence; pour les angles, je pose qu'ils sont conservés. J'en déduis les coordonnées géodésiques du second point

et je recommence pour déterminer un troisième point et ainsi de suite. On voit bien qu'on effectue les calculs sur un ellipsoïde en contact avec le géoïde: les hauteurs au-dessus de l'ellipsoïde sont nulles en tous les points. On obtient deux coordonnées planimétriques, qui avec les altitudes forment un ensemble cohérent. En géodésie, on ne détermine pas la surface topographique mais on en fabrique un modèle qui a fait ses preuves pendant des siècles.

Revenons à l'exemple du cheminement, au premier point je place l'ellipsoïde en contact avec le géoïde, quand je passe au deuxième je procède de même. Je suis donc obligé de déplacer légèrement l'ellipsoïde pour que son deuxième point vienne sur le deuxième point du géoïde; un peu comme pour la mesure d'une longueur avec un curvimètre où il faut que la molette suive la courbe. Il en résulte que la principale vertu des coordonnées géodésiques est de donner sur l'ellipsoïde les longueurs et les angles sur le géoïde. Un tel processus n'a rien de commun avec une projection de la surface topographique sur un ellipsoïde fixe. Ici au contraire l'ellipsoïde de référence est perpétuellement en mouvement pour venir en contact avec le géoïde dans la zone où on travaille.

Je n'aurais jamais cru que le fond d'une méthode employée depuis des lustres soit à ce point ignoré de ceux qui la pratiquent. Pourtant, je n'ai partout rencontré que des sauvages de la géodésie, trop heureux de chanter « du passé faisons table rase », pour qui l'apparition des hauteurs du géoïde au-dessus de l'ellipsoïde n'était qu'une bagatelle, rançon du progrès, alors qu'elle est, à mon avis, une régression due à leur ignorance. Il en a résulté des polémiques inutiles. Obnubilés par la précision remarquable du GPS, beaucoup croyaient que les coordonnées qu'ils en déduisaient étaient tout aussi géodésiques que les anciennes et naturellement bien meilleures, en confondant précision des mesures et propriétés des méthodes de calcul. Comme il n'est pire sourd que celui qui croit avoir entendu, il n'était pas question de se poser des questions.

Grâce à vous, j'espère pouvoir reprendre le problème à sa source et ne pas refaire l'erreur que j'ai commise de discuter des inconvénients de telle ou telle décision avant de s'être mis en phase avec mes interlocuteurs sur les connaissances fondamentales. Dans ce sens, j'ai présenté des recommandations à la Section de géodésie du CNFGG; quoiqu'elles n'aient pas encore pu être discutées au fond, je les joins à cette lettre pour éclairer un débat que nous pourrions poursuivre, si vous le voulez bien et si « xyz » en est d'accord.

Nous n'irons pas plus avant aujourd'hui et nous verrons dans une prochaine lettre comment la méthode de calcul géodésique s'applique sans aucune difficulté aux mesures GPS. Avec ma reconnaissance pour votre participation à une telle démarche, je vous prie croire, cher Monsieur Lambda, à toute mon amicale estime.



## Annexe :

### La question des coordonnées

*La première étape de la science consiste à distinguer une chose d'une autre. Cela permet de connaître leurs traits particuliers; mais pour que ce savoir puisse être fixé et demeurer permanent, des noms différents doivent être attribués et retenus.*

Carl Linné

Avant l'apparition des satellites artificiels, tout point de la surface topographique de la Terre pouvait être localisé par deux types de coordonnées : les géodésiques et les astronomiques. On parlait même de points géodésiques, astronomiques ou astrogéodésiques ; par extension, on employait fréquemment les termes de réseau géodésique. Dès le lancement des satellites « ballon » ou « à flash », on a pu déterminer des coordonnées d'un tout autre type, mais elles n'ont pas fait l'objet d'un nouveau qualificatif, entraînant ainsi une confusion dans l'esprit de certains utilisateurs qui croient qu'elles sont « géodésiques » en plus précis. Personnellement pour éviter toute erreur, je les dénomme « coordonnées géométriques ». Comme première étape, on va résumer les traits particuliers des trois types de coordonnées.

**a) Les coordonnées géométriques** – Ce sont des coordonnées cartésiennes dans un repère orthonormé à trois dimensions. Elles ont comme propriété de fournir les directions et les distances rectilignes entre les points. Comme elles sont sensibles au mouvement général des plaques terrestres, il faut fixer une référence temporelle. Pratiquement indépendantes du potentiel terrestre du lieu, on leur adjoint souvent l'altitude. On définit parfois certains avatars, comme la projection sur un ellipsoïde et la distance à cet ellipsoïde; ces avatars ont les apparences des « coordonnées géodésiques » mais n'en sont pas.

Étant donné les caractéristiques de ce nouveau type de coordonnées et le fait qu'il s'agit de les attribuer à des points de la surface topographique de la Terre, le qualificatif de « géométrique » me semble bien adapté.

**b) Les coordonnées géodésiques** – Elles se rapportent au géoïde, elles comprennent l'altitude et deux coordonnées, les latitude et longitude géodésiques. Ces deux dernières ont la propriété de donner la longueur des arcs de géoïde; cette propriété est conservée quelle que soit la surface de référence, si cette dernière reste proche du géoïde (n'oublions pas que la géodésie a été créée pour mesurer des arcs de géoïde). Ces deux coordonnées sont déterminées par une méthode de calcul à géométrie variable qui consiste en chaque point du réseau à amener la surface de référence à coller au géoïde. Elles sont peu sensibles au mouvement général des plaques terrestres. Elles sont très bien adaptées aux travaux locaux puisque leur détermination représente une mise en cohérence de tous les réseaux locaux relatifs à chaque point du réseau général. Depuis l'adoption de l'altitude normale, l'altitude est une grandeur physique.

Jointes à des déterminations de hauteurs du géoïde au-dessus de la surface de référence, elles donnent naissance à des coordonnées cartésiennes, avatars qui ont toutes les apparences de « coordonnées géométriques » mais qui n'en sont pas.

**c) Les coordonnées astronomiques** – Elles méritent leur nom et leur détermination est du ressort de l'astronomie qui fournit la direction de la verticale en un point (latitude et longitude astronomique). Pour en faire des coordonnées, il faut adjoindre à cette verticale une surface de référence. Elles ne donnent ni les distances rectilignes, ni les longueurs précises des arcs de géoïde dont elles fournissent une valeur approchée.

#### La question des calculs géodésiques

La méthode de calcul géodésique consiste à accoler des facettes de la surface de référence de façon à suivre les creux et les bosses du géoïde, ou autrement dit à absorber les hiatus entre les facettes ainsi créées.

On a toujours affirmé que ces hiatus étaient d'un ordre de grandeur largement inférieur à la précision des mesures, ce qui est très probablement vrai pour les mesures anciennes. Aujourd'hui, on dispose de mesures GPS bien plus précises. Il serait intéressant de soumettre ces mesures à la méthode de calcul géodésique pour se rendre compte si ce qu'on affirmait dans le passé est exact. Personnellement, j'ai fait un petit calcul théorique d'où j'en ai déduit que les hiatus de la méthode de calcul géodésique sont inférieurs au millionième pour des points distants de 60 km si les courbures du géoïde et de l'ellipsoïde ne diffèrent au plus que de 20 km. Mais, une expérience en vraie grandeur serait plus sûre.

Il suffit de procéder à une compensation des mesures du RBF suivant la méthode de calcul géodésique. Si les corrections de compensation sont du même ordre que celles trouvées dans la compensation géométrique, on pourra dire qu'effectivement les hiatus de la méthode de calcul géodésique restent négligeables à la précision des mesures GPS.

#### Recommandations

La section de géodésie recommande

1) Que, pour éviter toute confusion avec les « coordonnées géodésiques », les coordonnées des points de la surface topographique de la Terre déterminées actuellement par voie satellitaire soient désignées par un qualificatif qui souligne leurs propriétés et qui pourrait être « géométrique »,

2) Que, à partir des mesures GPS effectuées pour le RBF, l'IGN procède à une compensation par la méthode de calcul géodésique pour se rendre compte jusqu'à quel point de précision cette méthode peut être considérée comme valide.

■ Vannes, ville d'art et d'histoire, mais aussi ville en développement moderne. D'où nécessité de la maîtrise de l'urbain et du social. D'où la nécessité d'un SIG efficace. C'est fait. ■



Parc d'Innovation Bretagne Sud

## un sig pour vannes

Bruno Le Gall

Chef de projet Info/SIG

VANNES, cité de 55 000 habitants, située au cœur du golfe du Morbihan, est une ville parfaitement équilibrée et au développement maîtrisé. Abrisée derrière ses remparts et bénéficiant d'un microclimat, la préfecture du Morbihan ne s'est pas contentée de son image historique et touristique, mais au contraire, vit dans l'air du temps et s'en donne les moyens.

Plusieurs fois élue n°1 des villes les plus dynamiques de France dans sa catégorie au cours des 10 dernières années, VANNES est Ville d'Art et d'Histoire. Elle est très attachée à

son patrimoine historique et urbain, tout en étant fortement orientée vers les nouvelles technologies et les secteurs d'innovation. La création en 1987, d'un parc dédié à ce type d'activités en est une parfaite illustration.

La ville a connu un fort développement au cours de la dernière décennie. Sa population est passée de 48 000 à 55 000 habitants. Pour les décideurs locaux, ceci doit s'accompagner d'une réelle maîtrise de l'aménagement urbain et d'une anticipation permanente des besoins de la population et des entreprises.

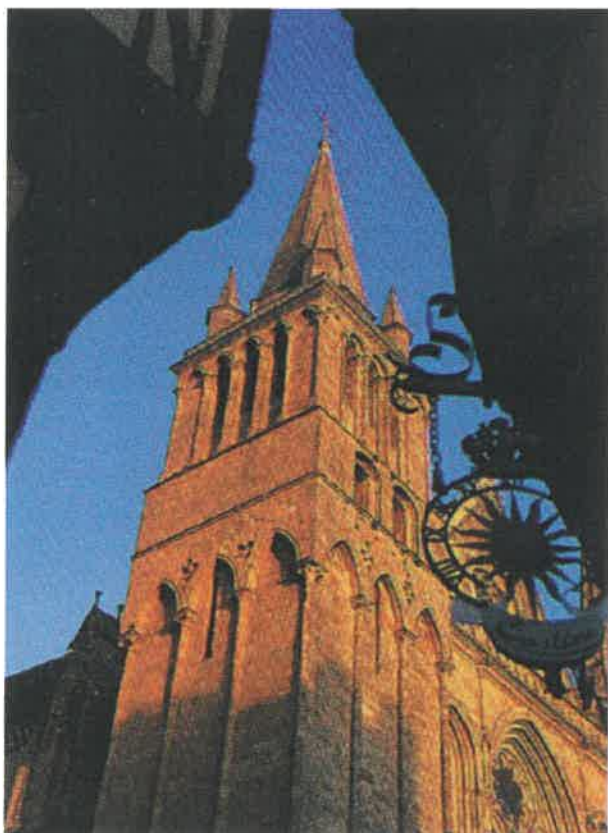
Ces deux concepts sont la base des systèmes d'information géographique (SIG) au service des collectivités territoriales. Depuis longtemps convaincue de l'intérêt majeur des SIG, la direction Informatique a été chargée en 1997 de la mise en place de l'outil au sein des services municipaux.

Suite aux diverses études et au choix du système, la première application mise en place a été la consultation du cadastre numérisé. Très rapidement se sont enchaînées la mise en œuvre de la gestion du réseau Eaux Pluviales et l'acquisition de plans photogrammétriques et orthophotoplans recouvrant l'ensemble de la ville (3 300 hectares).

### I – Études... et choix de la solution

Pour Jean-Luc LE MELLE, Directeur des systèmes d'information, : « un système d'information géographique doit, sur de nombreux points, être assimilé à un projet informatique. À ce titre, sa mise en œuvre passe nécessairement par des études préalables, nécessitant des validations successives et concernant l'ensemble des composantes. Sa planification doit tenir compte des contraintes techniques et financières de la collectivité. »

La Ville de VANNES s'est appuyée sur un consultant en SIG – IETI de MACON – afin de mener à bien les études préalables. Ces dernières ont permis d'aboutir à une définition globale du projet validée par le Conseil municipal en septembre 1997 et s'étalant sur quatre années. La qualification des besoins a été la base de la consultation des fournisseurs de



Cathédrale St-Pierre

solutions. Le cahier des charges intégrait le matériel, le logiciel de base et les applications "métier" ; auxquels s'ajoutaient les fonctions d'intégration : installation, formation, assistance et conduite de projet.

La proposition retenue a été celle de Générale d'Infographie.

Selon la direction du projet SIG : « la direction informatique a toujours considéré que sans une parfaite adhésion des services, le projet SIG n'atteindrait jamais sa plénitude. Nous avons donc commencé par recenser l'ensemble des besoins des futurs utilisateurs afin de lui donner une vocation résolument "métier". Pas question pour autant d'aboutir à un système décentralisé. Les notions de base commune et de partage d'informations étant essentielles, il nous fallait trouver une solution dédiée aux gestionnaires mais contrôlée par un organe superviseur garant de l'intégrité. L'offre de Générale d'Infographie correspondait bien à notre attente puisqu'elle proposait des applications métier adaptées et intuitives tout en confiant les opérations d'administration, d'intégration et de contrôle à un administrateur. »

### Une offre complète...

Tous les services municipaux sont concernés par le SIG. En premier lieu on trouve les services techniques et la direction de l'aménagement urbain, mais tous peuvent, à un moment donné, faire appel aux bases de données géographiques. Des utilisations ponctuelles sont envisagées. On peut citer la carte scolaire, la carte électorale ou la carte des naissances.

Présent depuis plus de 15 ans dans le domaine de l'environnement, des collectivités et des gestionnaires de réseaux, **Générale d'Infographie** propose et garantit une offre globale à ses clients, même sur les outils développés par d'autres comme dans le cas de Vannes, ceux de la société **Imagis Méditerranée**, qui met à disposition ses applications dédiées à la consultation du cadastre, à la gestion du plan d'occupation des sols, aux réseaux, à la voirie, à l'éclairage public, aux espaces verts.

« Notre maîtrise des principaux standards de l'information géographique dans les environnements Unix et Windows NT est reconnue, et notre organisation favorisant un service de proximité porte ses fruits.

Dans le cadre de notre prestation pour la ville de Vannes, nous devons dans un premier temps fournir et intégrer un ensemble d'applications dédié à un domaine, avant de généraliser l'accès aux informations géographiques pour tous les services de la collectivité » déclare Éric JACOTIN, responsable du marché des collectivités territoriales Région Ouest.

### ... et sécurisée

Mais l'enjeu pour la Ville de Vannes ne résidait pas dans le seul but d'offrir à ses agents un outil de gestion performant, car comme nous l'avons souligné « Un SIG est à la fois un système de gestion pour les services et un dispositif d'aide à la décision pour les élus. Il est un outil fédérateur garant de la fiabilité et de la pérennité de l'information localisée. Car, chez nous comme un peu partout, la mémoire humaine s'en va, laissant place à un grand vide en termes de connaissance du patrimoine ».

Le système se devait donc d'être pérenne et sécurisé, tout en permettant une large diffusion des données de façon détaillée ou consolidée.

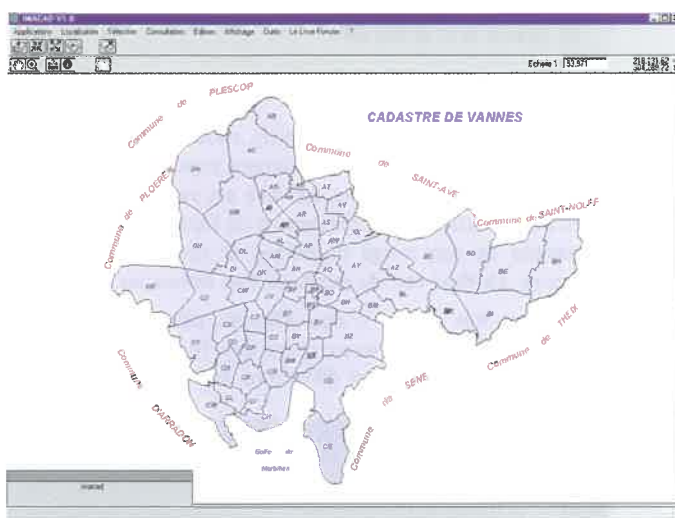
La technologie déployée repose, tout d'abord, au niveau du serveur, sur la base de données relationnelle Oracle, alliée au serveur géographique SDE (Spatial Database Engine). Sur les postes « client », le logiciel SIG bureautique ArcView est présent, complété par des applications "métier" de la gamme IMAVUE.

Le système d'exploitation fédérateur est Windows NT, décliné en version Serveur et Workstation, et communique vers des serveurs de gestion sous UNIX.

## 2 – Première application : le plan cadastral

La numérisation du cadastre de VANNES a démarré en 1996. Cette opération a été réalisée pendant que la collectivité étudiait la mise en œuvre de son SIG. Ceci a permis de disposer des données cadastrales dès l'arrivée des premiers équipements en 1998.

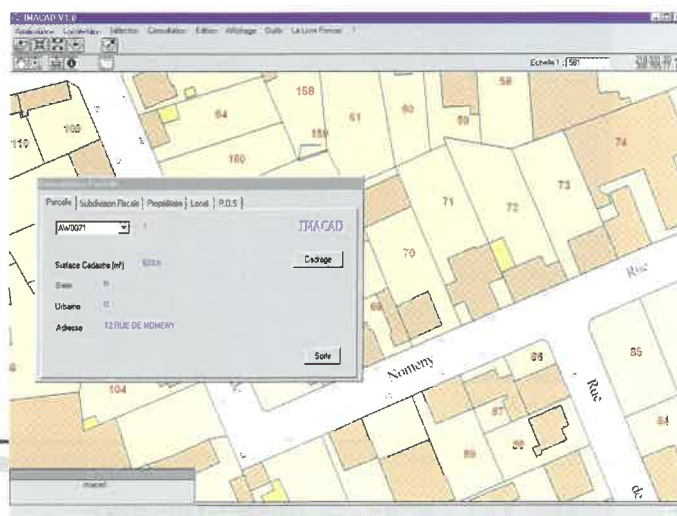
Maître d'ouvrage de l'opération SIG 56, le Conseil général a mandaté la Société Informatique du Morbihan pour, dans une première phase, conduire la digitalisation du parcellaire des communes du département. Une convention fut signée entre la Direction générale des impôts, les prestataires tels que France Télécom, EDF-GDF, les gestionnaires de réseaux et le Conseil général ; ce dernier agissant pour son compte et pour les communes ayant adhéré à la convention. Le cahier des charges de réalisation s'appuyait sur celui de l'IGN et obligeait à la fourniture de fichiers au format EDIGÉO.



Après intégration des données EDIGÉO et de la matrice cadastrale par l'administrateur SIG, les services peuvent interroger le système au travers de l'application IMACAD d'Imagis.

IMACAD est un logiciel développé sur ArcView. Il est entièrement destiné à la consultation des éléments cadastraux sur de nombreux critères.

Il permet l'édition de cartes localisées de façon très intuitive et est devenu essentiel pour l'accès aux données de la matrice cadastrale.





### Interfaçage avec le livre foncier

Dans le cadre de la gestion des Autorisations droits des sols, la direction de l'Aménagement Urbain utilise depuis plusieurs années le Livre foncier communal (LFC). Celui-ci s'interface parfaitement à IMACAD. À la demande, il est possible de basculer depuis une fiche LFC vers son positionnement géographique dans IMACAD, et inversement d'une parcelle vers un dossier.

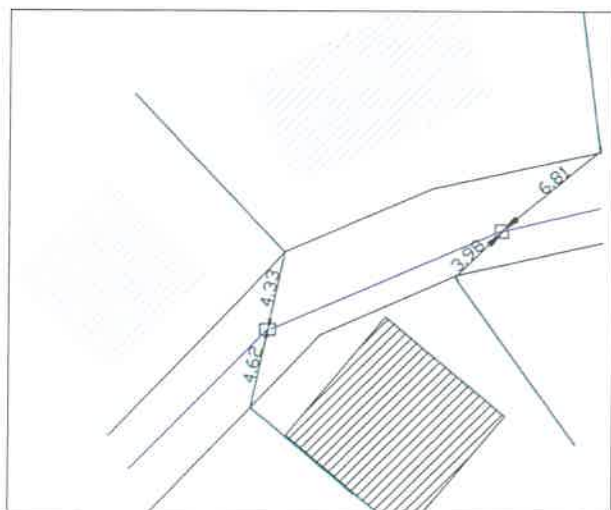
## 3 – La mise en œuvre du réseau eaux pluviales

La Ville de VANNES gère ses réseaux d'eaux usées, d'eaux pluviales et d'eau potable en régie. La Direction de l'eau et de l'assainissement a pour ambition de disposer à moyen terme d'un système d'information géographique permettant leur parfaite connaissance et une gestion plus aisée de leur entretien et de leurs extensions.

### La cartographie du réseau

La maîtrise du réseau eaux pluviales et sa capacité à absorber de fortes pluies sont des enjeux majeurs pour les collectivités territoriales. L'expérience de ces dernières années en termes d'inondations ou autres préjudices ne font que conforter ce point de vue. C'est pourquoi en 1995, la ville de VANNES a décidé de la réalisation d'un schéma directeur des eaux pluviales (SDEP). L'étude fut confiée à la société SCE de NANTES (groupe ITI), qui devait dans une première phase fournir une cartographie du réseau « compatible avec le futur SIG », c'est-à-dire récupérable dans un système non encore défini.

Le relevé terrain des équipements structurants (regards le plus souvent) fut réalisé par triangulation à partir d'éléments repérés sans ambiguïté sur les plans cadastraux (point d'accroche).



190 km de réseau ont ainsi été levés. 170 km sont des canalisations (béton pour la plupart), le reste se compose de ruisseaux (16,5 km) et de fossés de liaison (3,5 km). Environ 4200 regards ont été triangulés, auxquels se rajoutent 1 000 autres nœuds. Le positionnement des grilles (2700) a été effectué sans triangulation.

Afin d'être le plus exhaustif possible, les objets de type connexion, chute, bassin, barrage figurent également dans les plans réalisés.

L'ensemble des objets structurants a été caractérisé.

Regard et autre nœud ➡ identification, cote tampon, cote radier, cote fil d'eau.

Canalisation ➡ identification, nœud amont, nœud aval, longueur, matériau, dimensions.

### L'intégration des données

1999 a été l'année de l'intégration des données graphiques et attributaires dans le SIG de la ville, et plus exactement dans son application dédiée aux réseaux humides : IMARES d'Imagis.

SCE disposait de l'information au sein de son SIG PREFIX et de fichiers DWG Autocad.

Le procédé d'intégration s'est décomposé en trois phases : lambertisation des données, structuration topologique, puis implémentation dans les bases IMARES.

#### • 1<sup>re</sup> phase – Lambertisation du réseau – exécutant : SCE

La première phase a consisté à positionner exactement les points d'accroche du levé sur le cadastre Lambertisé. Par extension, les coordonnées Lambert des équipements ont pu être déterminées. Ainsi le réseau des eaux pluviales se cale exactement sur le cadastre.

#### • 2<sup>e</sup> phase – structuration topologique – exécutant : SCE

Après récupération de la globalité des données dans Arc-View, SCE s'est attaché à vérifier l'ensemble de la cohérence topologique du réseau. Cette phase a révélé des anomalies qui ont été corrigées tantôt de façon automatique, tantôt de façon manuelle. Ce traitement a été fastidieux et la Ville de Vannes tient à souligner le résultat très satisfaisant obtenu.

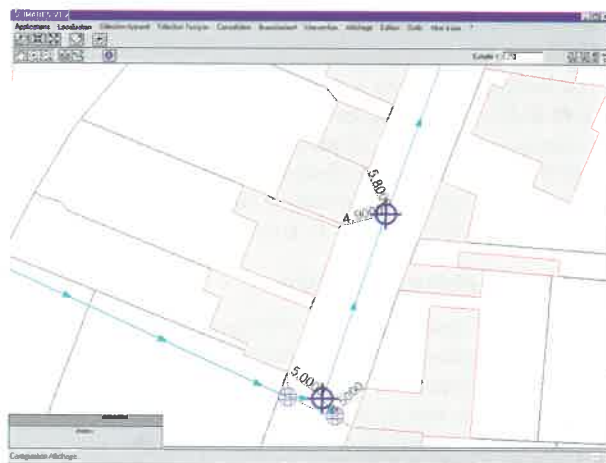
#### • 3<sup>e</sup> phase – intégration dans IMARES exécutant : groupement GI-IMAGIS

Les fichiers générés (SHP et DBF) lors des 2 premières phases étaient conformes à des structures d'accueil définies conjointement. Les données graphiques et alphanumériques ont été réparties dans les tables d'IMARES selon leur qualité d'entité structurante ou d'habillage (cas des cotes de triangulation).

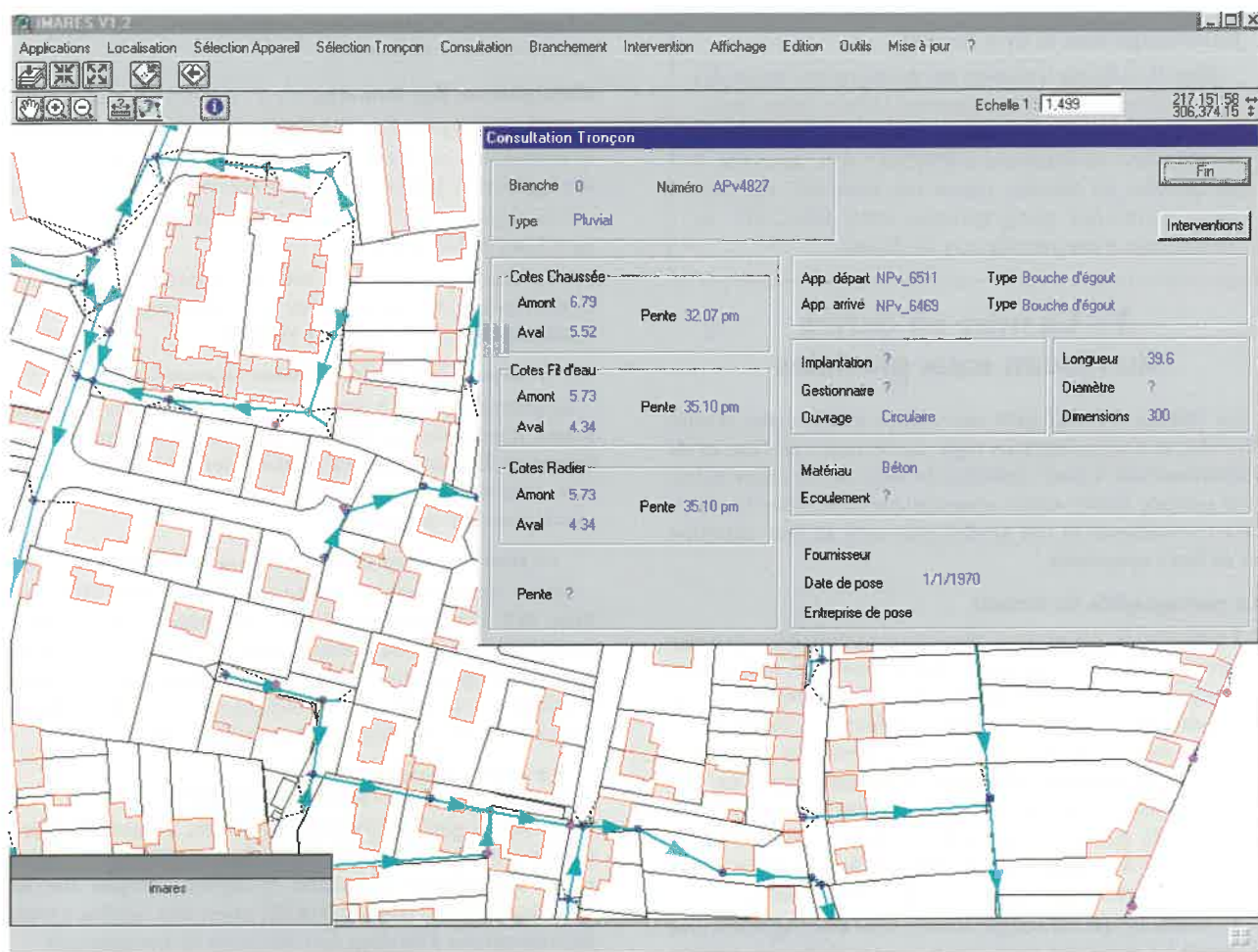
### L'exploitation au quotidien

Depuis le début de l'année 2000, la direction de l'eau s'appuie sur IMARES pour la gestion de son réseau eaux pluviales. Elle peut, à tout moment visualiser dynamiquement les éléments en place, connaître les caractéristiques d'un équipement ou encore émettre des requêtes multi-critères lui permettant de filtrer les objets répondant aux paramètres.

Le logiciel permet des parcours de graphes amont ou aval en s'appuyant sur la topologie du réseau. Ceci est un outil très précieux pour mieux cerner les dysfonctionnements.



Les interventions sur le terrain sont largement améliorées car elles s'accompagnent de l'édition de plans au format A3 déclinant les installations triangulées, levant ainsi toute ambiguïté potentielle.



## 4 – Photogrammétrie et orthophotoplans

Afin d'enrichir le plus précisément et le plus rapidement possible ses bases graphiques, la Ville de VANNES a décidé en 1998 d'acquérir des plans photogrammétriques au 1/1000°. Les données restituées, conformément au cahier des charges, se structurent selon les "métiers". Pour ne citer que les principales, nous évoquerons les couches du bâti, de la voirie et signalisation, des espaces verts, des réseaux, du mobilier urbain...

Le fournisseur retenu a été le cabinet REIGNER-LEVEILLE d'ORLÉANS. La prestation a permis la restitution d'une mosaïque de 65 fichiers au format AUTOCAD couvrant l'ensemble du territoire et atteignant une précision de 15-20 cm. Ces derniers étaient accompagnés des orthophotoplans correspondants (taille du pixel: 11 cm terrain).

### Objet de la photogrammétrie

Le premier objet consiste en l'alimentation des thèmes du SIG. Une sélection des entités dans les couches appropriées permet la constitution rapide des bases ArcView. La collectivité possède au sein de ses services bon nombre de données alphanumériques rattachées à des fiches codifiées.

La corrélation entre fiches attributaires et objets graphiques s'effectue au travers de l'identification de ces derniers. C'est l'étape la plus lourde avant intégration complète derrière une application de gestion, comme c'est actuellement le cas pour l'éclairage public (IMALUX).

Le second rôle de la photogrammétrie à VANNES est la connaissance des composants actualisés du territoire.

Les plans sont d'une exhaustivité largement suffisante pour être un bon outil d'appréciation des demandes d'occupation du domaine public ou représenter une source de données adaptées aux avant-projets réalisés par le bureau d'études de la ville.

Cependant, pour rester cohérents les plans doivent être mis à jour régulièrement. Cette tâche est du ressort du service topographie qui va s'appuyer sur les plans de récolement le plus souvent numériques et respectant une structuration précise, les fiches de travaux transmis par les services techniques ou des levés ponctuels.

La visualisation et l'actualisation des plans photogrammétriques sont effectuées dans Autocad.

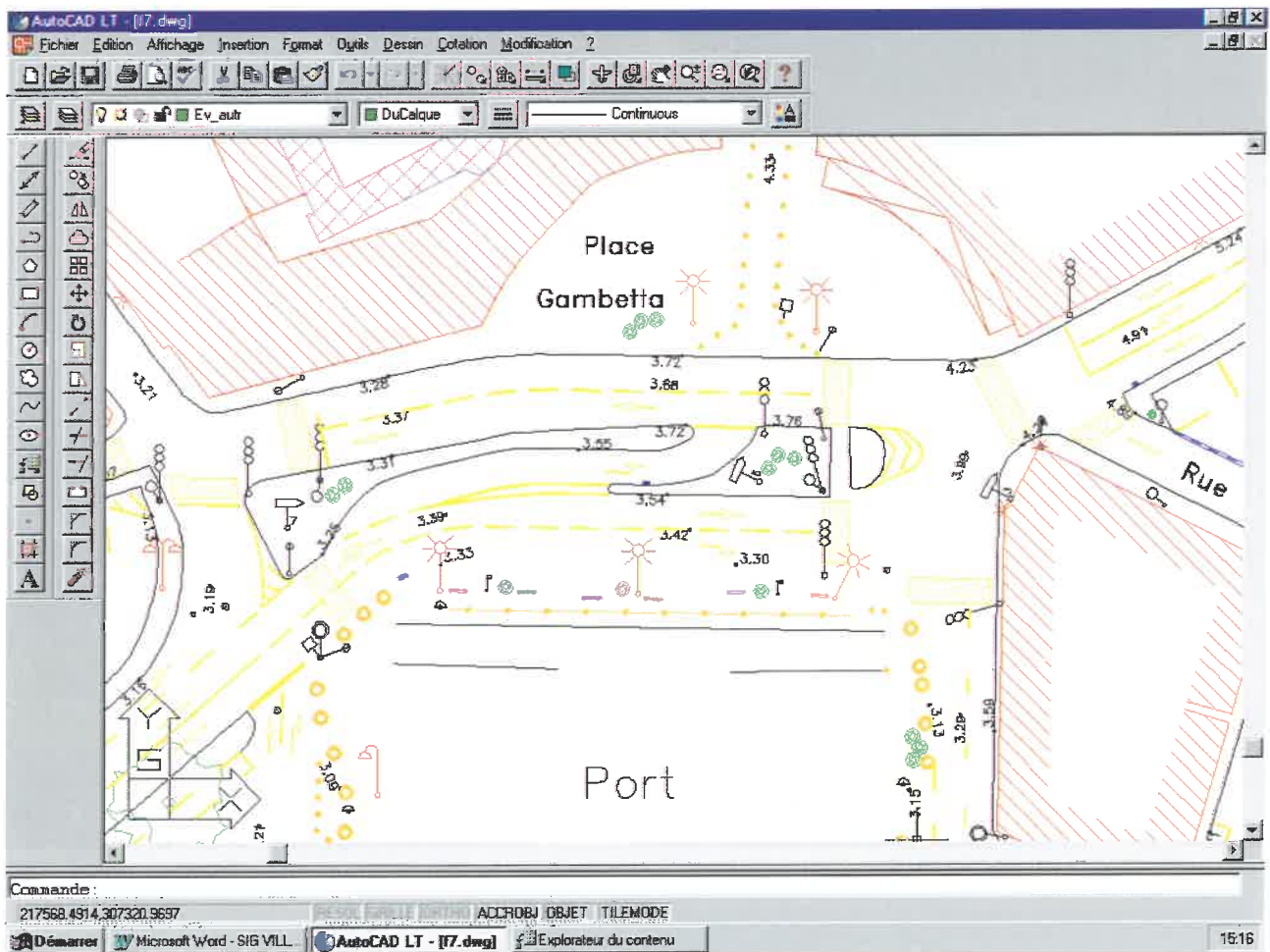
### Les orthophotoplans

Parallèlement à la photogrammétrie, le cabinet REIGNER-LEVEILLE a fourni une couverture d'orthophotoplans. Cette banque d'images est très utile dans le cadre d'études, car elle est le rendu exact du territoire sans interprétation.

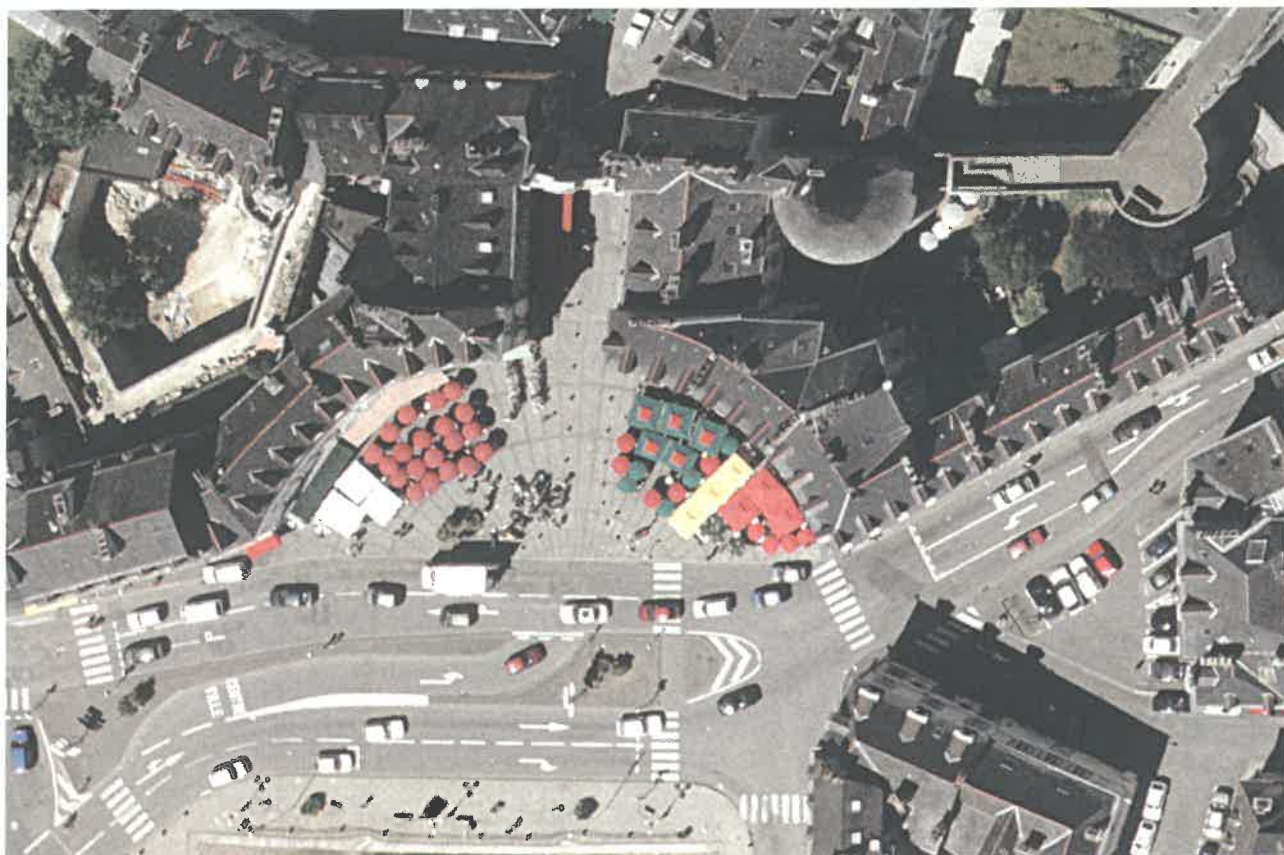
De plus son aspect graphique fait d'elle la base de beaucoup de supports de présentation ou de communication.

La qualité de définition des orthophotos permet de bénéficier d'une échelle de visualisation du 1/50 000° pour une vue générale, au 1/500° pour un affichage plus localisé.









Orthophoto - Échelle : 1/1500

## 5 – Montée en charge et diffusion

Le cadastre informatisé est en exploitation depuis fin 1998. Le réseau d'eaux pluviales est géré au travers de l'application IMARES depuis le début de l'année. Les plans photogrammétriques actualisés sont consultés au quotidien et servent à l'enrichissement permanent du SIG.

### Montée en charge

Le système d'information géographique a donc bien démarré à VANNES. La montée en charge des domaines majeurs a été planifiée jusque 2002. Parmi les principales, nous citerons : le réseau eau potable, l'éclairage public, la voirie et les espaces verts. Notons ici que les nombreuses bases de données disponibles au sein de la collectivité rapprochées des couches adéquates de la photogrammétrie permettront un enrichissement plus rapide des couches du SIG.

L'équipe spécialement attachée au SIG se compose aujourd'hui de 3 agents à temps complet et d'un autre à mi-temps. Ils se répartissent sur plusieurs directions :

- un ingénieur à la direction informatique assurant l'animation et l'administration du système
- un technicien à la direction générale des services techniques plus particulièrement chargé des thèmes de la voirie
- un technicien à la direction de l'eau
- un technicien (à mi-temps) à la direction de l'aménagement urbain pour les thèmes généraux.

Au terme des quatre premières années, la Ville de VANNES devrait atteindre son rythme de croisière, c'est-à-dire passer en phase de mise à jour permanente. Le parc matériel SIG se composera d'un serveur, de cinq stations de mise à jour et d'une vingtaine de PC connectés.

### Diffusion de l'information géographique

L'ouverture du système d'information géographique à tous est primordiale. Mais auparavant, il faut bien maîtriser son contenu et assurer sa montée en charge. C'est pour cela que la Ville de VANNES a mis la priorité sur les applications techniques destinées à améliorer la gestion de la collectivité avant de penser à diffuser l'information générée.

Aujourd'hui, devant la richesse des bases générées, la direction informatique a entamé une réflexion sur une mise à disposition généralisée, pouvant s'appuyer sur des PC standards de type bureautique.

Cela pourra dans un premier temps se faire au travers de modules allégés de consultation dédiés à des thèmes (exemple : Mini-Vue d'Imagis pour le cadastre) ou de modules plus ouverts (ArcExplorer d'ESRI). Ces outils ont l'avantage d'être simples dans leur mise en œuvre et suffisamment intuitifs pour être utilisés par des opérateurs peu expérimentés.

Dans une deuxième phase, il est envisagé que toute information opportune soit consultable par les élus et services via un réseau INTRANET et par le grand public via INTERNET. Pour cela, des solutions telles qu'Internet Map Server sont déjà largement opérationnelles. Il est également prévu la mise en place de bornes interactives à destination du public qui pourront bénéficier de l'apport des bases géographiques.

Finalement, beaucoup de développements autour du SIG sont encore à venir au sein de la collectivité. Les moyens sont en place, l'équipe est très motivée et les objectifs sont clairement définis. Les ingrédients sont donc réunis pour qu'à moyen terme le Système d'Information Géographique devienne une base de référence incontournable au service de tous : élus, professionnels de la gestion du territoire et citoyens.

■ Compte tenue de l'offre de plus en plus importante des ordinateurs de poche, la firme ESRI propose le premier SIG nomade pour réaliser des observations sur le terrain. Les applications pour le topographe sont liées à la possibilité de réaliser des levés codifiés sans passer par les fichiers intermédiaires, et d'utiliser des orthophotos numériques afin de compléter un plan sur le terrain. ■

## un SIG nomade

# ArcPad

Olivier Laugier  
Ing. topographe ENSAIS  
(ESRI France)



### Résumé

Un Système d'Information Géographique (SIG) permet de représenter le monde réel et de mieux le comprendre en prenant en compte la dimension géographique de tous types de données. Ce principe a fait ses preuves du fait que les applications des SIG sont de plus en plus nombreuses.

Afin d'étendre sa gamme de logiciels aux utilisateurs des SIG et de système GPS qui doivent intervenir sur le terrain, ESRI a développé ArcPad. Conçu dans un environnement lié aux ordinateurs de poche, ArcPad permet de se positionner par GPS, de réaliser des observations géométriques et thématiques puis de les analyser en temps réels.

Les applications d'ArcPad en topographie seront sans doute nombreuses et sont liées à sa possibilité d'utiliser des données vectorielles et des images dans des formats directement exploitables par des SIG bureautique.

### Introduction

Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) connaissent une évolution rapide du fait de leurs nombreux débouchés dans des domaines aussi différents que l'environnement, la défense, le geomarketing, les réseaux et les collectivités locales. Suivant l'évolution du matériel informatique, les logiciels du marché ont tout d'abord été proposés sur des stations de travail et se sont démocratisés avec l'apparition des ordinateurs PC.

Du fait de la disponibilité d'ordinateurs de poche ayant un prix abordable et des nombreuses études liées aux GPS, ESRI, leader mondial des SIG [1] a conçu la solution nomade ArcPad™. ArcPad a pour objectif d'étendre les fonctionnalités des SIG à toutes les catégories de métiers qui doivent réaliser des mesures, des observations et des analyses à caractère spatial sur le terrain.

L'objectif de cet article est de montrer l'intérêt d'ArcPad en particulier et des SIG en général aux topographes. Pour cela, une présentation des principes liés aux SIG est tout d'abord réalisée. Les fonctionnalités d'ArcPad sont ensuite décrites. Enfin, il est décrit des exemples d'application d'ArcPad en topographie.

### Principe d'un SIG

Un SIG est « un outil informatique permettant de représenter et d'analyser toutes les choses qui existent sur terre ainsi que tous les événements qui s'y produisent » [2]. Pour cela, un SIG est constitué d'un ensemble comprenant le matériel informatique, les logiciels, les méthodes, les utilisateurs et les données.

Pour pouvoir représenter le monde réel, un SIG stocke les informations qui doivent être prises en compte sous la forme de couches thématiques reliées les unes aux autres par un système de coordonnées (fig. 1).

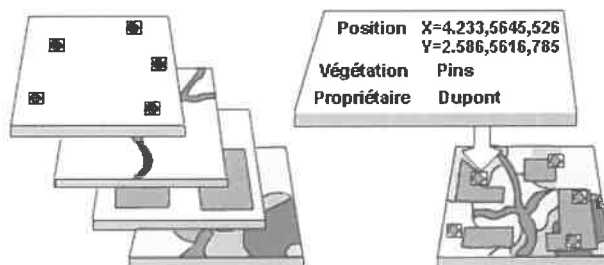


Figure 1 : Représentation des couches thématiques d'un SIG

Ce concept, à la fois simple et puissant a prouvé son efficacité pour résoudre de nombreux problèmes concrets du fait que les données (topographiques, économiques, démographiques, etc.) peuvent être analysées « spatialement ». Pour les collectivités locales, l'une des applications les plus typiques des SIG est de pouvoir connaître rapidement toutes les parcelles qui se trouvent à moins de 100 mètres d'une voie (fig. 2).

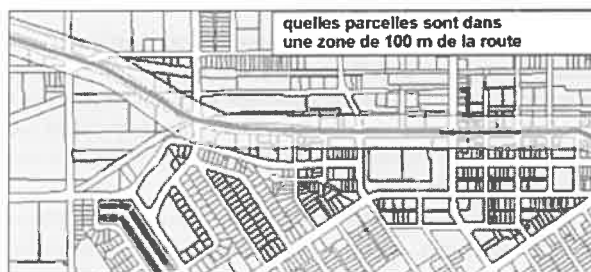


Figure 2 : Exemple d'une analyse spatiale

Par rapport à un logiciel de DAO, un SIG est une solution qui sert à réaliser des plans mais qui permet également de résoudre des problématiques en prenant en compte la dimension géographique des données à étudier.

Du fait de ses applications, les topographes ont tout intérêt à utiliser un SIG car ils sont de plus en plus utilisés par la clientèle traditionnelle des géomètres-experts et des cabinets de topographie (collectivités locales, service de l'équipement,...). D'autre part, les possibilités d'analyse d'un SIG donnent l'opportunité aux topographes d'élargir leurs domaines de compétence.

## Le SIG ArcPAD

Les ordinateurs portables étant de plus en plus puissants, des SIG dits bureautique sont utilisés sur le terrain pour valider directement la base de données. Ceci est d'autant plus vrai qu'il est possible de connecter un GPS à un SIG afin de réaliser un levé en temps réels.

Afin de suivre cette tendance, ESRI Inc a développé ArcPad qui fonctionne sur des ordinateurs de poche utilisant le système d'exploitation destiné aux solutions nomades Windows CE™. ArcPad se positionne comme un SIG portable peu onéreux dédié aux mesures géométriques et aux observations thématiques sur le terrain. Ses fonctionnalités [3,4] sont détaillées dans les chapitres suivants.

### Formats de données acceptés

ArcPad n'utilise pas de format spécifique pour stocker et représenter des données vectorielles et des images. L'échange des données entre l'ordinateur de poche et celui du bureau se fait donc par un simple transfert sans changement de format ce qui fait gagner du temps et élimine les risques de perte d'information.

Pour stocker les thèmes vecteurs, ArcPad utilise le format non propriétaire Shape d'ESRI. Dans le domaine des SIG, celui-ci est devenu un standard au même titre que le DXF dans le monde de la DAO. Le format Shape utilise des classes d'objet de type point, ligne ou polygone. Les coordonnées se réfèrent à un système cartésien à deux ou trois dimensions. Les informations liées aux objets vectoriels (par exemple le propriétaire d'une parcelle) sont stockées dans des tables associées dBASE.

ArcPad a également la possibilité d'afficher des images compressées aux formats JPEG, CADRG et MrSID. Les photographes connaissent bien le format JPEG du fait qu'il permet de réduire la taille de l'image tout en ne modifiant peu ou pas son aspect visuel. Le format CADRG est utilisé dans la défense afin de stocker des cartes scannées. Enfin, le format MrSID de l'éditeur Lizartech correspond à une nouvelle méthode de compression par « ondelettes » qui dépasse largement les possibilités du format JPEG. Ce format est dès à présent accepté par la plupart des éditeurs liés à la géomatique.

### Affichage et requête

Des outils de zooms et de déplacement permettent à l'utilisateur de naviguer dans la zone d'étude (Fig. 3). Les coordonnées du curseur de la souris s'affichent en temps réels dans le coin inférieur gauche de la fenêtre. Des outils de mesures servent à connaître rapidement la surface d'une parcelle, la longueur d'une route.

ArcPad affiche les différents thèmes (voiries, bâtis, photographies aériennes,...) sous forme de couches superposées. L'utilisateur a la possibilité de choisir quel thème à afficher et dans quel ordre. La légende des thèmes vectoriels (couleur, épaisseur, couleur) est modifiable de manière interactive.

L'utilisateur interroge la base stockée dans l'ordinateur de poche en réalisant des requêtes sur les informations liées aux objets ou en sélectionnant un objet à l'écran. Dans ce cas, une fiche d'information s'affiche.



Figure 3 : Différentes interfaces liées à ArcPad (@IGN pour les données)

### Dessin d'objet et saisie d'information

Il est possible de créer une nouvelle couche vecteur ou d'en modifier une existante. Les objets stockés sont de type point, ligne et polygone. Les coordonnées enregistrées sont à 2 ou 3 dimensions. Ils peuvent être définis avec un stylet lié à l'ordinateur ou à partir d'une connexion avec un GPS. La position d'objet existant est également modifiable de manière interactive. Des informations liées aux objets vectoriels et aux thèmes (méta-donné) sont saisies à l'écran. Dans le cas d'un levé codifié, il est ainsi possible de saisir le nom de l'opérateur puis les codes liés aux éléments sur le terrain.

### Connexion avec un GPS

ArcPad se connecte avec un GPS qui est compatible avec la norme NMEA. Dans ce cas, la position de l'observateur s'affiche en temps réel dans l'interface cartographique. L'utilisateur peut suivre son propre déplacement dans la zone d'étude ; Le centre de l'écran correspond à sa position et les objets défilent lors du déplacement. En phase d'édition, les coordonnées données par le GPS servent à créer de nouveaux objets vecteurs.

ArcPad dispose d'un haut degré d'interactivité avec un GPS. Il prend en compte des mesures différentielles si le système GPS le permet. Outre les coordonnées, l'utilisateur a accès à des informations auxiliaires comme le nombre de satellites visibles, la qualité du signal, la vitesse de déplacement, etc. (fig. 4).

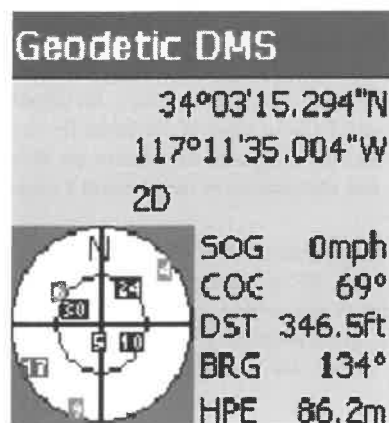


Figure 4 : Interface liée à la connexion avec un GPS

Enfin, il est possible de réaliser des changements de système géodésique et de travailler avec des coordonnées géographiques et en projection.

### Interface utilisateur et intégration avec ArcView

ArcPad dispose d'une interface utilisateur conviviale conçue en fonction de l'ergonomie propre aux ordinateurs de poche. Celle-ci présente des similitudes par rapport à l'environnement des autres solutions ESRI afin de faciliter l'apprentissage du logiciel.

En plus de son environnement, ArcPad est livré avec une extension du SIG bureautique ArcView. L'utilisateur a ainsi la possibilité de créer des projets ArcPad depuis son PC puis d'injecter directement celui-ci ainsi que les données associées dans l'ordinateur de poche.

## Perspectives pour les topographes

Il existe depuis plusieurs années des solutions pour stocker des mesures sur le terrain venant des GPS ou des stations de travail; ArcPad n'est donc pas le premier système portable adapté aux topographes. Ce qui fait la grande nouveauté d'ArcPad est qu'il s'agit de la première solution nomade directement en accès vers le monde des SIG; Ce qui apporte aux topographes la possibilité de travailler dans un environnement convivial, orienté sur les mesures géométriques mais également sur l'information thématique qui est associée aux objets mesurés.

ArcPad sera sans doute utilisé de nombreuses manières différentes; Deux d'entre elles sont particulièrement évidentes:

- L'une des premières applications d'ArcPad est liée aux levés codifiés sur le terrain. L'opérateur crée directement les objets vectoriels sans passer par des fichiers binaires ou ASCII. Lorsque l'objet vecteur est terminé, le code approprié est saisi.
- Une autre utilisation typique est spécifique à la disponibilité de plus en plus importante de photographie aérienne numérique et d'image satellite à haute résolution. Ces images offrent la possibilité de réaliser des plans par simple numérisation à des échelles de plus en plus grandes. Il est ainsi possible de stocker des orthophotos ou des ortho-images dans ArcPad, d'aller sur le terrain puis de compléter des zones qui ne sont pas directement visibles sur l'image.

## Conclusion

Les SIG sont utilisés dans de nombreuses applications du fait qu'ils permettent de représenter le monde réel et de l'analyser en prenant en compte la dimension spatiale des données à étudier.

Suivant l'offre de plus en plus importante des ordinateurs de poche, ESRI propose ArcPad le premier SIG nomade destiné à tous les professionnels qui doivent réaliser des observations ayant une dimension géographique sur le terrain. Ses fonctionnalités permettent de réaliser un positionnement en temps réel à l'aide d'un GPS, de réaliser des mesures géométriques, de stocker des informations thématiques et de les analyser. Outre sa convivialité, ArcPad offre une grande interactivité avec les autres solutions ESRI et l'ordinateur du bureau puisqu'aucun changement de format n'est nécessaire.

Les applications d'ArcPad pour les topographes sont liées à la possibilité de réaliser des levés codifiés sans passer par des fichiers intermédiaires et d'utiliser des orthophotos numériques afin de compléter un plan ou une minute sur le terrain.

La connexion d'ArcPad avec des GPS est une grande avancée pour l'utilisation généralisée des SIG en topographie. L'autre étape décisive est liée à la connexion d'ArcPad avec des systèmes de mesure comme les stations totales.

## Références

- [1] DARATECH, 2000, "Geographic Information Systems Markets and Opportunities 2000".
- [2] ESRI France, 1998, Qu'est ce qu'un SIG?, [www.esri-france.fr](http://www.esri-france.fr)
- [3] ESRI Inc., 2000, ArcPad: Taking GIS to the field an ESRI white paper.
- [4] ESRI Inc., 2000, Using ArcPad 5.

ENSG

IGN

### FORUM TECHNIQUE GPS Jeudi 28 septembre 2000 9 h - 17 h - ENSG - Marne-la-Vallée

Destiné aux personnes qui désirent s'informer ou actualiser leurs connaissances en utilisation du système GPS pour du positionnement statique ou dynamique, avec une précision entre le millimètre et le mètre.

Quatre conférences prévues :

- Application du temps réel centimétrique pour des levés de géomètre-expert, à partir de la station GPS permanente de Biarritz.
- Mise à jour en continu de la BDTopo à l'aide du GPS temps réel.
- Contrôle géotechnique des mouvements verticaux du sol dus à l'affaissement de galeries de mines par GPS et sonde à ultrasons embarqués sur véhicule.
- Etat actuel et perspectives de développement du Réseau GPS Permanent (RGP) et d'un service national de navigation précise (DGPS).

Une exposition des dernières innovations, accompagnée de démonstration sur le site.

Entrée libre et gratuite.

**ENSG - 6 et 8 avenue Blaise-Pascal  
Cité Descartes - Champs-sur-Marne  
77455 Marne-la-Vallée**



# performances de la transmission des corrections DGPS par radio FM

F. Peyret - A. Hussain (Nantes)

P. Briquet - S. Vianez - J.L. Vacher (Paris)

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

## Résumé

À la demande et avec le soutien de la Direction de la Recherche et des Affaires Scientifiques du Ministère des Transports, le LCPC a mené, sur la période juin 1999 – février 2000, deux campagnes d'essais destinées à évaluer les performances de la transmission des corrections DGPS<sup>1</sup> par RDS<sup>2</sup>. Ces campagnes d'essai ont été menées respectivement dans la région de Nantes et en région parisienne, en partenariat avec les sociétés France-GPS et Sogetec et avec le soutien de l'IGN. À partir d'un équipement de base identique en matière de GPS<sup>3</sup>, les essais ont permis une évaluation quantitative et qualitative de la zone de couverture utile du système et des précisions qu'on peut en attendre, en statique et en dynamique. L'article conclut par un avis sur l'avenir de ce type de transmission de corrections et suggère quelques pistes d'amélioration en matière de navigation précise à base de systèmes satellitaires.

## I. Enjeux, contexte et objectif de l'étude

Le GPS en mode "naturel" (ou "absolu") est de plus en plus utilisé dans de nombreux domaines. Dans celui du positionnement temps réel des véhicules, un certain nombre d'applications, aussi bien grand public que professionnelles, y gagneraient de façon significative si la précision de la mesure de base pouvait atteindre l'ordre de grandeur du mètre (systèmes d'aide à la navigation, de transport, d'appels d'urgence, etc.). Pour augmenter la précision du GPS naturel, on fait couramment appel au mode DGPS, qui permet (suivant la qualité des systèmes) d'atteindre la précision métrique en utilisant des corrections sur les pseudo-distances aux satellites, élaborées à partir d'une station de référence. La principale difficulté pour les applications temps réel réside dans le bon choix du mode de transmission.

Une solution, économique car déjà fort répandue dans le grand public, est le RDS (sur porteuse FM), utilisé maintenant par pratiquement tous les autoradios. De nombreux pays disposent déjà d'un service opérationnel de transmission de corrections DGPS par RDS. La France affiche un certain retard sur ce point. Néanmoins, certaines sociétés de service et opérateurs de réseau FM, dont font partie France GPS et Sogetec, partenaires de cette étude, mettent actuellement en place des sites pilotes pour valider la technologie.

Dans cette étude, le LCPC a apporté ses moyens d'essais en hommes et en matériel, les partenaires privés apportant chacun un soutien et un conseil technique dans leur propre domaine de compétence. Sogetec a également fourni la ressource de diffusion nécessaire aux essais de transmission, sur Nantes et sur Paris.

L'objectif principal de l'étude était d'évaluer les performances d'une chaîne complète de transmission de corrections DGPS par station FM et codage RDS, du point de vue de l'utilisateur final, en particulier:

- la limite de portée de la transmission RDS, dans différents types d'environnements,
- la précision et la dégradation des performances en fonction de la portée.

## 2. Rappels technologiques

### 2.1 Le DGPS

La précision de la mesure GPS dépend de facteurs divers que l'on peut attribuer aux différents segments qui composent le système: spatial, de contrôle et utilisateur [1]. Le tableau 1 (page suivante) récapitule ces sources d'erreur et indique leur contribution en termes de dispersion sur la distance récepteur-satellite (2<sup>e</sup> colonne pour le GPS naturel).

L'erreur utilisateur sur une dimension (par exemple sur l'altitude) ou sur une combinaison de dimensions (erreur plane par exemple) sera estimée en multipliant  $\sigma_{UERE}$ <sup>4</sup> par un facteur géométrique dépendant de la configuration des satellites au moment de la mesure ( $kDOP$ <sup>5</sup>).

Le mode différentiel du GPS (DGPS) s'impose pour un positionnement plus précis que celui du mode absolu. Ce concept est basé sur l'utilisation de deux récepteurs, l'un placé sur un point de référence ("base"), dont les coordonnées sont connues précisément, l'autre sur un point inconnu ("mobile") dont on souhaite déterminer les coordonnées.

Le récepteur de base élabore, pour chaque satellite en vue, des "corrections", en effectuant la différence entre les pseudo-distances supposées exactes (calculées à partir des coordon-

1 - DGPS: Differential Global Positioning System: mode d'utilisation différentiel du système GPS.

2 - RDS: Radio Data System: norme européenne définissant un principe et des formats de transmission de données numériques par le canal des émissions radio en modulation de fréquence.

3 - GPS: Global Positioning System: système global de navigation par satellites américain.

4 -  $\sigma_{UERE}$  (User Equivalent Range Error): mesure qui exprime la résultante de toutes les erreurs GPS en distance, égale à la moyenne quadratique des écarts types des différents postes d'erreur.

5 - DOP: Dilution Of Precision.

**Tableau 1 : budget d'erreurs du GPS naturel comparé à celui du DGPS**

Sources d'erreur	GPS naturel Erreur (1 $\sigma$ ) en m	DGPS Erreur (1 $\sigma$ ) en m
<b>1. Segment spatial:</b>		
– Erreur d'horloge satellitaire	3,0	# 0
– Perturbations satellitaires	1,0	# 0
– <i>Selective Availability</i> * (SA)	32,3	# 0
– Divers (radiation thermique, etc.)	0,5	# 0
<b>2. Segment de contrôle:</b>		
– Incertitudes sur les éphémérides	4,2	# 0
– Divers (moteur satellitaire, etc.)	0,9	# 0
<b>3. Segment utilisateur:</b>		
– Délai ionosphérique	5,0	# 0
– Délai troposphérique	1,5	# 0
– Bruit électronique du récepteur	1,5	1,5
– Multi-trajets	2,5	2,5
– Divers	0,5	0,5
$\sigma_{\text{UERE}}$ (moyenne quadratique des erreurs)	33,3	3

\* *Selective Availability*: dégradation volontaire sur le signal satellite apportée par les militaires américains.

nées du point de référence et des coordonnées du satellite) et les pseudo-distances mesurées. Les corrections ainsi calculées sont alors transmises au mobile, qui les utilise dans le calcul de sa propre position [1]. Le mobile utilise les corrections différentielles correspondantes aux satellites communs entre les deux récepteurs et corrige ainsi les mesures de ses pseudo-distances correspondantes (quasi-suppression des erreurs provenant des secteurs spatiaux et de contrôle ainsi que des délais atmosphériques).

De cette façon, le budget d'erreurs du DGPS est considérablement réduit (voir 3<sup>e</sup> colonne du tableau I). De plus, les chiffres indiqués par la littérature sont anciens et généralement pessimistes. En réalité, avec du matériel moderne de bonne qualité et dans un environnement peu affecté de multi-trajets, le  $\sigma_{\text{UERE}}$  observé en DGPS est systématiquement inférieur à 1 m.

Dans la pratique s'ajoute un autre problème qui est celui de la synchronisation des mesures entre elles. Les corrections de pseudo-distances sont en effet valables et doivent être utilisées à l'instant exact où elles ont été calculées. En réalité, la transmission nécessite un certain temps et la correction qui arrive est déjà "vieille" d'un certain âge, donc non optimale.

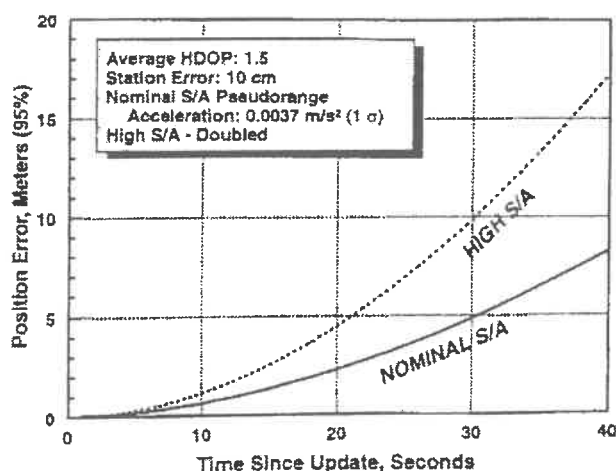


Figure 1 : Erreur différentielle en fonction de l'âge des corrections

La Figure 1 ci-dessous [5] illustre la précision typique que l'on est en droit d'attendre d'un système DGPS en fonction de l'âge des corrections et suivant deux hypothèses de niveau de *Selective Availability*: SA "nominale" (pointillés) et SA "élevée" (courbe continue).

## 2.2 La norme "RTCM SC-104"

La norme "Radio Technical Commission For Maritime service, special committe n° 104" définit 33 types différents de messages, chacun dédié à une application spécifique. Le message que nous avons utilisé est le message de type 1 : *Differential GPS corrections*.

Il est composé d'un ensemble de trames, elles-mêmes décomposées en sous-trames de 30 bits. Le message utile par satellite, contenant entre autre la correction différentielle et le taux de variation de cette correction, est de 40 bits. La longueur totale d'un message RTCM type 1 est donc variable, de l'ordre de 600 à 800 bits suivant le nombre de satellites en vue.

## 2.3 Le RDS

Le *Radio Data System* (RDS) est un service de diffusion de données numériques modulées en sous porteuse FM (57 kHz), transmises simultanément avec le signal audio FM dans la bande 87,5 – 108,0 MHz. Le système a été développé par l'European Broadcasting Union (EBU) dans les années 1980 et mis en place dans la plupart de pays européens depuis 1987.

Depuis 1990, le système a été adopté par l'EBU comme un standard nommé CENELEC EN 50067 [3]. Le RDS a connu un succès énorme dans le marché européen : plus de 70% des stations radio européennes en ont actuellement équipé, plus de 50 différentes entreprises fabriquent des autoradios équipés du RDS [4].

Le débit nominal de transmission est de 1187,5 bits/s, soit environ 11 trames RDS par seconde, correspondant à un débit utile de l'ordre de 350 bits/s.

La ressource RDS qui a été utilisée au cours de l'étude, fournie par notre partenaire Sogetec, n'était pas égale à ce débit utile maximal, mais de l'ordre de 100 bits/s. De ce fait, la trame RTCM type 1 (longueur > 600 bits) ne pouvait être transmise en moins de 6 s.

### 3. L'étude nantaise

#### 3.1 La méthodologie et les équipements utilisés

L'étude nantaise s'est appuyée principalement sur des résultats obtenus en dynamique, sur une série de trajets, autour et dans la ville, mettant en jeu de ce fait un environnement varié de type interurbain et urbain avec végétation, traversées d'agglomérations, échangeurs, ponts, petits immeubles divers, etc., sans bâtiments de grande hauteur ni de forte densité. À cet effet, un véhicule (Peugeot 205) a été instrumenté en conséquence et a parcouru 6 circuits différents répartis autour de Nantes, jusqu'à une distance maximale de 40 km de la station FM d'émission et de 35 km de la station de base GPS, un de ces circuits pénétrant dans l'agglomération nantaise. Les infor-

mations de sortie du récepteur DGPS embarqué ont permis de déterminer à la fois la portée et la précision du système.

La réception RDS était conventionnellement considérée comme existante quand l'âge de la correction reçue était inférieur ou égal à 60 s (âge maximal des corrections prises en compte en standard par les récepteurs DGPS utilisés). Au delà, la réception était considérée comme inexistante et le récepteur calculait son point en GPS naturel. La précision a été évaluée en calculant l'écart entre le point DGPS obtenu par la chaîne complète et le point, supposé exact, calculé en cinématique à partir d'un système GPS bi fréquence de référence embarqué dans le véhicule de mesure. Elle a été analysée en fonction de la tranche d'âge des corrections utilisées.

Le tableau II ci-dessous décrit les équipements (matériels et logiciels) utilisés et leur emplacement.

**Tableau II: Équipements utilisés dans l'étude nantaise**

	Équipement	Emplacement	Marque/type
1	Station de base GPS	Sogetec/NRJ, Rezé	NovAtel GPSCard RT2 + PC
2	Codeur RDS	Sogetec/NRJ, Rezé	Audemat RDS 3
3	Émetteur FM	Vertou	Antenne Thomson-LGT
4	Récepteur RDS	véhicule de mesure	Info Télécom FM 30
5	Logiciel de décodage RDS + RTCM	véhicule de mesure	"Passerelle" sur PC écrit par Sogetec
6	Récepteur DGPS	véhicule de mesure	Javad Legacy et Garmin GPS II
7	Récepteurs GPS de référence	base: LCPC, Bouguenais mobile: véhicule	Trimble 7400 Msi + carnets de terrain + GPSurvey

*La carte NovAtel avait été programmée par le logiciel de contrôle du constructeur pour générer un message RTCM de type 1 toutes les 10 s.*

#### 3.2 Les résultats

##### – Portée/couverture

À titre d'exemple, le graphique ci-dessous illustre les résultats obtenus le long d'un des 6 chemins parcourus en matière de couverture RDS. Les portions fines (points) correspondent à une réception correcte DGPS (âge < 60 s), les portions épaisses (croix) correspondent à une mauvaise réception (points GPS naturel ou âge > 60 s). Les ronds représentent respectivement le LCPC, la station de base GPS de Rezé et l'émetteur FM de Vertou. (Figure 2 page suivante).

Les portées maximales observées sur les 6 circuits sont comprises entre 27 et 35 km pour le récepteur Javad et entre 20 et 30 km pour le Garmin.

##### – Précision en dynamique en fonction de l'âge

Le tableau III indique, pour toutes les zones traitées et par tranche d'âge des corrections, le pourcentage de points DGPS dans la tranche (parmi tous les points DGPS) ainsi que le 2drms<sup>6</sup> de la population correspondante. La dernière ligne indique le pourcentage de points en GPS naturel parmi toute la population traitée et le 2drms correspondant.

La précision obtenue en DGPS est très bonne quand l'âge est inférieur à 10 s (2drms de l'ordre de 2 à 3 m) c'est-à-dire aussi bonne que celle qu'on peut observer en statique dans de bonnes conditions de réception de la correction.

Le 2drms croît avec la classe d'âge, comme le prévoit la théorie. Pour une plus grande clarté, nous avons tracé les

**Tableau III: précision des points DGPS en dynamique suivant l'âge des corrections**

Âge	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4		Zone 5	
DGPS	%	2drms	%	2drms	%	2drms	%	2drms	%	2drms
8 – 10	4.8	5	5.2	1.8	4.4	2	10.2	1.8	5.5	2.8
11 – 20	71	6.2	67.1	2.6	53.8	13.4	59.6	2.6	69.1	5.4
21 – 30	11.3	8.2	13	5.2	19.3	21.2	13.7	4.2	9.7	6.2
31 – 40	6.2	16	6.6	13.2	10.3	8.6	7.9	6.8	5.5	10.2
41 – 50	3.8	17.8	3.9	23.8	6.7	29	5.4	51.2	5.7	17.4
51 – 60	2.7	28.6	3.9	38.6	5.5	46.4	3	14.6	4.2	26
GPS	35.4	75.4	44.2	97.8	48	79.2	16.6	85.6	19.6	108.8

6 - 2drms =  $2 \cdot [E(dR^2)]^{1/2}$ , où dR est l'erreur en distance: indicateur de précision couramment employé, représentant le rayon du cercle à l'intérieur duquel la probabilité de trouver le point est comprise entre 0.95 et 0.98. On démontre que  $2drms = 2 \cdot HDOP \cdot \sigma_{URE}$ .

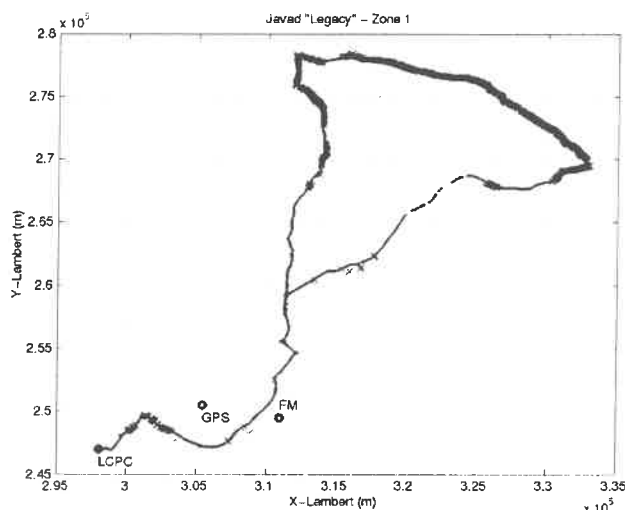


Figure 2 : portée des corrections RDS sur un des 6 circuits parcourus

modèles de régression de degré 2 entre les écarts et les âges pour tous les points DGPS de chaque zone. Ces modèles sont représentés sur la Figure 3. On peut constater qu'ils sont parfaitement en accord avec la Figure 1 présentée plus haut, ce qui confirme la validité des mesures et des traitements.

## 4. L'étude parisienne

### 4.1 La méthodologie et les équipements utilisés

Pour des raisons qui tiennent essentiellement à la configuration propre au milieu urbain (masques, multi-trajets...), nous avons écarté toute solution basée sur des mesures satellitaires pour l'élaboration des trajectoires de référence, comme cela avait été fait à Nantes. Nous avons donc été amenés à développer une méthode originale et un dispositif spécifique, dont la précision est indépendante du site, afin de reconstituer les trajectoires de référence. Ce dispositif est basé sur l'utilisation conjointe de codes barres collés sur la chaussée sur des points géo-référencés qui sont lus au passage du véhicule et d'un odomètre embarqué.

Les équipements utilisés en matière de GPS et de RDS étaient identiques à ceux de l'étude nantaise, à la différence près que la station de base GPS était cette fois un Ashtech Z-12 prêté par l'IGN et élaborant ses corrections différentielles à la cadence de 0.6 s.

### 4.2 Les résultats

#### – Couverture des corrections DGPS par RDS en dynamique dans Paris

Les essais ont eu lieu en dynamique, dans Paris intra-muros, sur 4 trajets découpés en 4 ou 5 tronçons, assez courts pour être considérés comme homogènes. Chaque essai était répété 4 fois. Le nombre de trames RTCM reçues était comparé à une estimation du nombre de trames émises.

La Figure 4 ci-contre présente 3 tranches de taux de trames RTCM prises en compte par rapport aux trames émises. Il apparaît que ce taux de bonne couverture est supérieur à 75 % pour des distances à l'émetteur FM (Tour Eiffel) inférieures à 5 km (trais très épais), même en milieu urbain très dense (centre de Paris). Il est moyen (de 50 à 75 %) lorsque cette distance augmente, en plaine, de 5 à 7 km (trais épais). Il est

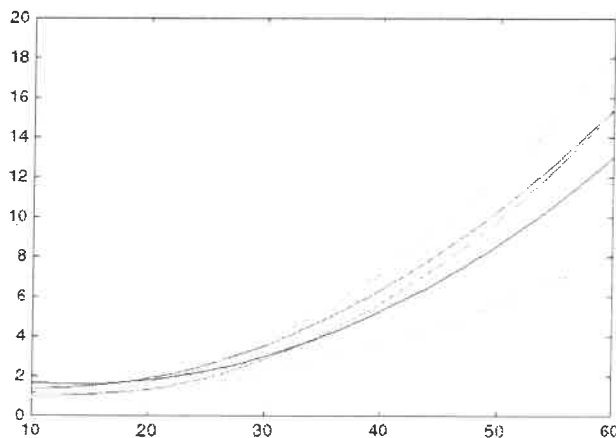


Figure 3 : Modèles de régression de l'écart (en m) en fonction de l'âge (en s) pour les 5 zones (de bas en haut : zone 4, 5, 3, 1, 2)

médiocre (de 15 à 50 %), soit lorsque la distance à l'émetteur est très courte<sup>7</sup> (inférieure à 1 km, trajet 3) ou supérieure à 7 km environ, soit à proximité d'un émetteur HF puissant (Est, trajet 2), soit à cause du relief (colline).

#### – Essais de précision de la localisation statique

Le but était de déterminer la précision des positions obtenues en des points fixes, répartis dans Paris, et situés en jalonnement des trajets de couverture RDS. Les essais ont eu lieu en immobilisant le véhicule, l'antenne GPS étant à l'aplomb de points de référence préalablement implantés avec une précision millimétrique. La durée d'observation était de 15 minutes par point. Un logiciel permettait le recueil des trames GGA.

On remarque immédiatement que les résultats en site urbain sont sensiblement moins bons que ceux observés à Nantes mais néanmoins satisfaisants.

On observe également que le 2drms augmente avec la distance à l'émetteur, avec un écart de 3 m entre le calcul obtenu pour le point le plus proche et le point le plus éloigné de celui-ci. C'est assez révélateur de l'impact de la configuration urbaine sur la transmission des corrections RDS, et cela confirme les conclusions que l'on peut tirer des résultats obtenus ci-dessus pour la couverture.

#### – Influence des perturbations électromagnétiques

Le cas des Buttes Chaumont\* est particulièrement intéressant. La dispersion des positions DGPS observées est nettement supérieure à l'ensemble des autres points. C'est un lieu particulièrement perturbé sur le plan électromagnétique par la présence proche d'un émetteur puissant. La dégradation de la précision observée est probablement imputable à un bruitage local des signaux FM.

#### – Essais de précision de la localisation dynamique

Le but était de déterminer la précision de la localisation par rapport à des trajectoires de référence situées en circuit fermé autour du LCPC. La trajectoire de référence était élaborée grâce à une méthode originale basée sur un dispositif de lecture de codes barres. Les calculs de précision ont été effectués sur chaque tronçon répété 30 fois.

Le trajet comportait une grande partie des différentes configurations que l'on peut trouver en milieu urbain : avenue large, arbres, rue étroite, rue moyenne, immeubles élevés, immeubles

7 - On observe ici un effet de saturation du récepteur RDS lorsque l'on se trouve trop près de l'émetteur FM.



**Tableau IV: précision en statique suivant la position, à l'intérieur de Paris**

Points	2drms/âges faibles <sup>a</sup>	2drms global	d'émetteur
Trocadéro	3.1	4.9	d ≤ 4 km
Catalogne	1.6	4.3	
Wagram	2.0	4.1	
Châtelet	3.0	5.5	
Clichy	2.4	4.6	
République	3.8	7.6	4 km < d ≤ 6 km
Italie	3.4	6.4	
Bastille	4.6	6.3	
Buttes*	9.0	12.1	6 km < d ≤ 8 km
Nation	4.5	7.8	

de hauteur moyenne, etc. Le trajet a été découpé en plusieurs tronçons comportant chacun des caractéristiques spécifiques. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau V ci-dessous.

**- Influence de la typologie de voie**

On observe nettement que la précision obtenue est bien meilleure lorsque la configuration urbaine environnante est favorable et dans ce cas, lorsque l'âge des corrections reçues est faible, la précision de la localisation peut descendre en dessous du mètre.

Le tronçon HI est clairement l'illustration de l'impact des multi-trajets sur la précision de la localisation. Malgré la réception de corrections "récentes", la précision est médiocre (>30 m).

**- Impact de l'ouverture des rues sur le ciel et de l'heure**

On peut globalement constater que l'absence d'un nombre suffisant de satellites en vue du véhicule a un effet prépondérant. En effet, malgré la réception de corrections RDS, le pourcentage du temps pour lequel le matériel GPS était dans l'incapacité, faute de satellites, de fournir une position, est très important.

De plus, nous avons constaté des variations importantes en fonction de l'heure (le nombre de satellites pouvant passer de plus de 5 à 0 en l'espace de quelques heures).

## 5. Conclusion générale de l'étude

### 5.1 Couverture

Le RDS constitue un moyen efficace de transmettre les corrections DGPS jusqu'à une distance maximale de l'émetteur FM de l'ordre de **20 à 35 km** en milieu interurbain et de l'ordre de **5 km** à l'intérieur de Paris. Les écarts sont bien entendus dus aux conditions particulièrement difficiles de propagation des ondes radio en site urbain.

Même à l'intérieur de ces limites, il subsiste encore un pourcentage de 10 à 20 % de mesures qui ne peuvent être exploitées en mode différentiel, du fait d'une correction trop âgée provenant de défauts de transmissions.

Ces problèmes sont clairement corrélés au **faible débit de la liaison RDS** qui nécessitait, dans notre cas, une durée de 8 s au minimum pour la transmission d'une trame complète de corrections RTCM-104 de type I. Le contrôle de la composition des trames RDS nous obligeait en effet à rejeter, en cas d'erreur partielle de transmission, toutes les trames RDS (entre 16 et 20) contenant les corrections et à attendre une nouvelle série pour reconstituer les corrections.

### 5.2 Précision

Parmi les points effectivement traités en mode différentiel (âge < 60 s), les résultats en termes de précision se sont

**Tableau V: précision en dynamique sur les différents tronçons parisiens**

Âge(s)	DE		FG		HI		JK		LM		AB	
	%	2drms	%	2drms	%	2drms	%	2drms	%	2drms	%	2drms
≤	3,2	3.3	2,5	4.7	4,3	31.6	3,1	8.6	4,2	6.5	0,0	N.S.
10 - 20	21,1	3.8	19,8	5.6	15,3	48.1	23,7	10.0	28,4	4.2	1,1	N.S.
20 - 30	13,5	5.2	6,5	7.3	1,9	N.S.	18,0	12.0	12,5	9.0	0,4	N.S.
30 - 40	15,0	7.9	3,0	3.7	1,1	N.S.	8,3	17.9	5,5	16.7	0,7	N.S.
40 - 50	8,5	10.9	4,4	16.7	0,0	N.S.	4,8	30.6	5,9	N.S.	0,4	N.S.
50 - 60	2,3	9.5	5,3	16.8	0,3	N.S.	1,5	N.S.	0,0	N.S.	0,0	N.S.
GPS brut	6,6	89.8	6,7	87.4	2,6	N.S.	3,7	N.S.	2,4	N.S.	0,0	N.S.
Pas de GPS	29,8		51,9		74,5		37,0		41,2		97,4	

(N.S. = Non Significatif, pour cause de nombre de points insuffisant)

<sup>a</sup> - Inférieur à 10 ou 20 secondes selon les cas.

avérés parfaitement conformes aux attentes, au sens où nous avons confirmé la **dégradation parabolique de la précision** en fonction de l'âge des corrections, due à l'évolution aléatoire de la SA.

Avec un récepteur haut de gamme tel le JAVAD, capable de tirer le meilleur des mesures GPS et pour des corrections âgées de moins de 10 s, les précisions, en dynamique comme en statique, sont excellentes. Elles sont de l'ordre de **2 m** (2drms) en rase campagne et **3 m** en ville. En fonction de l'âge, l'erreur 2drms augmente ensuite jusqu'à des valeurs de l'ordre de 15 à 30 m suivant les zones. Ceci nous amène à des valeurs moyennes de **2drms entre 5 et 10 m, tous points DGPS confondus**, ce qui apporte une nette amélioration par rapport au GPS naturel (2drms = 100 m) mais reste encore éloigné de l'objectif final du mètre.

### 5.3 Perspectives

Malgré les résultats globalement satisfaisants du RDS, il est évident qu'une **transmission à plus haut débit** (de type DARC<sup>9</sup> ou DAB<sup>10</sup>) améliorerait significativement les performances finales et devrait permettre de reconstruire des corrections fraîches sur toute la zone de couverture commerciale de la station FM, donnant ainsi l'accès effectif à la précision métrique recherchée.

D'autre part, en milieu urbain, on constate également que le facteur le plus défavorable à une localisation précise et permanente n'est pas le RDS mais le **nombre insuffisant de satellites disponibles** en condition de circulation classique. En conséquence, même avec un excellent medium de transmis-

sion, l'avenir de la localisation précise par satellites en zone fortement urbanisée passe par le développement d'aides externes de type fusion avec capteurs inertiels, avec ou sans techniques de "map-matching", et/ou par l'utilisation des données de plusieurs systèmes satellitaires (GPS + GALILEO + GLONASS...).

## 6. Références

- [1] Elliott D. Kaplan, *Understanding GPS: Principles and Applications*, Artech House Publishers, 1996.
- [2] Norme RTCM SC-104, version 2.2, RTCM paper 11-98/SC104-STD, janvier 1998.
- [3] CENELEC EN 50067, *Specification of the Radio Data System (RDS) for VHF/FM sound broadcasting in the frequency range from 87.5 to 108.0 MHz*, 1998.
- [4] European Broadcasting Union/RDS Forum – The Association of RDS Users, *RDS Universal Encoder Communication Protocol UECF Version 5.1*, SPB 490 (5<sup>th</sup> Revision), Geneva, août 1997.
- [5] Akio Yasuda, Naoto Tanaka et Hiromune Namie, *DGPS Correction Data Dissemination in Japan and Evaluation of the Positioning Accuracy*, VII-P-02, pages 1-6, GNSS 98, Toulouse, 20-23 octobre 1998.

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées - Centre de Nantes  
Route de Bouaye - BP 4129 - 44341 - Bouguenais CEDEX  
Laboratoire Central des Ponts et Chaussées - Centre de Paris  
58 Bd Lefebvre - 75732 - Paris CEDEX 15

9 - DARC: Data Radio Channel: évolution haut débit du RDS, à 10 kbauds.

10 - DAB: Digital Radio Broadcasting: nouvelle norme de radio numérique, à 1.5 Mbauds.

## 19<sup>e</sup> édition de l'Ecole d'Astronomie de Toulouse

Stage du 29 juillet au 5 août 2000 - dans les locaux de l'Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace.

Il s'adresse aux astronomes amateurs (14 à 77 ans). 60 heures de cours en modules différents selon le niveau et les centres d'intérêt. Soirées d'observation sur site en campagne et travail en petits groupes de 4 personnes.

Une vingtaine de télescopes, dont 6 de diamètre supérieur à 330 mm.

Observations au télescope de 82 cm de l'association Adagio.

Conférenciers de renom et visites scientifiques, visite guidée de l'observatoire au Pic du Midi.

Demandez le dossier complet "Ecole d'Eté 2000" à l'association ADAGIO  
10, rue Alphonse-Daudet - 31200 Toulouse.

■ La zone de Forbach nord, en Moselle, est composée d'emprises industrielles qui doivent être désaffectées. Dans ce contexte de reconversion des réflexions sont menées depuis 1994 sur l'urbanisme, les activités et la circulation dans la région.

Pour aider à la décision, des travaux de modélisation ont été réalisés. De nouveaux outils photogrammétriques permettent de réaliser des modèles surfaciques photoréalistes pour apprécier l'impact des infrastructures en projet. Le cabinet de géomètres Guelle et Associés a été sollicité pour cette réalisation dont il relate les principaux enjeux. ■

## modélisation photoréaliste en 3D

sur le site du puits  
Simon à Forbach

Laurent Fuchs - Ing. Géomètre - ENSAIS

### Résumé

L'entrée en force du numérique dans le monde de la photogrammétrie a permis l'émergence de nouveaux types de produits au premier rang desquels figure l'orthophoto dont la qualité principale est de lier l'exactitude géométrique d'un plan à la lisibilité d'une photographie. De nouveaux outils photogrammétriques permettent aujourd'hui de générer des modèles surfaciques photoréalistes, utiles aux aménageurs d'une part pour visualiser l'impact d'infrastructures projetées mais aussi en tant qu'instrument de communication. De par son expérience dans le domaine de la photogrammétrie aérienne et terrestre, le cabinet GUELLE & ASSOCIÉS a été sollicité pour réaliser la modélisation photoréaliste de la zone de Forbach-Nord dont cet article se propose de relater les principaux enjeux techniques et humains.

**Mots clés :** Photogrammétrie numérique, modèles surfaciques photoréalistes, études d'impact des projets architecturaux.

## I. Contexte et principes techniques directeurs de la modélisation

Les travaux de modélisation réalisés sur la zone de Forbach-Nord s'inscrivent dans le **contexte plus large de la reconversion spatiale, économique et urbaine d'un territoire représentant plus du tiers du ban communal de Forbach**. En effet, le territoire de FORBACH-NORD, d'une

superficie de plus de 550 ha, est presque exclusivement composé d'emprises industrielles minières (carreaux, terril, carrières, voies ferrées), qui progressivement vont être désaffectées. Afin de préparer la reconversion de ces sites, plusieurs études ou réflexions ont été menées depuis 1994, et ceci dans plusieurs cadres :

- Études d'urbanisme et études techniques préalables dans le cadre de la politique régionale de traitement des espaces dégradés.
- Études de faisabilité de parcs d'activités transfrontaliers dans le cadre du programme d'étude EUROZONE (co maîtrise d'ouvrage franco-sarraise).
- Étude de circulation sur l'espace frontalier à l'initiative du Département de la Moselle et du Land de Sarre.

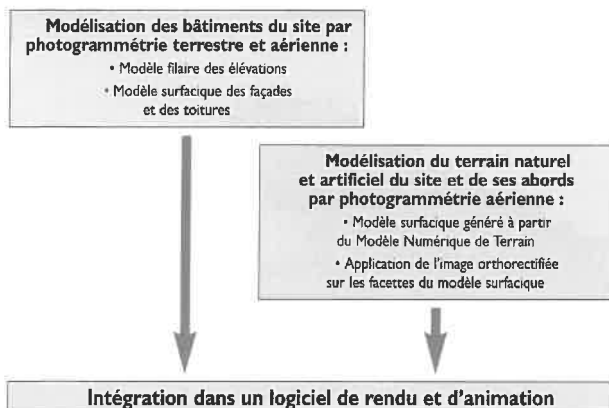
Ces différentes approches ont permis de mettre en évidence les enjeux et les potentialités que représente la reconversion de ce site charnière entre les agglomérations de SARREBRUCK et de FORBACH, à savoir les enjeux économiques, urbains, environnementaux précités auxquels s'ajoute un enjeu patrimonial avec la préservation d'un ensemble de bâtiments industriels caractéristiques de l'architecture et de l'industrie minière du début du siècle (puits Simon I et II).

Figure 1 : vue d'ensemble du carreau SIMON





Les principes techniques directeurs de la modélisation se schématisent simplement de la façon suivante :



## 2. Prises de vue et travaux de topométrie terrestre

### 2.1. Prises de vue aérienne

Les prises de vue aériennes ont été réalisées à l'aide d'une chambre de prises de vues ZEISS LMK 3000 dotée d'une plateforme stabilisée et d'un système de compensation de filé. L'ensemble de la zone à modéliser a été couvert à l'aide d'une bande de prises de vues au 1/10 000, réalisées à l'aide d'une focale de 150 mm.

### 2.2. Prises de vue terrestre

Les prises de vue terrestre ont été réalisées avec deux types de chambres de prises de vue :

- Une **chambre métrique ROLLEI 6006**, boîtier au format 6 x 6 cm équipé d'une focale Zeiss Distagon de 40 mm. Les paramètres d'orientation interne de la chambre ont été étalonnés et sont réputés stables.
- Un **appareil numérique non métrique Olympus C 1400 L**, doté d'un boîtier de type reflex, et muni d'un capteur CCD 2/3 de pouce (matrice image de 1280 x 1024).



Figure 2 : La chambre de prises de vue métrique ROLLEI 6006



Figure 3 : L'appareil numérique Olympus C 1400 L.

### 2.3. Détermination des points de calage

L'orientation externe des clichés (aériens et terrestres) a nécessité le mesurage et le calcul de points de calage dans le système LAMBERT I – IGN 69. Les photos aériennes ont été référencées en utilisant la technique du GPS temps réel, qui a également servi à déterminer les coordonnées des points de polygonation nécessaires au levé des points de calage sur les façades des bâtiments. Ces points ont été déterminés en utilisant la technique des intersections 3D pour les points inaccessibles, et la tachéométrie pour les autres. Les coordonnées obtenues sont de qualité centimétrique.

## 3. Modélisation surfacique du sol

L'ensemble de la zone à modéliser, qui représente 921 hectares (le site du puits Simon 6 hectares), a été couvert par une bande de 6 clichés au 1/10 000 présentant 60 % de recouvrement.

### 3.1. Géométrie

La première étape a consisté à réaliser la **stéréorestitution analytique** du modèle numérique de terrain à l'échelle du 1/2500. Les objets restitués rentrent dans deux catégories principales : d'une part le semis de points cotés (un point tous les 25 m), d'autre part les lignes de ruptures définissant le modèle du point de vue topologique. Ces objets ont ensuite été « ventilés » dans des couches du type « Voirie », « Hydrographie », « Courbes de niveau », « Forêts-Bois », « Bâtiments », en prenant soin de restituer également les différentes masses forestières. Cette étape de restitution a bien entendu été précédée de la phase de calcul de l'orientation externe des clichés par aérotriangulation (calcul en bloc par la méthode des faisceaux effectué à l'aide du logiciel BINGO version 4.0 : emq effective de 8 cm en planimétrie, et de 4 cm en altimétrie).

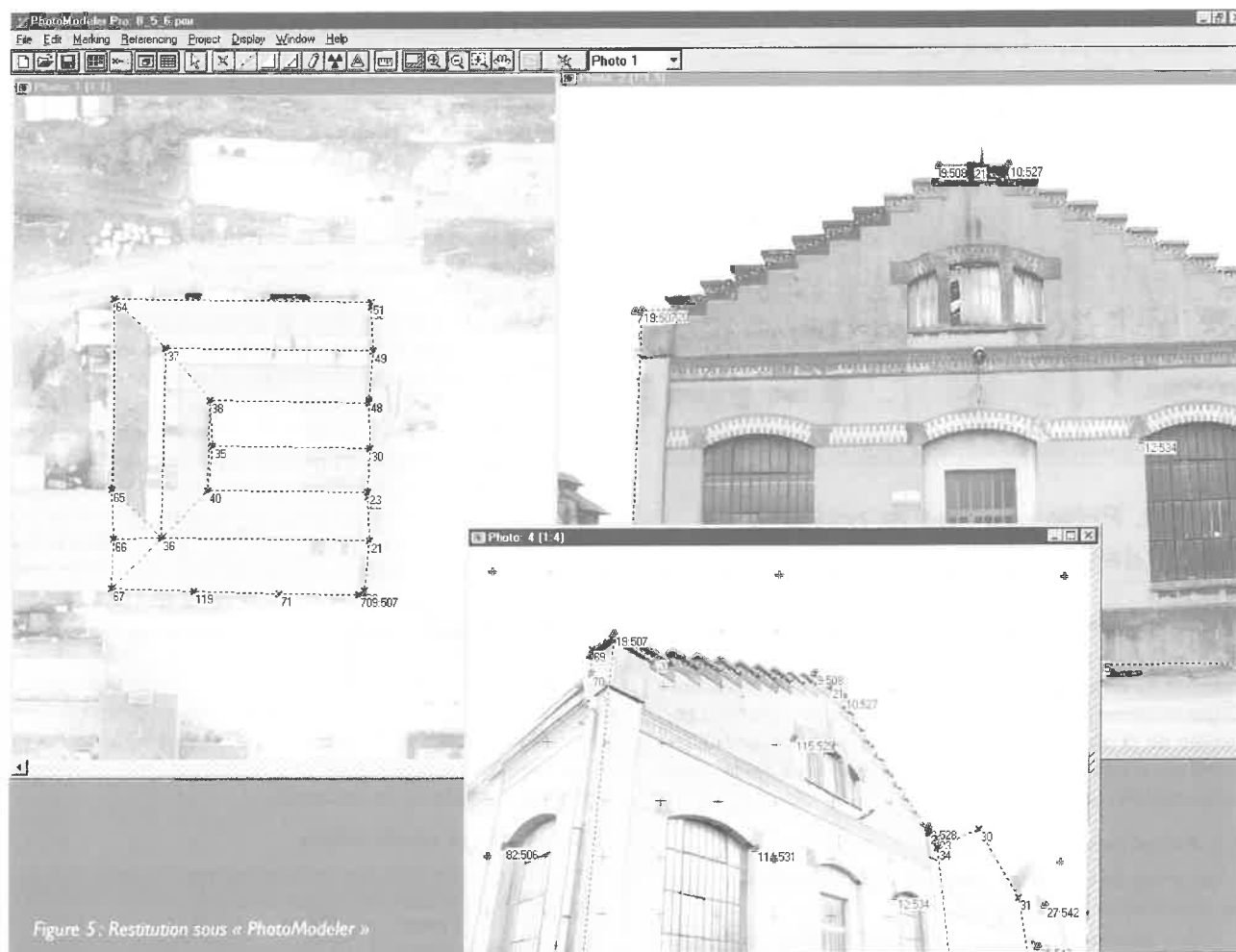
L'étape suivante a consisté, à partir de ces données ponctuelles et filaires, à **générer un modèle surfacique** susceptible d'être doté de propriétés photoréalistes. Des entités AutoCAD de type « 3Dfaces » ont ainsi été générées par l'appliquatif AutoSURF de PC Vision, à partir du semis de point et des lignes de ruptures issues de la stéréorestitution (triangulation par la méthode de Delaunay).

### 3.2. Habillage photoréaliste



Figure 4 : Fenêtre d'affichage de l'image dans « OrthoEngine »

Cette étape nécessite l'**orthorectification** et le **géoréférencement** des clichés aériens numérisés, afin de pouvoir les rendre superposables au modèle surfacique créé précédemment. La version 6.0.2 du logiciel « OrthoEngine » (PCI) a été utilisée pour mener à bien cette tâche qui nécessite, outre l'existence d'un modèle numérique du terrain, la connaissance des paramètres d'orientation externe de chaque cliché. Ces données de base permettent d'attribuer à chaque pixel de l'orthophoto une valeur radiométrique dans chacun des trois canaux fondamentaux de l'image RVB, valeur déterminée par exploitation des équations de colinéarité et d'une méthode d'interpolation des niveaux de gris (plus proche voisin, bilinéaire ou bicubique).



Le modèle photoréaliste du sol a ensuite été créé dans « 3D Studio Viz » (KINETIX), où l'orthophoto a été attribuée en tant que propriété diffuse (réponse de la surface considérée à l'éclairage d'une source lumineuse directe) au modèle surfacique décrit précédemment.

#### 4. Modélisation surfacique des bâtiments du site

La modélisation des bâtiments du site du carreau SIMON, a été réalisée à l'aide du logiciel « PhotoModeler » (version PRO 3.0) développée depuis 1993 par la société « EOS System » basée à Vancouver.

« PhotoModeler » est un logiciel de photogrammétrie « multi-images », exploitant des mesures monoscopiques qui permet d'exporter, outre des modèles filaires, des modèles surfaciques avec association directe de textures directement issues des photos ayant servi à la restitution de la géométrie de l'objet.

#### 4.1. Géométrie

La géométrie des bâtiments du site a été restituée en exploitant des blocs de clichés hétérogènes constitués :

- d'un couple de photographies aériennes au 1/4 000 (pixel-sol d'environ 15 cm);
- d'un bloc de clichés terrestres constitué d'une image numérique couleur non-métrique (pixel-objet 15 mm) pour 3 images métriques noir et blanc (pixel-objet 5 mm).

Outre le **modèle coplanarité-similitude d'orientation externe** des clichés (application de la condition de coplanarité

aux faisceaux perspectifs suivie d'une transformation de similitude permettant d'orienter et de mettre à l'échelle le modèle précédemment créé par orientation relative), le logiciel « PhotoModeler » permet également de mettre en œuvre le **modèle de compensation en bloc par la méthode des faisceaux** (utilisation de la condition de colinéarité liant directement les coordonnées-photo et les coordonnées-objet d'un point). Entre autres raffinements, cette méthode permet de libérer les données d'orientation interne des images non-métriques (inconnues supplémentaires du calcul), obligeant en quelque sorte le cliché numérique non métrique à s'adapter au reste du bloc constitué de clichés métriques (données d'orientation interne étalonnées et réputées stables). En terme de précision, l'usage mixte de clichés terrestres non-métriques et de clichés métriques (dans la proportion de 1 pour 3) permet d'obtenir une précision effective moyenne d'environ 2 à 3 cm selon les configurations géométriques, largement suffisante pour le type d'application évoqué ici. Évidemment, les points restitués à l'aide des couples d'images aériennes auront une précision moindre, compte tenu de la taille du pixel-sol (limitée par les capacités machine).

#### 4.2. Habillage photoréaliste

L'habillage photoréaliste est géré directement par le module d'export de « PhotoModeler », qui permet d'associer les extraits d'images orthorectifiées aux diverses facettes restituées sur l'objet.

Les principaux formats d'export sont accessibles à l'utilisateur, dont le format VRML (Virtual Reality Modeling Language) dédié aux applications internet, mais aussi le format 3D Studio qui est le format privilégié d'export dans le cadre de la modélisation du puits SIMON.

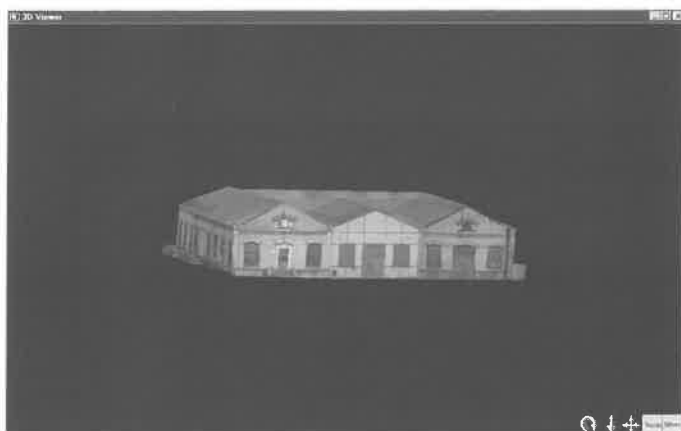


Fig. 6 : La fenêtre « 3D viewer » permettant de visualiser les modèles surfaciques

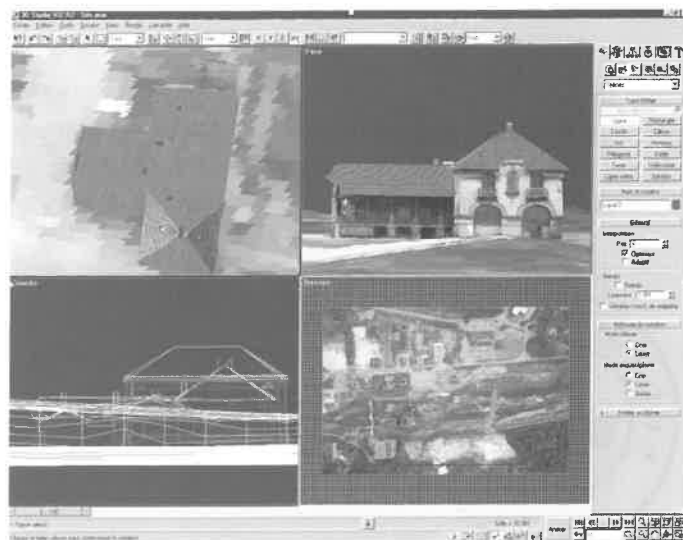


Fig. 7 : Vue du modèle intégrant sol et bâtiments (fenêtre 3D Studio VIZ)

## 5. Intégration des modèles

L'intégration des modèles se déroule sans problèmes particuliers sous 3 D Studio VIZ, puisque chaque fichier au format 3DS exporté depuis « PhotoModeler » est référencé Lambert I – IGN 69. La figure 7 permet de visualiser le modèle intégrant sol et bâtiments.

## 6. Résultats et conclusion

Une fois le modèle importé dans « 3D Studio VIZ », il est possible de générer d'une part des rendus de vue, mais aussi des animations. Les formats les plus courants sont supportés par 3DS, à savoir TIFF, JPEG, GIF etc. pour les rendus statiques et AVI, VRML etc. pour les animations.

L'une des fonctionnalités les plus intéressante offerte alors à l'utilisateur est de pouvoir visualiser l'insertion dans le site de nouveaux projets d'aménagements et de pouvoir mesurer leur impact visuel sur le milieu urbain et/ou naturel environnant.

Les outils logiciels ainsi que les méthodes présentées dans cet article permettent, une fois de plus, de mesurer le profond changement provoqué par l'entrée en force du numérique dans le monde de la photogrammétrie. Si cette « petite révolution » peut sembler correspondre de prime abord à une banalisation du métier de photogrammètre, il faut tout de même garder à l'esprit que la grande flexibilité qui caractérise la photogrammétrie numérique n'est pas sans limite, et qu'il faut aujourd'hui plus que jamais maîtriser les bases théoriques de la discipline afin d'être en mesure d'assurer d'une part sa mise en œuvre dans les « règles de l'art » et d'autre part une analyse correcte des résultats obtenus.

Charge à l'ensemble de la profession, à présent regroupée au sein du SNEPPIM (Syndicat National des Entreprises Privées de Photogrammétrie et d'Imagerie Métrique) de communiquer son savoir-faire à l'ensemble des donneurs d'ordres publics ou privés.

E-mail : [guelle.associes@wanadoo.fr](mailto:guelle.associes@wanadoo.fr)



Fig. 8 : Vue de direction Nord-Ouest Sud-Est permettant de visualiser l'insertion du site dans une unité naturelle



■ La réglementation concernant les copropriétés marocaines oblige la participation d'un ingénieur géomètre topographe pour le traitement technique des dossiers, de la construction à la mise en service. Les détails et la masse d'informations à représenter font de l'établissement du plan de copropriété une étape très longue. Il s'agit de trouver les méthodes et les outils permettant de remédier à ce problème. ■



# **copropriété : automatisation du dessin des plans**

**Mourad Bouziani – Tayeb Tachallait – Hamoun El Ghaziani**  
(enseignants-chercheurs à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II)  
**A. Kachach (Ing. Topographe à la Direction des Affaires Rurales)**

## **Introduction**

La copropriété est le statut des immeubles destinés à être divisés et aliénés par étages ou par appartements. C'est une forme de morcellement applicable à certains immeubles bâtis.

La copropriété constitue un champ d'action très important pour le topographe marocain. Les tâches qui lui sont confiées témoignent du rôle capital qu'il joue dans le développement de ce genre de construction.

Selon la réglementation en vigueur, la copropriété est traitée par un ingénieur géomètre topographe agréé, à la charge du propriétaire, après la construction de l'immeuble. Le traitement technique d'une copropriété passe par plusieurs opérations que l'on peut regrouper en quatre phases :

- Consultation du dossier cadastral de la propriété concernée.
- Opérations de terrain (mise à jour du titre foncier et levé des parties divisées et indivises).
- Opérations de bureau (contrôle des limites, dessin des plans, calcul des millièmes relatifs à chaque fraction, établissement du règlement et constitution du dossier à déposer au cadastre).
- Vérification et contrôle du dossier de copropriété par le service du cadastre.

## **Problématique**

L'établissement des plans de copropriété demeure une opération délicate dans sa réalisation. En effet, le souci d'un dessin précis des détails et l'intensité de l'information à représenter ont fait de l'établissement de ces plans une étape très longue dans le processus technique de traitement d'une copropriété. Il est donc nécessaire de remédier à ce problème.

L'objectif d'une étude menée au sein de la filière de formation en topographie de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II est de créer une application qui permet le dessin des plans de copropriété en respectant les normes marocaines d'établissement et de présentation de ce type de plan.

## **Solution**

Les logiciels de dessin assisté par ordinateur sont de très puissants outils. La vitesse et la facilité avec lesquelles un dessin peut être mis en place et modifié en utilisant un micro-ordinateur, offre un très précieux gain de temps par rapport à l'exécution manuelle. Dans le cadre de cette étude, nous avons créé des programmes qui facilitent et accélèrent l'exécution du dessin de copropriété en respectant les normes cadastrales

marocaines. Ces programmes, établis en langages AutoLISP et C, rendent le logiciel AutoCAD Map\* bien adapté à ce type de dessin.

La facilité de personnaliser le logiciel AutoCAD Map en fonction du travail à accomplir explique son choix pour la réalisation de ce travail.

## **Méthodologie**

Pour atteindre l'objectif escompté, nous avons procédé de la manière suivante :

**1 - Établir un module en C** qui permet la saisie, l'édition et la modification des données relatives à la propriété concernée. Il s'agit des données de l'assiette foncière, des paramètres de l'habillage et des éléments de l'échelle verticale. Ces données sont stockées dans des fichiers pour être utilisées au moment de l'exécution du dessin.

**2 - Créer des macroprogrammes en AutoLISP** qui réalisent :

- le dessin automatique de l'assiette foncière.
- le dessin des éléments de chaque étage.

\*AutoCAD Map : Logiciel de cartographie basé sur Autocad. La filière de formation topographique de l'IAV Hassan II dispose de la version 3.0.

- l'habillage interne du dessin.
- le dessin automatique du quadrillage et de l'habillage externe.
- le dessin automatique de l'échelle verticale.
- le calcul des contenances de toutes les fractions.
- le tracé automatique du tableau des contenances.

### 3 - Personnaliser le menu d'AutoCAD Map en y ajoutant les nouvelles commandes créées

## Menus

Pour pouvoir exécuter facilement les programmes créés, nous avons établi des menus déroulants propres au dessin des plans de copropriété. Les nouveaux menus se présentent comme suit:

- Menu **DONNÉES**: Il contient trois options:
  - SAISIE
  - VISUALISATION
  - MODIFICATION

Chacune de ces trois options traite les données relatives aux paramètres de l'habillage, des coordonnées des bornes de la propriété et les données verticales.

- Menu **DESSIN**: Le dessin de l'assiette foncière est réalisé automatiquement à l'aide des données extraites du fichier des bornes. Les éléments internes de chaque niveau sont dessinés à l'aide des mesures de distances effectuées lors du levé. À chaque type de détails, le programme charge automatiquement le type de trait en lui affectant l'épaisseur adéquate. Ce menu comprend le jeu de dessin suivant:

- ASSIETTE
- BORNES
- MURS
- FENÊTRES
- PILIERS
- GAINES
- OUVERTURES
- LISERE
- LIMITE MITOYENNE
- ESCALIERS

- Menu **DÉTERMINATION**: Ce menu est composé d'un ensemble de commandes permettant la détermination de la position d'un point conformément à la méthode de levé suivi sur le terrain. On y trouve:

- ALIGNEMENT
- PARALLÈLE
- PERPENDICULAIRE
- MULTIALTERATION

- Menu **SURFACE**: Ce menu contient les deux options suivantes:

- **CALCUL DES SURFACES**: en définissant les limites des fractions, ce module permet de calculer automatiquement la surface de chacune d'elles. À chaque fraction est lié à un ensemble d'informations (nom, indice, consistance, observations) qui sont utilisées pour le dessin du tableau des contenances.
- **TABLEAU DES CONTENANCES**: une fois le calcul des surfaces réalisé, ce module permet l'insertion du tableau des contenances. L'utilisateur n'aura plus à se soucier ni des styles de texte ni des hauteurs des écritures ni de leurs emplace-

ments dans le tableau. Le tout est réalisé automatiquement.

- Menu **COUPE VERTICALE**: L'échelle verticale est une coupe de l'immeuble selon un plan donné. Son objectif est de montrer les hauteurs des différents étages par rapport au trottoir de la façade principale de l'immeuble. Le dessin de cette échelle est réalisé automatiquement à l'aide des données extraites du fichier des niveaux. Pour chaque niveau, le programme indique le nom de celui-ci et les hauteurs au-dessous et au-dessus de chaque dalle. Il effectue aussi le hachurage automatique des épaisseurs des dalles.

- Menu **HABILLAGE**: Ce menu contient un ensemble d'options relatives à l'habillage interne et externe du dessin:

#### – HABILLAGE INTERNE

- HACHURAGE
- INDICES
- COTATION
- DESTINATION
- ÉCRITURES

- **HABILLAGE EXTERNE**: Cette commande permet le dessin du quadrillage et l'insertion des informations de l'habillage externe.

## Évaluation de l'application

Pour pouvoir utiliser définitivement l'application, celle-ci a été validée sur des données concrètes. Cette validation a permis d'évaluer l'efficacité de la méthodologie adoptée et voir jusqu'à quelle limite les programmes développés ont été satisfaisants pour l'exécution du dessin des plans de copropriété.

L'application développée permet de réaliser le dessin d'une façon facile et rapide tout en respectant les normes cadastrales marocaines.

Du point de vue esthétique, le dessin présente une homogénéité. Pour chaque type d'information, les styles des écritures et leurs dimensions sont uniformes dans tout le dessin (*tableau 1*). Les types des traits et leurs épaisseurs sont chargés automatiquement en fonction des détails à dessiner (*tableau 2*).

Le module de dessin crée automatiquement plusieurs couches traitant chacune un type donné d'information. Ainsi, si on désire dessiner un second étage, il sera possible de conserver les couches qui contiennent les informations communes. De plus, lors de la sortie sur table traçante, on peut attribuer à chaque couche un stylet donné afin d'obtenir des épaisseurs différentes de traits conformément aux normes cadastrales (*tableau 3*).

Pour profiter pleinement des possibilités offertes par l'application, il est souhaitable de respecter l'ordre indiqué dans la *figure 1*.

## Bibliographie

- **Autodesk, Inc., 1998**: « Utilisation d'AutoCAD Map, manuel d'utilisation. »
- **Louis-Marcel POMMARET, 1984**: « Le statut de la copropriété dans les immeubles vendus par appartements », Rabat, 1984.
- **M. BOUZIANI et A. KACHACH, 1996**: « Etude de la copropriété et adaptation du logiciel AutoCAD pour le dessin des plans de copropriété. » IAV Hassan II, 1996.



Type d'information	Style d'écriture	Hauteur (mm)	Inclinaison (degré)	Rotation (degré)
Nom de la propriété	Romand	5.0	0	0
Situation	Romans	2.5	20	0
Numéro du titre	Romand	3.5	0	0
Provenance du titre	Romans	3.0	0	270
Échelle	Romand	4.0	0	0
Date du levé	Romans	3.0	0	0
Carte topographique	Romans	2.0	0	0
Mappe de repérage	Romans	2.0	0	0
Entreprise Romans	2.5	0	0	0
Géomètre Romans	2.5	0	0	0
"DIVISION PAR APPARTEMENTS"	Romanc	10.0	0	0
"DIVISION DU CADASTRE"	Romans	2.0	0	0
"Plan certifié conforme à l'état des lieux"	Romans	2.0	0	0
Coordonnées	Romans	2.0	0	variable
Numéros des bornes	Romand	2.0	0	0
Numéros des vers-bornes	Romans	2.0	20	variable
Cotations	Romans	1.5	0	variable
Natures des pièces	Romans	3.0	0	0
Indices des fractions	Romand	3.0	0	0
"Tableau des contenances"	Romand	4.0	0	0
Titres du tableau	Romans	3.0	0	0
Informations du tableau	Romans	2.0	0	0
"Échelle verticale des hauteurs"	Romand	4.0	0	0

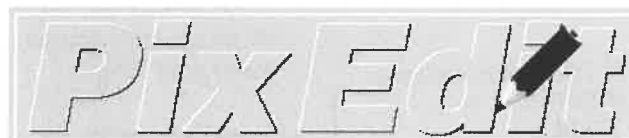
Tableau 1 - Styles d'écritures utilisées

Nature du dessin	Type de trait utilisé	Épaisseur du trait (mm)
Quadrillage	Continu	0.4
Liséé	Continu	0.4
Limite mitoyenne	Trait en axe	0.4
Partie en surplomb	Discontinu	0.2
Détails internes	Continu	0.2
Hachures	Continu	0.1
Piliers et gaines	Continu	0.4
Tableau des cont.	Continu	0.2
Échelle verticale	Continu	0.2

Tableau 2 - Types et épaisseurs des traits utilisés dans le dessin

Nom de la couche	Type d'information
ASSIETTE	Limite de la propriété
LIMITES	Limites des fractions
HAB-INT	Habillage interne
HAB-EXT	Habillage externe
PILIER-GAINE	Piliers et gaines
ECH-VERT	Echelle verticale des hauteurs
TAB-CONT	Tableau des contenances
DETAILS	Détails internes de l'immeuble

Tableau 3 - Répartition des couches dans le dessin



**PixEdit** est un éditeur de fichiers raster pour le scannage de grands plans, cartes, cadastre, A0 et plus : dessin modifications impression archivage.  
Version téléchargeable, tarifs et descriptif sur :  
<http://www.pixedit.net>

Contact : MERCI PixEdit Distribution 03 85 37 58 78



■ Avec un GPS portable le report des coordonnées sur le fond de carte peut poser un problème pratique. Dans le dernier numéro de cette revue, Henri Dufour nous livrait des programmes rédigés sur une simple calculatrice (HP 32 SI) et qui peuvent être d'une utilité non seulement pour les randonneurs, mais aussi pour les utilisateurs des deux systèmes projectifs de France (Lambert et UTM).

Dans l'article qui suit l'auteur fournit des précisions à son premier exposé.■

## transformation des réceptions gps en coordonnées cartographiques (suite)

# GPS et coordonnées en projection

**Henri Dufour**  
ingénieur général géographe (CR)

On désire ici donner des précisions supplémentaires au précédant exposé (AFT N°82 pages 54 à 56) à divers points de vue :

**A/** Préciser les raisons qui nous font préférer, pour le passage des réseaux locaux au réseau mondial GPS (sur WGS 84) l'usage des coordonnées en projection à celui des coordonnées tridimensionnelles.

**B/** Proposer aux "constructeurs" GPS.

1 - De ne faire des calculs que sur l'ellipsoïde WGS 84.  
2 - De réaliser un programme relativement simple "dit GPS 4" qui permettrait de donner à l'utilisateur les principales projections conformes utilisées dans le monde entier. Ce programme, installé sur un récepteur GPS permettrait à l'opérateur, une fois introduites les caractéristiques des projections, de connaître en temps réel, en tout lieu :

- sa position en WGS 84 (UTM) normalisé,
- sa position dans 2 projections conformes arbitraires (STEREO, MERCATOR, LAMBERT, GAUSS-KRÜGER).

**C/** Inciter les organismes géographiques nationaux à fournir de leur côté :

- les constantes utilisées pour leurs projections de cartes géographiques.
- le calage des centres de projection dans le système WGS 84, (nous allons préciser ces points).

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- Institut Géographique National : projection cartographique de LABORDE - MADAGASCAR  
SGN 27813

- Marteen HOOIJBERG : practical Geodeny using computers

SPRINGER

**A/** Avant l'arrivée des concepts de la GEODESIE 3D (disons vers 1956) les calculs de coordonnées de 1<sup>er</sup> ordre se faisaient en général en système géographique ( $\lambda, \phi$ ) et l'exploitation aux ordres inférieurs en coordonnées rectangulaires sur une projection conforme (parfois non définie avec toute sa rigueur mathématique et ceci a été jusqu'en 1945 le cas de la projection LAMBERT en France).

Toutefois certains calculs ont été réalisés sur des projections créées uniquement dans ce but : ce fut le cas de la BT 45 (Bureau Technique 45), qui n'était autre, à un coefficient d'échelle près, que la future LAMBERT II étendu et la BT 46 (pour l'Afrique du Nord), toutes deux définies et utilisées au Bureau Technique de la Géodésie (J-J LEVALLOIS, M. DUPUY).

L'arrivée des concepts de la GEODESIE 3D et de la GEODESIE Spatiale ont convaincu les utilisateurs scientifiques (et moi-même le premier) de travailler plutôt en coordonnées cartésiennes terrestres (XC, YC, ZC). Partant du principe suivant, que l'on doit rappeler :

Le même réseau Géodésique, calculé selon 2 méthodes, (1 et 2) sur des ellipsoïdes différents, devrait donner lieu à des résultats en 3D, tels que :

$XC2 = XC1 + \Delta X$   $YC2 = YC1 + \Delta Y$   $ZC2 = ZC1 + \Delta Z$   
( $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ ) étant constants ou légèrement variables sur l'étendue du réseau.

### EXEMPLES FRANÇAIS

1 = Système NT, 2 = Europe 1950 -  $\Delta X = 81^m$   $\Delta Y = 36^m$   $\Delta Z = 440^m$   
1 = Système NT, 2 = WGS 84 -  $\Delta X = 168^m$   $\Delta Y = 60^m$   $\Delta Z = 320^m$   
1 = Europe 50, 2 = WGS 84 -  $\Delta X = 87^m$   $\Delta Y = 96^m$   $\Delta Z = 120^m$

### **MAIS :**

1<sup>er</sup> - Les 2 réseaux doivent normalement être corrigés de l'écart entre h, altitude issue du nivellement général, et H, altitude géométrique,

$$H = h + DH$$

DH, qui peut atteindre plusieurs mètres, pouvant être par exemple obtenu par nivellement astrogéolisque, (intégration de dénivelées obtenues à partir des déviations de la verticale).

2<sup>ème</sup> - Les variations du réseau (1) au réseau (2) peuvent être modélisées en fonction de (XC, YC, ZC), mais comme les données sont en général riches à la surface du globe et pauvres sur la normale, les modèles utilisés conduisent à des systèmes rapidement instables.

En général on fait apparaître 7 paramètres : 3 translations, 3 rotations, 1 facteur d'échelle. Aller au delà de ces 7 paramètres me paraît incorrect.

La comparaison des coordonnées en projection m'est apparue par la suite, comme étant tout aussi judicieuse :

1<sup>er</sup> - On fait des comparaisons 3D, dont on ne retient qu'une valeur moyenne ( $\Delta XO, \Delta YO, \Delta ZO$ ).

2<sup>ème</sup> - On prend les 2 réseaux et on les transforme en projection :

- l'un sur son ellipsoïde de calcul et dans une projection conforme (1).

- l'autre sur son ellipsoïde de calcul et dans la projection conforme de mêmes constantes (centre de projection, coefficient d'échelle au centre) que la projection (1).

- Entre les résultats en projection existe un décalage (DX, DY)

$$XE2 = XE1 + DX \quad YN2 = YN1 + DY$$

(DX, DY) n'ont pas de raison particulière d'être constants, mais il apparaît qu'ils sont lentement variables sur une zone étendue ( $\pm 5$  m à moins de 800 km du centre de projection, en général).

- Par des méthodes théoriques ou empiriques il est possible de soustraire de (DX, DY) une formule théorique (DXO, DYO) qui prend en compte à la fois les effets du décalage ( $\Delta XO, \Delta YO, \Delta ZO$ ) et ceux du changement d'ellipsoïde.

### **LES VALEURS RÉSIDUELLES :**

$$SX = DX - DXO; SY = DY - DYO$$

traduisent les variations intrinsèques entre les 2 réseaux : elles peuvent se modéliser à 2 variables en fonction de (XE, YN) avec toute la finesse désirable, faisant apparaître des termes d'échelle, d'orientation, de déformation (globaux ou localisés).

- Par ailleurs la comparaison des altitudes reste un problème totalement disjoint et c'est très bien ainsi, d'autant que (comme le déplore à juste titre A. FONTAINE), on a un peu trop tendance actuellement à mélanger l'altitude géométrique H (donnée par GPS par rapport à l'ellipsoïde WGS 84) et l'altitude "classique" qui commande les courbes de niveau sur les documents cartographiques et aussi l'écoulement des liquides dans les tuyaux faiblement inclinés...

### **B/PROPOSITION AUX CONSTRUCTEURS**

- Le constructeur n'a besoin d'exécuter des calculs à partir de ( $\lambda, \phi$ ) (notations qui seront remplacées ici par J, L) que sur l'ellipsoïde WGS 84.

- Il pourrait par contre fournir systématiquement les résultats dans une projection conforme, utilisant un codage et des paramètres inscrits par l'utilisateur, ce qui permettrait à ce dernier de se repérer dans le monde entier (ou presque) sur toutes les cartes utilisant les projections conformes suivantes :

UTM normalisé WGS 84 - GAUSS-KRÜGER, STEREO, MERCATOR, LAMBERT.

- Le programme GPS 4 proposé en annexe a été conçu pour un maximum de généralité et de "confort". Il nécessite toutefois, tel qu'il est, que le calculateur du GPS soit capable de réaliser les calculs en variables complexes, y compris pour les lignes trigonométriques et hyperboliques.

il utilise un codage spécial des projections que nous allons expliciter.

### **- CODAGE DES PROJECTIONS : (CD)**

UTM Normalisé : CD(0)

CD = 501 à 560      532 = fuseau 32

(plus généralement 500 + x correspond à la longitude origine 6 x -177).

**PROJECTION 1 : CD (1) dite principale**

195 : LAMBERT

295 : STEREO de la sphère bitangente

200 + x : MERCATOR oblique de la sphère bitangente, à l'inclinaison  $I = x$

200 (avec  $L1 = 0$ ) : MERCATOR    290 : MERCATOR transverse.

395 : STEREO de la sphère de courbure

300 + x : MERCATOR oblique de la sphère de courbure, à l'inclinaison  $I = x$

390 : MERCATOR transverse de la sphère de courbure

(avec  $L1 = 0 \rightarrow$  GAUSS-LABORDE)

400 à 495 : réservé

498 : GAUSS-KRÜGER

**PROJECTION 2 : CD (2) dite auxiliaire :**

CD (2) = CD (1) + 500

### **- DIALOGUE ENTRE GPS ET SON UTILISATEUR :**

L'utilisateur inscrit sur GPS les éléments des 2 projections désirées :

**PROJECTION 1 : CD (1) et les éléments suivants :**

J1 L1 K1 X1 Y1

(J1, L1) : coordonnées géographiques (en degrés décimaux) de l'origine mathématique de la projection.

K1 = coefficient d'échelle à l'origine.

(X1, Y1) = coordonnées cartographiques au centre mathématique.

**PROJECTION 2 : mêmes éléments pour une deuxième projection : J2 L2 K2 X2 Y2**

Une fois enregistrées ces données, le GPS doit fournir sur simple inscription du code CD les coordonnées (XE, YN) dans la projection demandée :

500 < CD < 560 : UTM Normalisé

CD < 500 : Projection principale

CD > 600 : Projection auxiliaire

### **C/PROPOSITION AUX ORGANISMES GÉOGRAPHIQUES NATIONAUX**

- Ils devraient fournir aux usagers :

- Essentiellement la liste des projections utilisées sur les cartes dont ils ont la charge :

CD - J1, L1, K1, X1, Y1

- et si possible les valeurs  $\bar{X}_1, \bar{Y}_1$ , voisines de (X1, Y1) telles que  $\bar{X}_1 = X_1 + DX$   $\bar{Y}_1 = Y_1 + DY$  (notations utilisées en A) ou, si l'on veut, les valeurs qu'il faut inscrire sur le récepteur pour que, au centre mathématique de la projection, ce récepteur donne exactement les coordonnées cartographiques de ce centre.

(Ces valeurs DX, DY peuvent être établies à partir de ( $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ ) ; on peut aussi stationner un point quelconque de coordonnées cartographiques connues et étalonner le GPS sur ce point...)

D/ Nous croyons que, sur les bases qui ont été proposées, pourrait s'établir un dialogue efficace entre constructeurs GPS et utilisateurs munis de cartes topographiques. Ce dialogue nécessite un effort à la fois des constructeurs (acceptation d'un code, réalisation d'un programme du type GPS 4) et des organismes géographiques.

Nous militons en même temps pour l'adoption des unités angulaires degrés décimaux (déjà considérées comme "standard" par les constructeurs de calculatrices) et pour une unification des présentations des projections.

A défaut de ce dialogue, les utilisateurs peuvent naturellement "repiquer" les coordonnées ( $\lambda, \phi$ ) (ou J, L) sur une calculatrice de leur choix. GPS 4 a été programmé sur HP 48 GX (250<sup>GR</sup>).

Par ailleurs, on a pu programmer ensemble sur HP 32 SII (125<sup>GR</sup>) la projection GAUSS-KRÜGER (au 1/10 mm) et la projection LAMBERT. Elles sont disponibles au siège de l'AFT, naturellement il existe aussi d'autres calculatrices utilisables...

## ANNEXES

### A/ CALCUL DES CONSTANTES D'ELLIPSOÏDE (limité aux éléments utiles dans GPS 4)

WGS 84	A = 6378137,000 m	G = 298,257 223 563
B9 = 1 - 1/G	B = A - A/G	B9 = 996 647 . 189 335
G2 = G x G	E2 = (2G - 1)/G2	B = 6356752, 31425 m
E = E2^0,5	E3 = E2 / (1 - E2)	E2 = 6694 .379 99014
E1 = E3^0,5	OU E1 = TAN (ASIN (E))	E = 81819 . 190 842 6
E4 = EL • E2	E6 = E2 • E4	E1 = 82094 . 437 9497
	E8 = E4 • E4	C2 = 5334,214766 m
C2 = A (E2/8 - E4/96 - 9E6/1024 - 901 E8/184320)		C4 = 4,844691 m
C4 = A (13 E4/768 + 17E6/5/20 - 311 E8/737280)		C6 = 0,007 626 m
C6 = A ( 61 E6/15360 + 899 E8/430080)		(C8 = 0,000015 m)
C8 = A (49561 E8/41287680)		D7 = 10687,854176 m
D7 = A (E2/4 + 3 E4/64 + 5 E6/256 + 175 E8/16384)		C9 = 6367449,14582 m
C9 = A - D7		

### B/ Présentation de GPS 4

On considère ce programme comme optimal tant en ce qui concerne la concision des calculs, la richesse des résultats, que la précision finale de ces résultats.

La clé de cet "optimum" se trouve dans le fait que l'information (J, L) est d'abord saisie :

- dans la projection stéréo équatoriale centrée en L (Z1)
- puis dans la projection stéréo équatoriale centrée en LO (Z2).

On peut alors passer dans la projection de GAUSS-KRÜGER (variable Z3), par un développement totalement rigoureux (terme négligé (C8 sur 8Z) avec C8 = 0<sup>mm</sup>, 015) qui constitue en fait la définition stricte de la projection, valable jusqu'à 89° de longitude du méridien central.

**Sinon** : m passe par formule homographique (Z, Z1) : vers la projection LAMBERT, le MERCATOR, la STE-REO, ou encore la MERCATOR oblique de la sphère de Courbure.

L'ellipsoïde est pris en compte dès le début (termes en A0).

L'erreur sur les résultats (avec 12 chiffres significatifs) reste inférieure à 2/100 mm.

Les notations sont celles de la HP 48 GX

	<b>GPS4</b>			<b>Codes</b>
	J0 = J1    L0 = K1    K0 = K1    X0 = X1    Y0 = Y1			195    295    324    498 ou 530
	QI = CD                                  IF CD > 500			J1 = 3°                 J = 9°
THEN ↓	QI = CD - 500                              IF QI < 100                              THEN			L1 = 36°                 L = 43°,200
	J0 = 6 QI - 177                              QI = 498                              KO = 0,9996                              ↓			K1 = 0,9996
	X0 = 500 000    Y0 = 0 (IF L< 0 THEN Y0 = 10 000 000 END)                              ELSE			X1 = 500 000
	J0 = J2    L0 = L2    K0 = K2    X0 = X2    Y0 = Y2                              END			Y1 = 0
END	(IF QI > 495 THEN L0 = 0 END)			I = 95    95    24    98
	I = 100    FP (QI/100)    Q = ABS (( DI-I)/100)			Q = 1    2    3    4
	J3 = (J-J0)/2    SO = SIN (L0)    C = COS (L/2)    S = SIN (L/2)			J3 = 3°
	AO = ATANH (E • 50 - ATANH (E • SIN (L)) AO = TANH (E • AO/2)			AO =                 - 324 • 761 878
	ZI = i (S + C • AO) / (C + S • AO)    C = COS J3    S = SIN (J3)			RE (Z2) = 396 5670 • 307 548
	Z2 = i (S - CZ1) / (C + S • Z2)    IF I == 98			IM (Z2) =    44 184 • 753 630
THEN ↓	Z = 2 ATAN (Z2)			RE (Z) =    753 373 • 356 988
	Z3 = C9 • Z + C2 • SIN (2 • Z) + C4 SIN (4 • Z) + C6 • SIN (6Z)			IM (Z) =    76 586 • 592 274
ELSE	W = COS (ASIN (E • SO))    C = COS (L0/2)    S = SIN (L0/2)			W =                 998 842 • 904 864
	IF Q == Z			RE (Z) =    63959 • 463 846
THEN ↓	Z = (C • Z2 - S) / (C + S • Z2)			IM (Z) =    38 327 • 842 939
ELSE ↓	ZI = (C • Z2 - S) / (C - S Z2)                              CO = COS (LO)			RE (ZI) =    81 390 • 661 768
	IF QI == 195			IM (ZI) =    52 061 • 551 761
	Z4 = TANH (SO • ATANH (ZI)) Z = CO • Z4 / (SO + SO • Z4)                              THEN			RE (Z4) =    47 824 • 025 333
	(E1 = TAN (ASIN(E)))    β = COS (ATAN (E1 • CO • CO))                              ELSE			IM (Z4) =    30 715 • 739 005
	Z4 = β TANH (ATANH/Z1)/β) Z = CO • Z4 / (1 + SO • Z4)                              END			β =                 998 559 • 580 766
	IF I ≠ 95			RE (Z4) =    81 390 • 781 335
	ZI = COS (I) - i SIN (I)    Z = Z1 • ATANH (Z/ Z1)                              THEN			IM (Z4) =    52060 • 691 401
	Z3 = 2 • A Z/W			RE (ZI) = COS (Z4)
END	XE = KO • IM (Z3) + XO                              YN = KO • RE (Z3) + YO			IM (ZI) = - SIN (Z4)
	XE , YN			E1 = e' =    82094 • 437950
XE →	(1) 991 137,49641	(2) 989 291,05447	(3) 990 392,42828	(4-5) 987 517,15210
YN →	816 351,44530	816 502,86342	815 134,60877	4 800 532,04382



### C/ Exemples d'application

Nous avons converti dans notre système un certain nombre de projections présentées par M. HOOJBERG ou connues à l'Institut Géographique Français.

UTM NORMALISÉ ou GAUSS-KRÜGER			
AUSTRALIE Zone 54 (fuseau 54)                      ans 1966 CD = 554    J = 143° 55'30"6330 • L = - 37° 39'15"5571		A = 6 378 160,000 XE = 758 053,0896	G = 298,25 YN = 5 828 496,9735
REP. FÉDÉRALE ALL. SYSTEME 1922 (RAVENBERG) BESSEL CD = 498    J1 = 12,000    L1 = 0            K1 = 1,000 J = 13° 08'15"2808            L = 49° 06'48"5214		A = 6 377 397,155 X1 = 500 000 XE = 583 038,4725	G = 299,15281285 Y1 = 0 YN = 5 444 314,5538
GRANDE BRETAGNE GRILLE UNIQUE                      AIRY JO = -2°            LO = 49°    K1 = 0,9996012717 CD = 498    J1 = -2            L1 = 0            K1 = — J = 1° 43' 04" 5177            L = 52° 39' 27" 2531		A = 6 377 563,396 XO = 400 000 X1 = 400 000 XE = 651 409,9029	G = 299,32496459 YO = - 100 000,000 Y1 = - 5 527 063,8148 YN = 313 177,2703
IRLANDE    AIRY MODIFIED JO = -8°    LO = 53° 30'    K1 = 1,000 035 CD = 498    J1 = - 8    L1 = 0            K1 = - J = 6° 04' 06" 0065            L = 53° 22' 23" 1566		A = 6377340,189 XO = 200 000 X1 = 200 000 XE = 328546,3442	G = 299,324 96459 YO = 250 000, 0000 Y1 = 5 679 822, 8901 YN = 237 617,1863

LAMBERT			
BELGIQUE *    INTER 1924 JO = 4° 22'02"952082    LO = 50° 47'57"704 L1 = 50° 30'05"710403    K1 = 0,999 932 491 643 CD = 195    J1 = 4,36748668944    L1 = 50,5015862231 J = 5° 56'09"8964            L = 50° 47'25"7956		A = 6 378 388,000 XO = 500 000,01256 X1 = 150 000,01256 XE = 260 597,92035	G = 297 YO = 165 372,95628 Y1 = 132 248,76831 YN = 165 555,22024
USA    SPC 83    STATE TEXAS CENTRAL-GRS 80 JO = -100°20'    LO = 29°40' L1 = 31° 0005" 007016    K1= 0,999 881743 629 CD = 195    J1 = -100,333 333 333    L1 = 31, 001 390 837 8 J = -106° 30'    L = 32°		A = 6 378 137,000 XO = 700 000,000 X1 = 700 000 XE = 117 571,2278	G = 298,257222101 YO = 3 000 000,000 Y1 = 3147 960,77846 YN = 3274 824,8169

MERCATOR OBLIQUE SPHÈRE DE COURBURE			
MADAGASCAR projection de LABORDE    INTER 24 α = 21 <sup>GR</sup> JO = 49 <sup>GR</sup> LO = - 21 <sup>GR</sup> K1 = 0,9995 CD = 371,10    JI = 44,100    LI = - 18,900    K1 = / (I = 79 <sup>GR</sup> = 71°,10) J = 51 <sup>GR</sup> L = - 20 <sup>GR</sup>		A = 6378 388,000 X1 = 400 000 (590 553.991) XE = 590 554,052	G = 297 Y1 = 800 000 (898 640,983)** YN = 898 640,874

\* Donné sous réserves

\*\* Valeurs vraies, pour une définition un peu différente de la projection

■ Le cas présenté illustre à la fois les difficultés rencontrées pour utiliser un capteur grand public, celles qui sont inhérentes à tous les travaux de terrain ainsi que les ressources photogrammétriques qui ont été mises en œuvre pour atteindre le niveau de qualité attendu. ■



## photogrammétrie expédiée : étude de cas

Christian DONNENWIRTH CHS  
Jacques-Alain QUESSETTE CHS  
Valérie ROUSSET Archéologue  
Claude SOIROT Architecte

### Introduction

Les techniques photogrammétriques sont largement utilisées en archéologie et en architecture dans les chantiers importants et il est naturel d'essayer de les adapter aux limites budgétaires des petits projets en utilisant des appareils photographiques numériques grand public dont les performances paraissent se rapprocher chaque mois de celles des chambres métriques normalement utilisées.

Le cas présenté illustre à la fois les difficultés rencontrées pour utiliser un capteur grand public, celles qui sont inhérentes à tous les travaux de terrain ainsi que les ressources photogrammétriques qui ont été mises en œuvre pour atteindre le niveau de qualité attendu.

### Le projet

Datant du <sup>x</sup>e siècle, le mur sud du château de Saint-Cirq-Lapopie dans le Lot devait faire l'objet d'un relevé pierre à pierre à l'échelle 1/50 par une équipe d'architectes et d'archéologues avant d'entreprendre des travaux d'analyse et de conservation pour le compte de la Communauté de Communes LOT CÉLÉ.

### La solution initiale

Lorsque le Cabinet Claude Soiroit avait recommandé une méthodologie efficace fondée sur des clichés numériques, il pensait obtenir un cliché orthogonal du mur entier qu'il aurait suffi de mettre à l'échelle 1/50 pour y relever directement le dessin de l'appareillage.

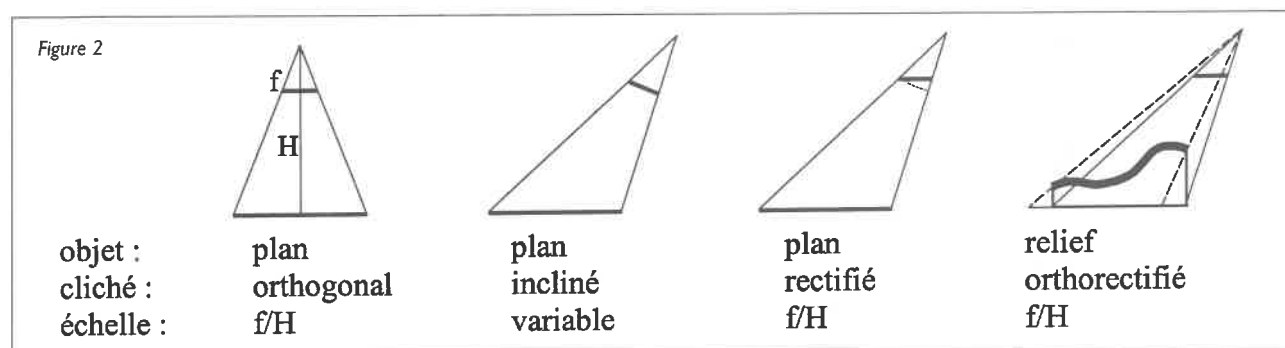
Ni les dimensions, 40 x 13 mètres, du mur ni les performances optiques de l'appareil Fuji MX 700, ni l'accessibilité du site n'autorisant un tel cliché, il fut proposé de prendre une série de clichés rapprochés, puis de les rectifier à l'aide de points d'appui et de les mosaïquer pour en faire l'équivalent d'un cliché orthogonal : en effet les creux et renflements de 15 à 30 centimètres du mur paraissaient négligeables devant ses dimensions et on pouvait l'assimiler à un plan justifiable d'une simple rectification géométrique.

Plusieurs clichés couvrant partiellement le mur ont été pris pendant la campagne de préparation à l'aide d'un appareil numérique FUJI MX 700 de 1,5 million de pixels, parmi lesquels ont été sélectionnés les 8 clichés de la figure 1, qui paraissaient de bonne qualité et qui présentaient des recouvrements suffisants pour y loger des points d'appui communs

à 2 clichés successifs pour limiter à environ 20 les mesures de coordonnées sur le mur.

Rappelons en effet que le logiciel FAÇADE 2 permet de redresser des clichés monoscopiques avec une bonne préci-

sion géométrique quand l'objet est plan et que l'on dispose de 4 points connus de bonne qualité aux coins de chaque cliché. Quand l'objet n'est pas plan, il faut introduire un modèle 3 D ou MNT précis de l'objet pour orthorectifier le cliché et corriger ainsi les effets du relief (figure 2).



## Les difficultés rencontrées

Aux difficultés d'accessibilité déjà citées se sont ajoutés d'autres problèmes :

a) Les cibles de papier soigneusement disposées sur le mur pour servir de point d'appui ont été emportées par les intempéries avant les prises de vue définitives ; il a donc fallu mesurer les coordonnées de détails du mur moins facilement identifiés que les cibles de papier. Certains se sont d'ailleurs révélés inutilisables par la suite.

b) Une difficulté fondamentale présentée par la plupart des appareils photographiques numériques a été de fixer les valeurs des paramètres d'orientation internes requis par FAÇADE 2 :

- marques fiduciaires
- dimensions du détecteur ou distances séparant les marques fiduciaires
- distance principale (longueur focale)

Les coins de clichés ont servi de marques fiduciaires pour déterminer la position du centre des clichés, qui s'est révélée a posteriori une bonne approximation.

La distance principale ainsi que les dimensions utiles du capteur CCD ne sont pas fournies par les constructeurs d'appareils numériques destinés au grand public ; probablement pour ne pas avoir à distinguer entre pixel affiché forcément interpolé et radiométrie détectée, on donne un équivalent  $24 \times 36$ .

Distance principale et dimensions du détecteur ont été estimées à un facteur près en photographiant une grille de dimensions connues, donnant directement la valeur du rapport :

$$\frac{f}{\text{dimensions du capteur}} = \frac{f}{\text{nb de pixels} \times \text{taille du pixel}}$$

Cette procédure est suffisante car la grandeur qui intervient réellement dans les calculs d'orientation est la distance principale exprimée en pixels.

c) La troisième difficulté est apparue lorsque les clichés géométriquement rectifiés par projection sur un plan moyen ont été mosaïqués pour contrôler la qualité de la rectification : la figure 3 montre les discontinuités de l'appareillage entre clichés avec des décalages inacceptables de 15 à 20 centimètres par endroits.



Figure 3

## La solution de référence

Après vérification de tous les paramètres mesurés nous avons conclu que les décalages observés étaient dus à l'assimilation trop rapide du mur à un plan moyen alors qu'il s'en écartait de 20 centimètres.

Il aurait fallu à ce stade reprendre le chantier pour effectuer des prises de vue stéréoscopiques classiques, calculer un MNT précis et ensuite procéder à une orthorectification fondée sur ce même MNT.

## La solution réelle

Les conditions météorologiques défavorables et les délais trop courts n'ont pas permis de réaliser la couverture stéréoscopique souhaitée ni les mesures de terrain complémentaires ; une autre solution utilisant les seuls éléments disponibles a été mise en place :

- calibration du système objectif-détecteur à l'aide d'une grille de référence pour déterminer la position du PPA et éliminer les distorsions, en fait plus faibles que prévu



Figure 5

**CHATEAU de SAINT-CIRQ LAPOPIE**  
Elevation sud  
Dessin Valérie Rousset d'après les orthophotos Claude Soiro

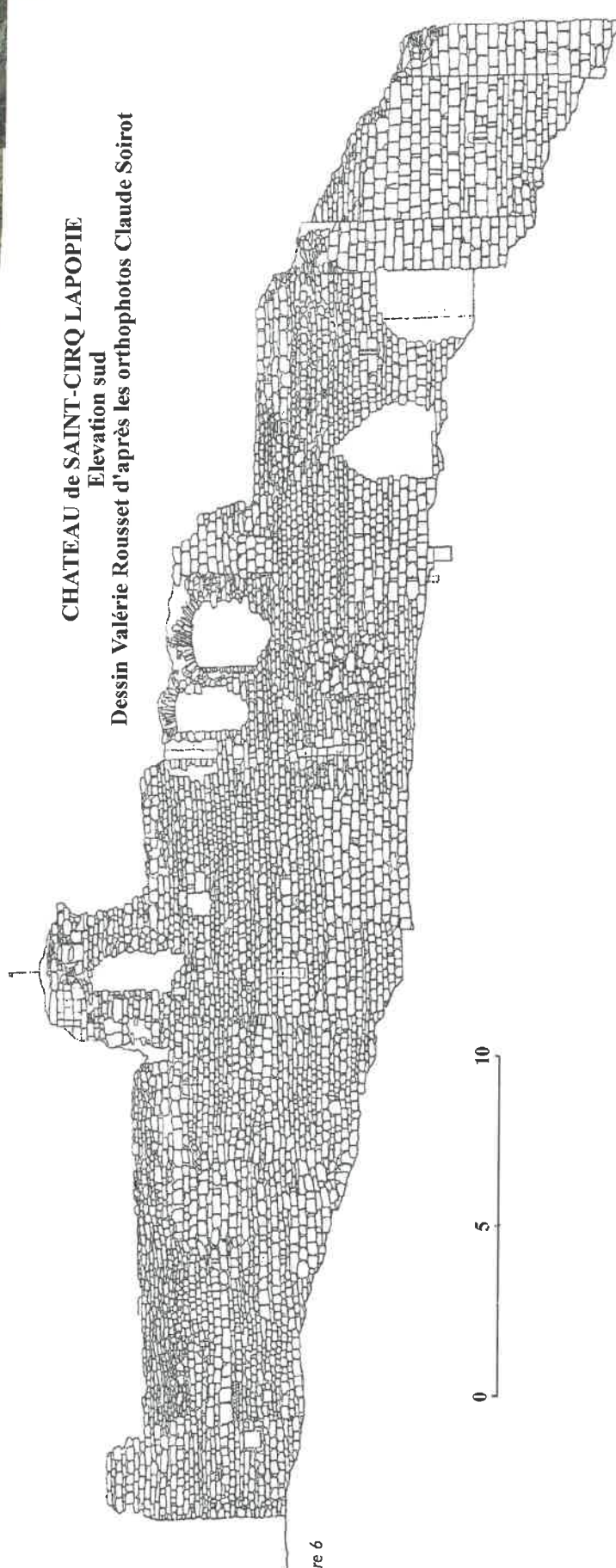


Figure 6



- calcul par résection spatiale des coordonnées de points observés dans le faible recouvrement latéral des clichés, afin de densifier le réseau de points d'appui connus en XYZ;
- orientation des couples stéréoscopiques et restitution numérique pour générer par PHOTOMOD un MNT par couple, limité par construction aux extrémités des clichés;
- constitution d'un MNT global par mosaïquage avec interpolation dans les parties centrales monoscopiques des clichés;
- génération des orthophotos au 1/50;
- mosaïquage des orthophotos pour contrôle des raccords (figure 4).

## Résultats

La mosaïque des 8 clichés initiaux qui n'a fait l'objet d'aucun traitement radiométrique afin de reconnaître les différents composants est représentée sur la figure 5, tandis que le dessin tracé sur les orthophotos à l'échelle 1/50 est représenté sur la figure 6.

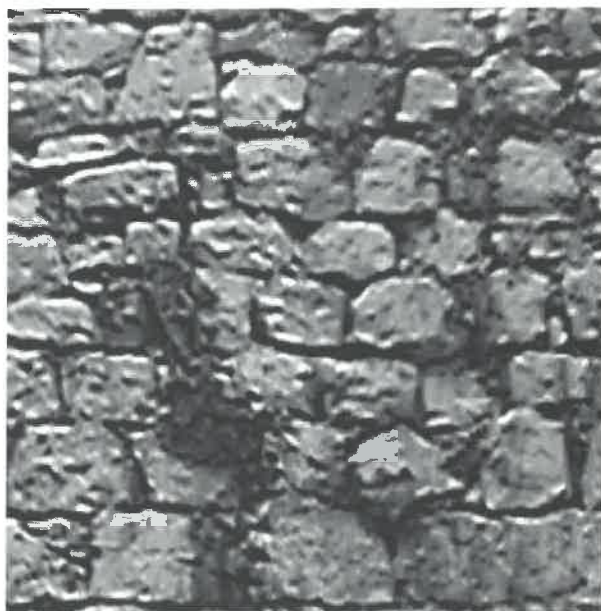


Figure 4



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

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

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

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

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

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

*Il existe un compagnonnage actif et dynamique entre anciens élèves et nouveaux. Celui-ci permet de faciliter :*

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

**Informations et inscriptions  
Tél. 01 46 03 66 83**

**Ecole Chez Soi**



INSTITUT PRIVÉ FONDÉ PAR L. EYROLLES EN 1891

3615 Ecole chez soi\* • 92774 Boulogne Cedex  
Site internet : [www.ecole-chez-soi.com](http://www.ecole-chez-soi.com)



■ Le Swissmetro transportera des passagers à 400 ou 500 km/h dans des véhicules à lévitation et guidage magnétique. Sécurité – Confort – Silence. C'est pour 2015 qu'on prévoit un tronçon pilote. Pour ce faire il faut mieux connaître les phénomènes aérodynamiques, d'où le projet HISTAR. ■

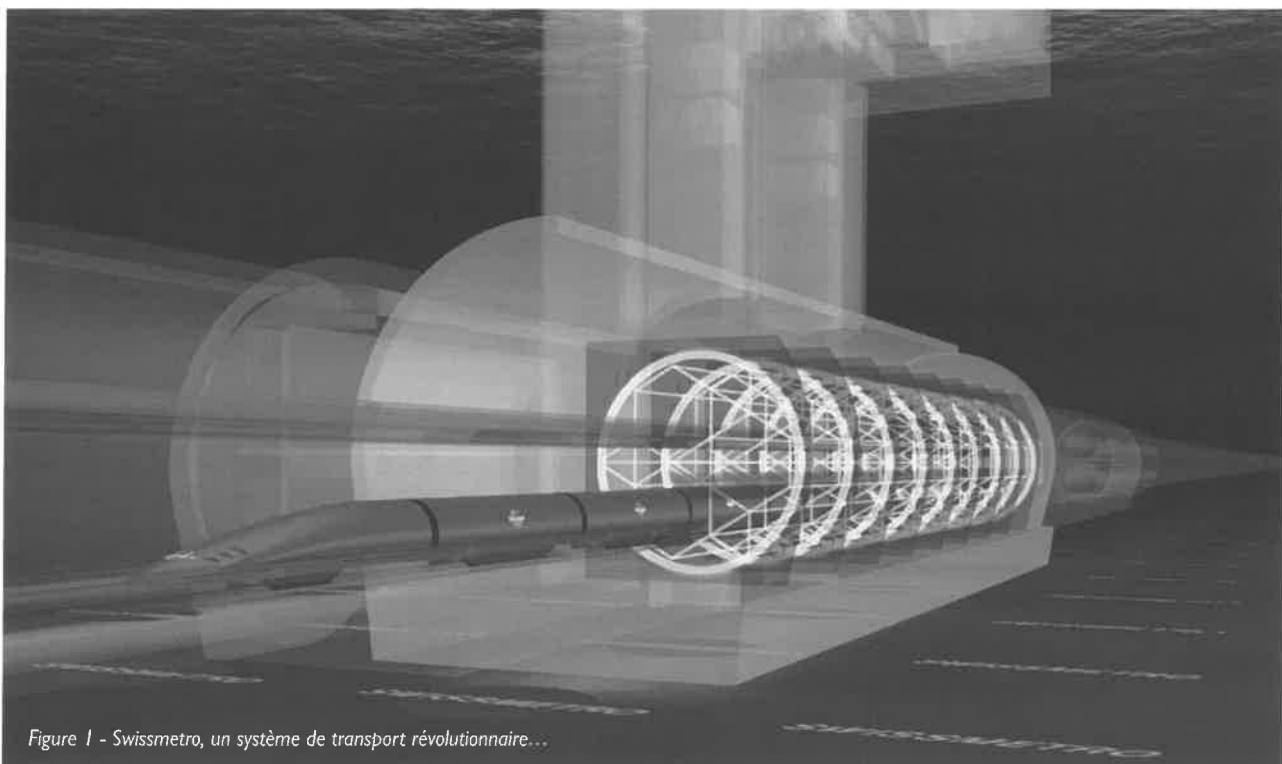


Figure 1 - Swissmetro, un système de transport révolutionnaire...

## alignement par écartométrie biaxiale d'une maquette de train à très grande vitesse

## PROJET HISTAR

H. Dupraz, W. Coosemans, F. Ossart, V. Bourquin

### 1. Le projet SWISSMETRO

Un système de transport révolutionnaire à très grande vitesse, capable de transporter des passagers à des vitesses supérieures à 400, voire 500 km/h, est en cours de développement par la société Swissmetro SA. Ce système de transport, appelé Swissmetro, sera constitué de véhicules à lévitation et guidage magnétiques (technologie de type « Maglev »), circulant dans un réseau de galeries souterraines de petit diamètre dans lesquelles, pour réduire la consommation d'énergie, la pression de l'air sera ramenée au dixième de la valeur atmosphérique. Le concept Swissmetro fait actuellement l'objet de nombreuses études tant sur le plan numérique qu'expérimental. La réalisation d'un tronçon-pilote devrait être achevée avant 2015. En Suisse, le réseau à l'étude pourrait relier les principales villes du pays, avec des liaisons internationales vers Lyon, Strasbourg, Francfort, Munich, Milan et Turin. Toutefois, le potentiel de ce système permet d'envisager son application à différentes zones géographiques en Europe et

dans le monde. Ses principales qualités par rapport aux systèmes classiques sont une faible consommation énergétique (même inférieure au TGV de par la diminution de la pression dans le tunnel), l'absence de nuisances (pas de bruit, effets de souffle, etc. en surface), une charge environnementale réduite, une grande flexibilité dans le choix du tracé, un niveau de confort et de sécurité très élevé.

### 2. Introduction générale au projet HISTAR

La conception et l'optimisation des systèmes de transport terrestre en général, et de Swissmetro en particulier, passe par une amélioration de notre connaissance des phénomènes aérodynamiques et la création de meilleurs outils d'analyse et de prédiction. C'est dans ce cadre qu'est développée l'installation HISTAR (*High Speed Train Aerodynamic Rig*).

Les installations existantes n'ont jamais simultanément la longueur, la vitesse et l'échelle suffisantes pour analyser fine-

ment les effets aérodynamiques des systèmes de transport modernes. HISTAR se révélera donc unique en terme de performances (piste de 250 m de longueur, vitesse de plus de 500 km/h, échelle 1/10, vitesse contrôlable en continu, temps à vitesse maximale constante de plus de 1 seconde, accélération de 20-30 g). Si le projet HISTAR est primordial pour la réalisation de Swiss-metro, l'intérêt d'un tel outil en dehors de Swissmetro est d'autant plus fort que les phénomènes aérodynamiques sont directement impliqués dans bon nombre de nuisances dans les systèmes de transport de surface existants ou futurs (stabilité, bruit, ondes de pression, consommation énergétique, charges sur l'infrastructure).

Dans le cadre du projet Swissmetro, l'accent sera mis prioritairement sur la mesure des forces et des moments agissant sur le véhicule. L'objectif est double: il s'agit d'une part de vérifier les prédictions théoriques et numériques effectuées jusqu'à présent et d'autre part d'optimiser les géométries du tunnel et du véhicule. L'échelle 1/10 et la gamme de vitesses prévue (200-500 + km/h) permettent une parfaite similitude des phénomènes aérodynamiques majeurs entre le système à pleine échelle et le modèle réduit, dans le cas de Swissmetro.

Les autres systèmes de transport terrestre à haute vitesse, en exploitation ou en projet (trains à grande vitesse, maglev), se différencient de Swissmetro par leur géométrie (notamment le système de guidage) et leurs conditions d'exploitation, soit:

- L'occurrence de croisements à l'air libre (nécessite une seconde piste)
- L'entrée en tunnel
- Le passage au travers de tunnels courts
- La circulation en plein air (avec vents traversiers)

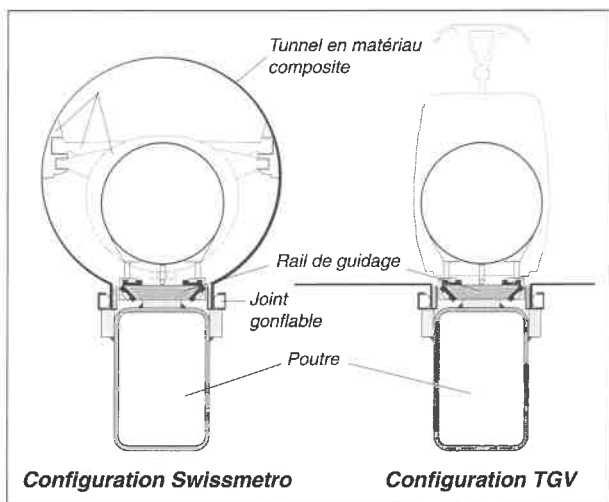


Figure 2 - Le projet HISTAR: à gauche, la configuration Swissmetro, avec le tunnel pour une mise sous vide partiel. À droite, la configuration à l'air libre, de type TGV.

L'installation permettra également de tester d'autres types de véhicules, comme des voitures de compétition, ou d'analyser l'effet de proximité du sol sur un avion ou un composant d'un système.

En outre, il s'agira de la première réalisation d'un modèle complet et fonctionnel de Swissmetro mettant en vitrine le savoir-faire des partenaires du projet.

La phase de conception détaillée et de construction de HISTAR a démarré en juin 1999 dans le cadre d'un projet CTI (Commission fédérale pour la Technologie et l'Innovation) d'une durée totale de 3 ans (1 1/2 année de construction et de mise au point, 1 1/2 année d'exploitation pour les mesures Swissmetro). Le projet s'appuie sur un partenariat entre l'École

Polytechnique Fédérale de Lausanne, la société Swissmetro SA et ses partenaires industriels. L'installation sera construite dans une galerie technique souterraine reliant l'EPFL et l'Université de Lausanne.

### 3. Les contraintes d'alignement

Le système de guidage prévoit un glissement de patins spéciaux fixés au véhicule sur des rails. Les rails sont soumis à des efforts engendrés par les effets aérodynamiques, par la force de propulsion et par des effets de dynamique. Ces derniers comprennent des efforts latéraux induits à grande vitesse par des défauts d'alignement dus:

- (I) aux déflexions dynamiques liées au mouvement du véhicule
- (II) aux imprécisions liées à l'usinage des rails
- (III) aux défauts de montage
- (IV) à l'effet du poids propre de la poutre porteuse sur la rectitude du rail.

À cela viennent s'ajouter les problèmes de jonctions de poutres et les effets thermiques.

Les accélérations transversales les plus néfastes sont celles provoquées par des défauts d'alignement de courtes longueurs d'onde.

Pour une vitesse donnée et un niveau d'accélération transversale toléré, on peut calculer l'écart d'alignement acceptable, rapporté à sa "longueur d'onde": les écarts maximums tolérés entre la géométrie réelle et la droite idéale ont ainsi été fixés à 0,02 mm sur 1 m, 0,1 mm sur 2 m et 1 mm sur 7 m.

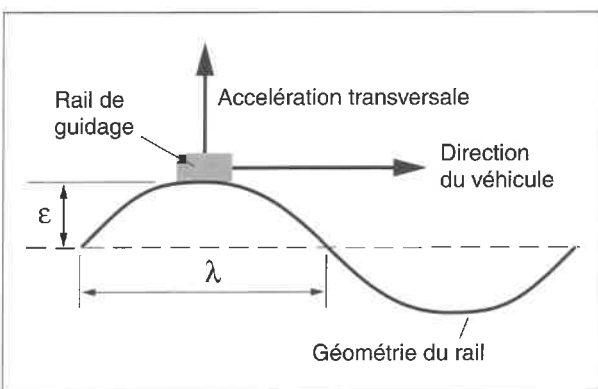
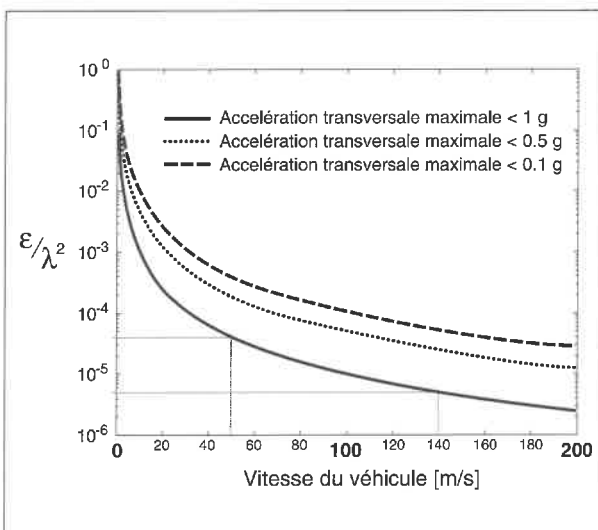


Figure 3 - Les défauts d'alignement tolérables sont une fonction de la vitesse et de l'accélération transversale admissible. Ils sont donc d'autant plus critiques qu'ils sont "à courte longueur d'onde".

## 4. Évaluation des méthodes d'alignement envisageables

Les manuels et les publications s'accordent sur l'inventaire des méthodes d'alignement pour l'ajustage de machines et de rails de guidage. On peut les classer selon la figure 4.

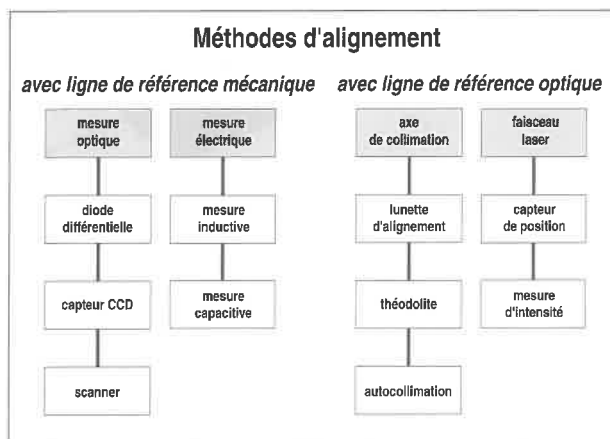


Figure 4 - La classification des méthodes géodésiques d'alignement, selon W. Schwarz, réf. [1]

Dans les méthodes à ligne de référence optique, on peut distinguer les méthodes directes, qui réalisent la ligne de référence avec un faisceau laser, et les méthodes indirectes utilisant une lunette de théodolite par exemple. Dans les deux cas, on retrouve d'abord la nécessité de traiter avec soin les erreurs d'origine instrumentale, telles que les erreurs de collimation, celles dues au déplacement de la lentille de focalisation, ou celles dues aux variations de la forme et de l'intensité du faisceau laser en fonction de l'éloignement, les influences thermiques sur la source, ou encore l'étalonnage des capteurs de position du faisceau.

Dès qu'on exige une grande précision, on se heurte en fin de compte à la principale difficulté, la réfraction, qui courbe plus ou moins la ligne de référence optique en fonction du gradient de l'indice de réfraction  $n$ . C'est la composante perpendiculaire à la direction de la visée qui est déterminante pour estimer cette courbure. Même si on supposait que cette composante est constante, il faudrait être capable de mesurer le gradient de température  $dT/dy$  avec une précision et une représentativité supérieures à  $0.1\text{ K/m}$ , pour que l'écart latéral n'excède pas  $1\text{ mm}$  sur  $100\text{ m}$  [4], [5]. Cette hypothèse ne serait d'ailleurs que rarement acceptable, car il faut prévoir que le champ de température, donc aussi le champ de l'indice de réfraction, seront beaucoup plus complexes, dans l'espace et dans le temps, surtout pendant les périodes de montage et d'exploitation, à cause de la présence de personnes et de machines constituant autant de sources de chaleur et de déplacement de masses d'air dans la galerie.

Dans les méthodes à référence mécanique, généralement un fil tendu, on doit modéliser avec soin la forme exacte du fil, et tenir compte de son comportement en fonction du vent, de la température, voire de l'humidité. On doit procéder au calibrage exact des capteurs chargés d'observer la position du fil, y compris leur comportement thermique et leur stabilité à long terme. Ces méthodes, si elles exigent généralement de plus grands coûts de mise en œuvre initiale, offrent par contre de grandes possibilités d'automatisation, précieuses lorsqu'il s'agit de garantir un suivi continu ou de procéder à des contrôles d'alignement fréquents, comme ce sera le cas pendant toute la durée de vie de l'installation.

Il faut enfin se souvenir que si lors de la construction le rail à aligner sera accessible, il sera le plus souvent masqué par le tunnel en période d'exploitation, ce qui représente une contrainte supplémentaire importante sur le choix de la méthode d'alignement.

## 5. La méthode d'alignement retenue

Pour toutes ces raisons, la méthode d'alignement retenue s'inspire largement des développements effectués au CERN pour la construction du CLIC (*Compact Linear Collider Study*). En effet, si le CLIC et le projet HISTAR ne sont comparables ni par leurs dimensions ni par leurs tolérances, ils ont en commun une structure linéaire composée de plusieurs dizaines d'éléments qu'il s'agit d'aligner bout à bout, chaque élément disposant de 6 degrés de liberté.

Le problème ne consiste donc pas seulement à mesurer des écarts par rapport à un alignement idéal, mais encore à les éliminer par des dispositifs de réglage offrant la précision, la rapidité et le confort nécessaires.

La méthode retenue s'appuie sur une technique d'*décartométrie bi axiale* sur fil tendu, le fil étant embarqué sur un *train métrologique* parcourant séquentiellement toute la piste à aligner. Les mesures ainsi collectées sont soumises à un calcul de compensation qui constitue un diagnostic complet d'alignement, diagnostic suivi d'un réglage de toute l'installation d'un seul jet.

## 6. La structure de la piste Le système de support et de réglage

La piste de 240 mètres sera composée de 40 éléments porteurs de 6 mètres environ, sous la forme de poutres métalliques dont le profil exact reste à définir. Pour chaque élément, on procédera en atelier à une rectification complète des surfaces faisant office de rail par fraisage sur "grosse machine 3D". On prendra garde à ce que chaque élément repose pendant l'opération sur les mêmes trois points d'appui que pour sa mise en place définitive, afin que la déformation due au poids propre soit largement éliminée par l'usinage. Ensuite, l'alignement global consistera à aligner les uns par rapport aux autres ces éléments déjà rectilignes.

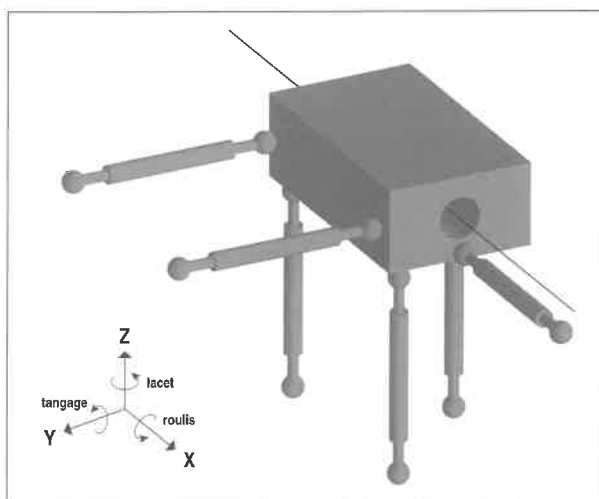


Figure 5 - Le système de support classique à six biellettes selon trois axes orthogonaux, autorisant les 6 degrés de liberté.

De nombreuses variantes d'un système de support à six biellettes peuvent être mises en œuvre pour le positionne-



ment fin de machines, notamment dans le montage d'accélérateurs de particules. L'idée de base est très simple: la position d'un objet rigide dans l'espace est définie par 6 degrés de liberté (trois translations X-Y-Z, et trois rotations: roulis, tangage et lacet). Un système de support composé de 6 biellettes réglables judicieusement disposées offre exactement ces 6 degrés de liberté, sans jeu ni contrainte additionnelle sur l'objet. Dans le cas le plus simple, les 6 biellettes sont disposées selon des directions orthogonales, comme sur la figure 5.

Pour différentes raisons, notamment d'encombrement et d'accessibilité, nous avons choisi une disposition un peu différente: la figure montre qu'un élément porteur est lié au sol, à une extrémité, par l'intermédiaire de 4 biellettes principales, capables de lui imprimer des translations absolues X, Y et Z, ainsi qu'une rotation autour de l'axe longitudinal X. À l'autre extrémité, il repose par l'intermédiaire de deux biellettes secondaires directement sur l'élément adjacent. La disposition orthogonale de ces deux biellettes ne permet d'introduire que des translations relatives dY et dZ entre les deux éléments, sans détruire les réglages déjà effectués grâce aux 4 biellettes principales.

Cette disposition ne réduit pas le nombre total de biellettes, mais facilite le réglage.

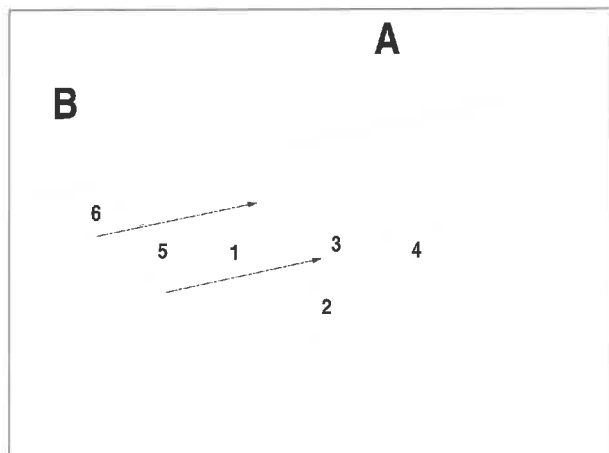


Figure 6 - Le système de support modifié. Les biellettes 1 à 4 sont dites absolues et règlent la poutre A par rapport au sol. Les biellettes verticales 1 et 2 règlent la hauteur (translation Z) et la rotation autour de l'axe X (roulis). La biellette 3 règle la position latérale (translation Y) et la biellette 4 règle la position longitudinale (translation X). Les biellettes 5 et 6 sont dites relatives et règlent l'extrémité de la poutre B par rapport à la poutre A, en translation relative seulement, c'est-à-dire les rotations de la poutre B autour de l'axe Y (tangage) et autour de l'axe Z (lacet).

## 7. Le principe de l'écartométrie bi axiale

L'écartomètre WPS2 développé par la société Fogale Nanotech mesure par procédé capacitif et sans contact la position, selon deux axes, d'un fil tendu, avec une résolution de 1  $\mu\text{m}$  pour une course de 10 mm (voir fig. 7).

Un ensemble de 3 capteurs traversés par un fil tendu permet de mesurer la position de chaque capteur par rapport au fil. On peut en déduire le défaut d'alignement d'un des capteurs par rapport aux deux autres, selon les deux composantes Y et Z. Ces deux composantes, constituent 2 "observations", au même titre des observations de distances, de directions ou de différences de niveau dans un logiciel de calcul de réseaux géodésiques (voir fig. 8).

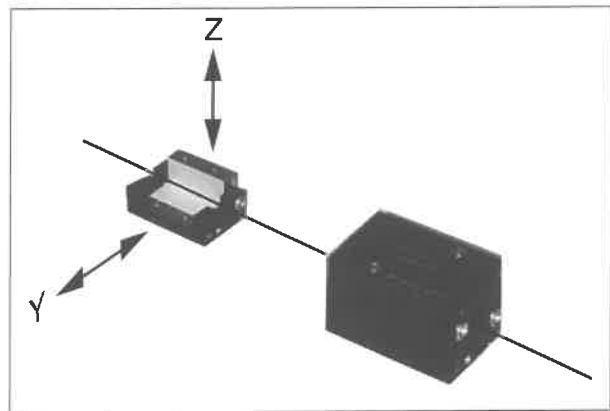


Figure 7 - L'écartomètre à deux axes WPS2 de la Société Fogale Nanotech mesure sa position par rapport à un fil tendu, par procédé capacitif, sans contact, avec une précision de l'ordre de 1  $\mu\text{m}$ .

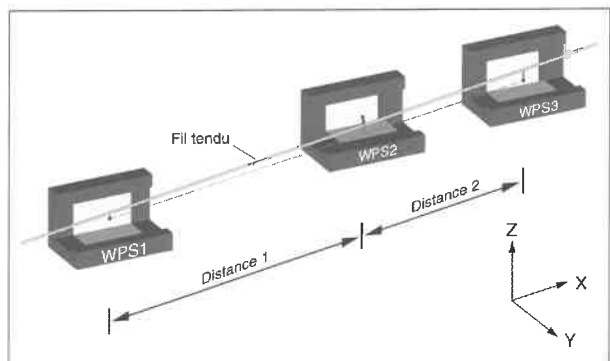


Figure 8 - Le principe de l'alignement par écartométrie bi axiale. De la mesure de la position de 3 capteurs par rapport à un fil tendu, on peut déduire le défaut d'alignement de l'un des capteurs par rapport aux deux autres.

Sur un ensemble de p points à aligner dans l'espace, deux points peuvent être choisis arbitrairement pour fixer l'alignement théorique, et il reste (p-2) points dont la position XYZ est inconnue. La direction longitudinale X n'étant pas critique, des valeurs des coordonnées X peuvent être admises comme constantes, et il reste (p-2)\*2 coordonnées Y et Z constituant des paramètres inconnus.

Dans le cas d'un rail de 240 mètres matérialisé par p = 121 points équidistants de 2 mètres, on a  $(121-2)*2 = 238$  coordonnées inconnues. Un train métrologique de 4 capteurs respectant la même équidistance pourra occuper séquentiellement  $m = (p-n + 1) = 118$  positions de mesure, et générer  $m*4 = 472$  observations. On disposera donc de  $472 - 238 = 234$  observations surabondantes. La compensation par la méthode des moindres carrés fournira un diagnostic complet de l'alignement des 121 points, sous la forme de leurs coordonnées compensées. Si l'axe X, axe d'alignement, est strictement défini par deux des 121 points, les coordonnées compensées Y et Z des 119 autres expriment directement leur défaut d'alignement.

## 8. Le train métrologique

Le train métrologique est composé de 5 wagons reliés par des tringles rigides montées sur des rotules, de telle sorte que les wagons puissent épouser la forme exacte du rail. Chaque wagon porte un capteur d'alignement (voir fig. 9); tous les capteurs sont traversés sans contact par un fil fixé aux extrémités du train et tendu par un enrouleur spécial. La forme du fil tendu est modélisée et sert de référence métrologique mobile.

Quatre des wagons sont espacés de 2 mètres et sont ainsi distribués sur une distance de 6 mètres, ce qui permet de vérifier la linéarité d'un élément porteur pour lui-même. Le cinquième wagon, situé à 20 cm du quatrième, se trouve ainsi déjà sur l'élément suivant, ce qui permet un diagnostic sur l'alignement relatif des deux éléments adjacents.

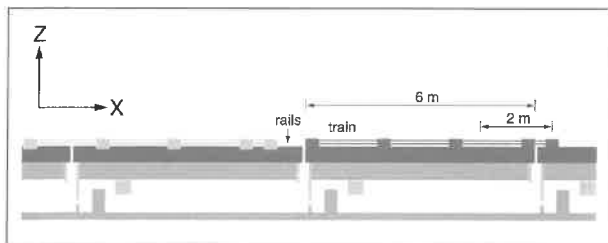


Figure 9 - Le train métrologique est composé de 5 wagons, reliés à distances fixes par un système de rotules. Les capteurs d'écartométrie sont embarqués sur les wagons et traversés par un même fil tendu servant de ligne de référence mobile.

En outre, deux inclinomètres embarqués renseignent de manière contrôlée sur le défaut d'horizontalité transversale de chaque élément (voir figure 10).

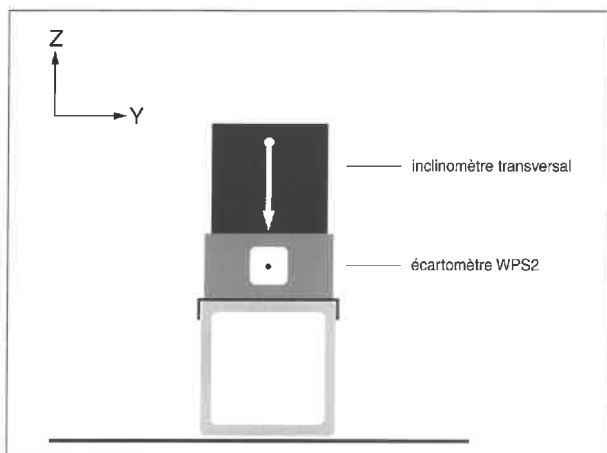


Figure 10 - Les 5 wagons embarquent chacun un écartomètre WPS2. Deux d'entre eux embarquent en plus un inclinomètre pour le contrôle de l'inclinaison transversale des rails de guidage.

Après un passage séquentiel complet du train, et connaissant la géométrie de l'installation – rail et système de support – on pourra déduire de ces défauts d'alignement issus de la compensation des observations la correction à apporter à chacune des 240 biellettes de réglage.

L'ensemble de ces réglages pourra ensuite être réalisé d'une seule traite. Le cas échéant, un nouveau passage séquentiel du train métrologique, suivi d'un calcul de compensation, permettra de contrôler la qualité du nouvel alignement.

## 9. État du développement et perspectives

- Un prototype simplifié de train métrologique comportant 4 capteurs distants de 18 cm et de deux éléments porteurs de 1 m a permis de valider le principe retenu, et de montrer une excellente répétabilité des mesures.

- Par simulation numérique, on a généré aléatoirement plus de cent jeux d'observations, correspondant à une installation de 240 mètres et un train métrologique de 4 écartomètres, avec un écart type de 0,01 mm pour les mesures d'écartomé-

trie. La compensation de ces pseudo-observations montre que les 100 trajectoires résultantes sont lisses et toujours comprises dans une enveloppe de 3 mm autour d'un alignement théorique fixé par les deux points extrêmes de la piste (voir figure 11). Le contrôle d'alignement sur des distances inférieures à 6 mètres est directement garanti par le fait que le fil tendu mesure 6 mètres, et que la précision des écartomètres est supérieure aux tolérances requises.

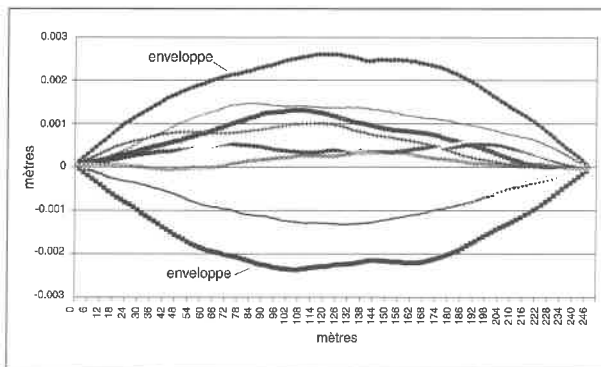


Figure 11 - Simulation de 100 diagnostics d'alignement. Les deux courbes extérieures constituent une enveloppe des 100 simulations. La figure montre en outre 11 simulations prises au hasard. Le rail ne s'écarte jamais de plus de 3 mm sur 240 mètres.

- Le montage d'un banc de 3 éléments de 6 mètres et du système de propulsion, et la réalisation du train métrologique, sont prévus pour ce printemps. Ils permettront de valider "en vraie grandeur" le système d'usinage des rails, le système de mesure et de réglage de l'alignement.
- Le montage de l'installation HISTAR complète devrait débuter en été 2000.

## 10. Bibliographie

- [1] W. Schwarz, hrsg - Vermessungsverfahren im Maschinen und Anlagenbau Wittwer 1995.
- [2] W. Coosemans, H. Mainaud - Métrologie linéaire: écartométrie axiale et fil tendu - CERN CLIC-Note No 316, septembre 1996.
- [3] H. Mainaud - Une nouvelle approche métrologique: l'écartométrie bi axiale. Application à l'alignement des accélérateurs linéaires. Thèse de doctorat - ENSAIS - Strasbourg 1996.
- [4] W. Thur et al. - Rigid, adjustable support of aligned elements via six struts. Lawrence Berkeley National Laboratory, 1997.
- [5] M. Hennes, R. Dönicke, H.-P. Christ - Zur Bestimmung der temperaturgradienteninduzierten Richtungsver-schwenkung beim Tunnelvortrieb. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 8/99.
- [6] V. Bourquin - Reduced-scale aerodynamic testing of high-speed vehicles in tunnels. PhD Thesis n° 1973, Lausanne 1999.
- [7] H. Dupraz, W. Coosemans et al. - High-precision alignment for the HISTAR project, dans Ingenieurvermessung 2000/K. Schnädelbach, hg. XIII. Int. Course on Engineering Surveying - Verlag K. Wittwer Stuttgart 2000.
- [8] Ph. Pot, Y. Trotet - Rapport final de l'étude principale Swissmetro. Genève, 1999.

Pour davantage de renseignements sur le projet Swissmetro, il est possible de consulter le site <http://www.swissmetro.ch>

## 11. Adresses

Hubert Dupraz  
Institut de géomatique  
École Polytechnique fédérale  
CH-1015 Lausanne Suisse  
E-mail: [hubert.dupraz@epfl.ch](mailto:hubert.dupraz@epfl.ch)

William Coosemans  
CERN/Métrologie de positionnement  
CH 1211 Genève 23 Suisse  
E-mail: [William.Coosemans@cern.ch](mailto:William.Coosemans@cern.ch)

Frédéric Ossart  
Société FOGALE Nanotech  
F-30035 Nîmes France  
E-mail: [info@fogale.fr](mailto:info@fogale.fr)

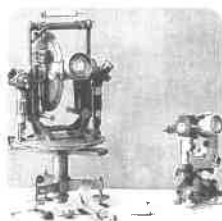
Vincent Bourquin  
Institut de machines hydrauliques  
et de mécanique des fluides  
École Polytechnique fédérale  
CH-1015 Lausanne Suisse  
E-mail: [Vincent.Bourquin@epfl.ch](mailto:Vincent.Bourquin@epfl.ch)

# une histoire d'optique topo

Marie-Noëlle Thomas

*L'histoire débute à la fin de la Première Guerre Mondiale: les villages de la vallée du Rhin qui vivaient de la broderie subissent de plein fouet la crise du textile et accueillent donc avec beaucoup d'enthousiasme les nouveaux entrepreneurs. Heinrich Wild sera l'un des moteurs de la renaissance d'une économie florissante dans la vallée...*

**Heinrich Wild**, Ingénieur Géomètre de génie originaire de Glamer a fait ses premières armes à l'Institut Topographique Suisse. Il a ensuite travaillé à la mise au point et la fabrication d'instruments de topographie chez Zeiss, à Jéna, puis choisit de travailler à son propre compte. Il trouve les capitaux pour commencer en la personne de Ernst Schmidheiny, un riche entrepreneur dont la famille ne cédera le capital qu'en 1997.



Après deux ans de recherche et de mise au point, il révolutionne l'instrumentation topographique en construisant le premier théodolite à indication de secondes d'arc, **le fameux T2**. La légende est en train de naître...

Heinrich Wild sera en effet à l'origine de très nombreuses innovations majeures dans les domaines de la topographie et de la photogrammétrie, ce qui lui vaudra d'ailleurs le titre de "Docteur honoris causa" par l'université confédérale de Zurich.

Il développe l'autographe A1, le photothéodolite II pour la photogrammétrie terrestre. En 1927, les progrès rapides de l'aviation l'amènent à construire une chambre de prises de vue aériennes et à exploiter les photographies aériennes avec les autographes.

En 1931 Heinrich Wild part s'établir à Zurich, mais la société qui porte son nom poursuit son activité. L'arrivée chez Wild Heerbrugg de jeunes Ingénieurs passionnés et inventeurs, tels que Max Kreis, va permettre la mise au point du théodolite boussole T0, du théodolite répéteur T1, de niveaux et de télémètres.

La Seconde Guerre Mondiale change la donne: la société Wild Heerbrugg se met à développer en priorité des prototypes de télémètres et télescopes panoramiques pour répondre à la demande militaire. Parallèlement, l'entreprise va préparer la paix et anticiper sur les besoins en instruments liés à la reconstruction des pays. C'est ainsi qu'à la veille de l'armistice, un nouveau théodolite, le T4, permet de mesurer des angles avec une précision de 0,1", du jamais vu dans le monde de la mesure!

Les progrès également réalisés en photogrammétrie et en qualité photographique vont faire de la société Wild Heerbrugg un partenaire incontournable: la



chambre aérienne automatique RC7 avec son objectif angulaire perfectionné « Aviogon », les autographes A7, A8 et B8 pour l'aérottriangulation et A8 et B8 pour la réalisation de cartes de prises de vue aériennes en sont les illustrations.

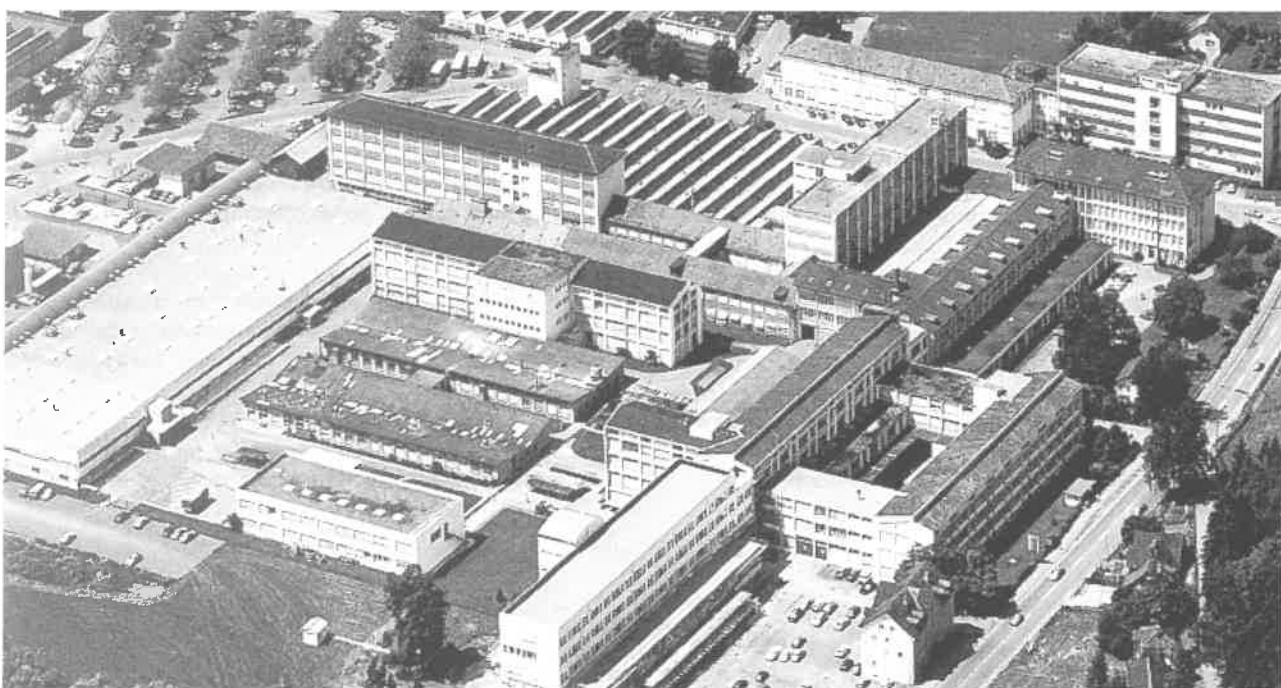
1951 sera une année importante pour l'entreprise: la succursale de France est ouverte, et les 900 collaborateurs voient disparaître leur père fondateur alors que les sites de production doivent s'agrandir devant le succès des instruments.

Malgré ce malheur, l'entreprise poursuit son activité et montre sa volonté de poursuivre sur les traces de son créateur: l'innovation et le service du client restent le mot d'ordre. Le TM10, télémètre pouvant mesurer des distances allant jusqu'à 500 m en est le parfait exemple.

Les années 1960 sont marquées par l'apparition de nouvelles technologies: l'électronique, l'informatique, le positionnement par satellites, la CAO connaissent leurs prémices. Wild Heerbrugg comprend vite l'intérêt qu'elles représentent pour le développement de son activité et les intègre à ses instruments: il développe avec la société française Sercel le

**DISTOMAT D110** qui révolutionne la technique de topographie en tant qu'appareil de mesure pour distances courtes. Wild en vendra plus de 1000 exemplaires en deux ans!

Et l'incorporation d'électronique, d'informatique va être systématique dans les instruments, qui vont évoluer au même rythme que ces nouvelles technologies, c'est-à-dire très rapidement: le DISTOMAT suit ces progrès, les théodolites deviennent optoélectroniques, les niveaux optiques deviennent numériques, et les premiers Systèmes d'Informations Géographiques germent. Wild Heerbrugg s'implique dès leurs débuts dans les systèmes de positionnement par satellites et développe très vite son savoir-faire grâce à une collaboration active avec Magnavox, qui conduira en 1984 à la création de la



société WM Satellite Company. L'Industrie va également utiliser la technologie de la topographie pour mesurer les objets de grandes dimensions de type avion, automobile, nucléaire: des systèmes mobiles vont alors permettre de mesurer en 3D les objets.

La dernière décennie du siècle a été marquée par la volonté de faciliter le travail des professionnels, et donc de simplifier le transfert de données entre les différents équipements à l'intérieur d'une même chaîne de traitement: c'est la naissance des instruments télécommandés à distance (le TCA), des cartes PCMCIA qui contiennent toutes les données et que l'on peut passer d'un instrument à l'autre.

Ces deux dernières années, l'ensemble de la gamme a été revu pour proposer, toujours dans l'esprit de Heinrich Wild, des innovations dans le domaine de la mesure: c'est ainsi que sont nées les stations totales TPS1100 qui proposent la mesure sans réflecteur, les systèmes GPS500 dotés d'une technologie beaucoup plus pointue, le DISTO classic, lasermètre miniaturisé, les niveaux NA700 ou BasicLevel, les systèmes pour l'industrie.

Heinrich Wild aura donc marqué le  $xx^e$  siècle de son empreinte: il est à l'origine de la topographie moderne et son nom est encore sur toutes les lèvres des topographes. Le  $xxi^e$  siècle, vous pouvez en être sûr, nous réserve encore bien d'autres surprises.

#### **Petite histoire des changements de noms: de Wild à Leica Geosystems...**

Le groupe Wild fondé en 1921 a ouvert des succursales dans de très nombreux pays. Pour poursuivre son expansion, il décide de réaliser une croissance externe: il entre donc dans le capital de Leitz en 1972 afin d'acquérir un savoir-faire complémentaire. La naissance du groupe Wild Leitz ne sera cependant effective qu'en 1986. En 1988 ce nouveau groupe acquiert la majorité du capital action de Kern & Co AG, et en 1989, Wild Leitz fusionne avec Cambridge Instruments Company. Le groupe Leica est quant à lui créé en 1990, et Leica Geosystems naît en 1997 de la scission des deux pôles de Leica, la microscopie et la topographie. Le département Photogrammétrie, qui s'était allié à Helava Associated depuis 1992, crée sa propre entité en 1997 pour devenir LH Systems.



■ Le ciel est un spectacle, le ciel est à tout le monde. Pour rêver devant les étoiles il faut aujourd'hui aller à la campagne, loin de la pollution et des lumières des cités...  
... ou dans un planétarium comme celui que nous vous présentons brièvement ici.■

## au planétarium de vaulx-en-velin

Dominique Vinot

L'A.F.T. tient à exprimer ses remerciements à Monsieur Patrick MILLAT, directeur du planétarium, et à son équipe, qui nous ont aimablement reçus, et qui nous ont fourni les informations et la matière essentielle de cet article.

Ni coupoles surgissant de l'horizon, ni tours, ni antennes, le planétarium de Vaux-en-Velin n'en est pas moins solidement amarré au cœur de cette cité de l'Est de Lyon. De conception résolument moderne, il s'intègre bien à un quartier où voisinent d'autres établissements au caractère culturel et technique de qualité.

Par ses objectifs et l'importance de ses prestations, cet équipement municipal, inauguré en 1995, et qui a accueilli depuis cette date plus de 150 000 visiteurs, entend bien réussir le pari qui a été fait, d'implanter dans une ville de la banlieue Est de l'agglomération lyonnaise un équipement d'excellence pour tous, quel que soit le niveau de formation : scolaire ou universitaire, des élèves des établissements primaires et secondaires aux adultes amateurs d'astronomie et de sciences.

Dans ce sens, il répond bien aux objectifs de ses fondateurs qui sont d'en faire un outil de popularisation de l'astronomie et des sciences de l'univers, par des productions ouvertes et conviviales, sans pour autant transiger avec la rigueur scientifique. Selon les souhaits de ses responsables, une véritable culture citoyenne.

Les visiteurs viennent non seulement de la région Rhône-Alpes, mais également d'autres départements et de pays voisins. Les groupes scolaires ou non, sont particulièrement nombreux.

Ce label de qualité trouve encore sa justification dans les visites de plusieurs personnalités du monde scientifique, tels





entretien avec l'animateur scientifique.

Pour le public scolaire, le planétarium adresse aux enseignants un dossier pédagogique élaboré avec l'équipe de professeurs du centre de ressources en astronomie du lycée Robert Doisneau.

## Au programme actuellement...

**Histoires d'univers...** pour expliquer le monde, les Arabes, les Grecs, les Égyptiens, les Dogons... ont créé mythes et légendes cosmologiques selon leur culture. Comment cette extraordinaire

diversité a-t-elle mené à un langage scientifique commun?

**Lointaines galaxies...** Vertiges de centaines de milliards d'étoiles et de nébuleuses où le soleil est tout petit!

Et notre Voie lactée dans tout cela?

**L'empire du Soleil...** La sonde Pioneer 10 raconte son voyage sans retour vers les banlieues du Soleil. Son récit plein d'humour rappelle les diverses étapes de la découverte du système solaire et en présente les 9 planètes.

## Et d'autres...

**La ronde des saisons, la planète trouée...**

## Et encore...

Des rencontres et des ateliers scientifiques, des cours d'astronomie, des expositions...

Le planétarium est ouvert 7 jours sur 7, du 20 septembre 1999 au 30 juillet 2000...

**Informations: 04 78 79 50 13**

**Réservations: 04 78 79 50 12**

**Site Internet: <http://www.planetariumvv.com>**

**E-mail: [stars@planetariumvv.com](mailto:stars@planetariumvv.com)**

## Le saviez-vous?

Trois planétariums français possèdent le Digistar: le planétarium de la Cité de l'Espace à Toulouse, celui de Pleumeur-Bodou, et celui de Vaulx-en-Velin.

Où sont les autres planétariums de France?

À Villeneuve-d'Asq (59 650), Reims (51 100), Nançay (18 330), Saint-Étienne (42 100), Strasbourg (67 000), Nîmes (30 000), Nantes (44 100), Le Bourget (93 350), Capelle-la-Grande (59 180), Poitiers (86 000), Paris (75 008).

Il existe une Fédération Française des planétariums, et une Association mondiale du même nom...

Alors, pour des voyages de science et de poésie, embarquez-vous sans hésiter, le ciel est à vous!

À bientôt...

Hubert Reeves, Claudie André-Deshayes, Jean-François Clervoy...

Pour avoir assisté à une récente conférence sur le thème « les enjeux de l'exploration de l'espace pour le III<sup>e</sup> millénaire », le rédacteur de ces lignes est à même de témoigner de la haute qualité des intervenants et de l'excellente impression de communication avec un public qui n'est pas forcément composé de spécialistes.

Il est signalé en particulier une prochaine conférence le 30 mai, avec Albert JACQUARD, sur le thème « De quoi demain sera-t-il fait? ».

## Des équipements de pointe... sous un dôme de grandes dimensions...

Le planétarium de Vaulx-en-Velin est doté d'un dôme de 15 mètres de diamètre et a une capacité de 150 places, ce qui le place au quatrième rang parmi les planétariums français. Le matériel mis en œuvre est une association de divers procédés, une projection par un système Digistar permettant d'afficher le ciel du jour, de projeter des spectacles d'astronomie de position ou d'afficher toutes sortes d'objets en 3D sur la coupole.

Le système de projection graphique Digistar est notamment constitué d'un ordinateur qui contient une base de données astronomiques relatives à plus de 9 000 étoiles.

Un système multimédia associé et connecté au simulateur astronomique Digistar regroupe plusieurs sources audiovisuelles permettant des projections de haute définition soit sur une surface de 25 m<sup>2</sup> dans la partie centrale de vision des spectateurs, soit des projections sur 360°, notamment par une série de 20 projecteurs de diapositives, synchronisés et permettant la projection de panoramas en fondus enchaînés.

## Plus que des projections... des spectacles complets...

Chaque séance, chaque spectacle, est centré sur un thème propre, constituant une découverte du ciel nocturne visible à l'œil nu, d'une durée d'une heure quinze, accompagnée d'un

■ Entre la deuxième et la troisième cataracte du Nil, à 800 km au nord de Khartoum, Sedeinga est difficile d'accès. Le site révèle la présence de vestiges de l'antique Égypte très éloignés de l'Égypte traditionnelle. La documentation topo de ces lieux est assez pauvre. Christian Meyer est donc parti avec une station topo sous le bras pour cette aventure peu commune. ■

## mission archéologique soudan-nord

### site de sedeinga

# NUBIE

Christian Meyer

### Introduction

Coupée de l'Égypte par les verrous des cataractes qui barrent le Nil, la Nubie est restée très longtemps un pays mal connu, disons même mystérieux. Le fleuve majestueux qu'est le Nil apporte la vie dans des régions pourtant fort désertées.

Le Soudan a pris son indépendance en 1956 et depuis, malgré des difficultés de tous ordres, les recherches archéologiques se développent avec l'aide de missions étrangères qui y viennent régulièrement.

Des pyramides et des ruines encore imposantes attestent notamment la gloire des souverains de l'empire de Méroé.

Sur la rive gauche du Nil, loin du Sud de l'Égypte et à 800 km au Nord de Khartoum, SEDEINGA est situé entre la deuxième et la troisième cataracte au centre d'un bassin difficile d'accès et très isolé.

Du temple de la reine Tiy, grande épouse du pharaon Amenhotep III, il ne subsiste qu'une colonne dominant un éboulis de blocs de grès, mais par contre apparaissent les vestiges d'une très vaste nécropole napatéenne et méroïtique.

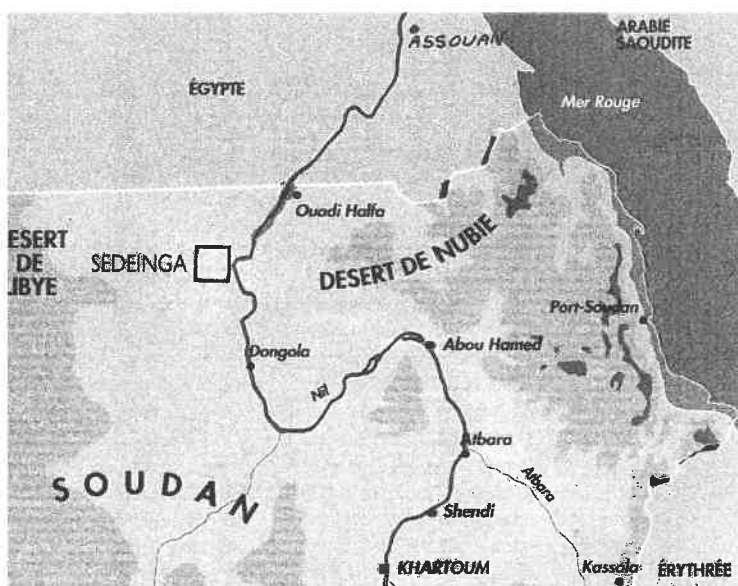
Ce site est proche (quelques km) d'un temple égyptien encore très bien conservé, à SOLEB, qui a été très étudié par M<sup>me</sup> Giorgini et qui fera bientôt l'objet d'une publication très attendue: on s'interroge en effet sur la présence de ces vestiges égyptiens si importants et si éloignés de l'Égypte traditionnelle.

L'importance du site de Sedeinga révélée en 1963 par la mission Giorgini (mission italo-française) a justifié la reprise des fouilles en 1977 par Jean Leclant, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Inscriptions et Belles Lettres. Catherine Berger, archéologue au CNRS est responsable des missions de terrain qui se succèdent chaque année.

On espère, en effet, en fouillant cette nécropole, mettre à jour de nouvelles inscriptions méroïtiques permettant de mieux comprendre pourquoi ce site, si déserté, a eu une telle importance. Ainsi, plusieurs centaines de sépultures, souvent creusées sous des pyramides de briques crues, ont été fouillées et étudiées.

L'importance de cette nécropole méroïtique ne doit cependant pas occulter d'autres phases historiques où seulement quelques éléments ont pu être mis à jour.





On a en effet retrouvé des vestiges importants de l'époque chrétienne (église, couvent, forteresse...) et de l'époque islamique; la documentation topographique de ces lieux est assez pauvre:

Quelques croquis d'ensemble sommaires, des plans détaillés et locaux dessinés par les archéologues au cours des fouilles, des photos faites avec un cerf-volant en 1999, une photographie aérienne classique agrandie et bien sûr des cartes à petite échelle dont la carte générale du Soudan à 1 : 250 000

Aussi, Catherine Berger recherchait les moyens de faire établir un plan topographique permettant de placer avec précision les différents secteurs de recherches, d'avoir une idée sur les futures zones de prospection, de mieux comprendre la structure des différentes terrasses sur lesquelles sont implantées les tombes et en même temps d'avoir un support géométrique pour aider les archéologues à dessiner les détails des tombes avec un fonds topographique homogène et précis.

Patrice Lenoble, archéologue, grand connaisseur du Soudan (il y a passé 17 ans de sa vie, avec passion!), que j'ai connu en 1984 en Jordanie, m'a contacté pour m'inviter à participer à cette mission du 11 novembre au 24 décembre 1999 pour établir ces plans topographiques.

Je suis donc parti avec une station topo sous le bras pour cette aventure peu commune.



1999 - Photo prise avec un cerf-volant

## I - Mise en place de la mission

Nous avons passé quelques jours à Khartoum pour y rencontrer les autorités soudanaises et françaises ainsi qu'un archéologue en poste à l'Ambassade de France et détaché comme Directeur de la Section française du Service des Antiquités, M. Jacques Reinold.

La mission se composait de trois archéologues dont le chef de mission (C. Berger), un dessinateur, un inspecteur soudanais du Service des antiquités et un topographe (moi-même).

À Khartoum, nous avons surtout fait le plein de denrées diverses: ravitaillement, peintures, outils, pétrole, batterie... etc. et tout ce qu'il faut pour vivre en autonomie pour un mois et demi à six personnes dans une région où nous ne trouverions pratiquement rien!

Partis avec deux véhicules tout terrain très chargés, de Khartoum, nous avons, non sans difficultés, traversé le désert en 23 heures pour arriver dans la nuit à Sedeinga.

Ce qui m'a le plus surpris c'est le sens d'orientation des chauffeurs soudanais qui sans boussole ni GPS roulent en pleine nuit dans un désert plein d'embûches; c'est vrai que parfois on se plante ou on fait des détours non prévus, mais quand même!

La maison de fouilles, a été réouverte et remise en état pour fonctionner: nettoyage, installation des filtres à eau, mise en place du panneau solaire et de la batterie. (Pour la recharge des batteries des ordinateurs et de la station topo). etc. Elle est située pratiquement au milieu du site archéologique entre deux villages et à proximité du Nil.

Conçue comme un temple égyptien (en plus petit!) par un archéologue architecte français, elle a été construite avec les matériaux du pays et s'intègre bien dans le paysage; elle est tout à fait vivable avec un confort malgré tout un peu spartiate.

Les conditions d'alimentation sont pratiquement liées aux denrées que nous avons apportées; les villages nous ont néanmoins fournis en pain, quelques fruits (notamment pamplemousses) et légumes (haricots verts, courgettes, tomates...), mais pratiquement pas de viande ni de poisson (malgré la proximité du Nil; apparemment il n'y a pas de pêcheurs!).

Nous étions très isolés: pas de téléphone, ni courrier et de rares visiteurs; c'est une expérience un peu particulière à vivre.

## 2 - Travaux topographiques

### Points d'appui

Il existe probablement des points géodésiques (j'en ai identifié un sur une montagne à 5 km) et des repères de nivellement le long du Nil, mais nous n'avons aucun document, et il est certainement très difficile de se procurer ce genre d'information à Khartoum!

Il y a aussi des photos aériennes, mais je n'ai eu à ma disposition que de vieilles photos sur papier à petite échelle, qui ne m'auraient pas été utiles pour le levé à grande échelle que je m'apprêtais à faire.

Quelques points (dans un système de coordonnées local) avaient été implantés en 1982 par la mission de P. Deleuze (IFAO) dont certains avaient subsisté.

Néanmoins j'ai refait entièrement un référentiel local:

- L'altitude de base (déjà établie par P. Deleuze) issue de la cote d'une butte repérée sur une carte nationale à 1 : 250 000.





- Un quadrillage rectangulaire avec les « y » orientés au Nord (avec la boussole d'un Wild T0), et des coordonnées arbitraires pour l'origine.

- Une borne origine a été placée à proximité de la maison de fouilles et la « kuba » du minaret de Qubat Selim a servi de repère d'orientation.

Un réseau local d'une dizaine de points a été établi par mesure d'angles et de distances.

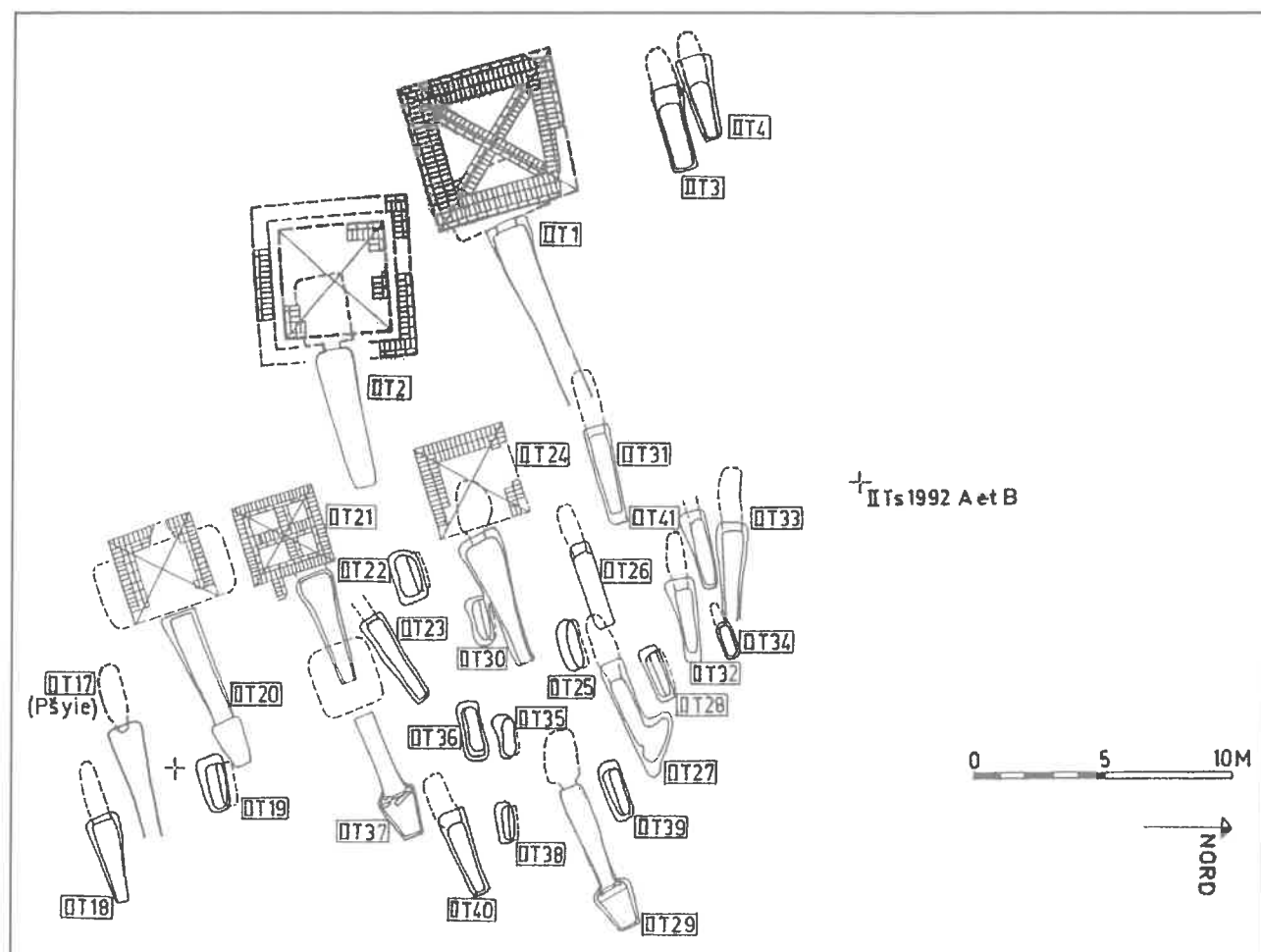
Grâce à la fonction « station libre » très pratique du tachéomètre Zeiss, je pouvais stationner n'importe où sur le chantier et obtenir les coordonnées et l'orientation de ma station dans un minimum de temps.

J'ai aussi déterminé les coordonnées du chantier dans le système géodésique UTM sur WGS84 à l'aide d'un récepteur de navigation Magellan 2000, avec bien sûr une précision faible, mais qui permet de situer le chantier par rapport aux autres sites de cette région.

Une autre application de ce récepteur GPS a été de repérer à la suite d'une prospection dans le désert à une cinquantaine de km, une zone dans laquelle nous avons découvert des gravures rupestres.

Cela permettra d'y retourner sans problème, ce qui est prévu dans une prochaine campagne de relevé systématique de ces gravures.





### Modèle de terrain

Disposant d'une station ZEISS Elta55 louée auprès de la société Metodica (M. Mastroiannakis), très conviviale et précise, j'ai déterminé une série régulière de points sur l'ensemble du site (environ 900 m x 800 m), et j'y ai ajouté le relevé des lignes caractéristiques: thalwegs, bords de terrasses..., afin d'avoir un modèle numérique de terrain qui permettra ultérieurement la visualisation du relief avec des courbes de niveau et des estompages.

Le travail a été facilité par les possibilités de circuler aisément sur le terrain où il n'y avait pratiquement pas de gros obstacles ni de végétation.

Par contre, il y avait beaucoup de vent, parfois très violent, nous noyant sous des nuées de sable; les premières semaines très chaudes ont nécessité l'utilisation d'un parasol en permanence pour protéger l'instrument et j'ai évité de travailler en milieu de journée.

Chaque jour, je transférais les données enregistrées dans mon tachéomètre sur un ordinateur portable dont la batterie était alimentée par un accu de camion lui-même chargé par un panneau solaire.

Je veillais avec grand soin à ce que l'ordinateur portable soit à l'abri du sable qui envahissait tout et je le rangeais avec grande précaution dans des sacs plastiques hermétiques après chaque transfert!

Cet ordinateur ne m'aura finalement servi qu'à stocker les données et je ne m'en suis pas servi pour visualiser et gérer les données topo. D'autant plus que je n'avais pas d'imprimante

(ce qui aurait pu permettre de dialoguer avec les archéologues pour améliorer et compléter les levés topo).

Malgré ces difficultés climatiques, la station a fonctionné correctement jusqu'à la fin!

Mon « porte mire » était un jeune sympathique soudanais du village voisin, plein de bonne volonté; mais la communication avec lui, avec quelques mots d'arabe étant très modeste m'a amené à de très nombreux déplacements pour m'assurer de la bonne position du prisme sur les points à relever.

Avec un porte mire plus « technique », j'aurais certainement amélioré considérablement la rentabilité et la qualité du levé. On se met à rêver du tachéomètre robot où le topographe se trouve sur la mire et non pas à l'appareil; mais dans ce type de climat, j'aurais néanmoins quelques appréhensions sur la maintenance de l'équipement!

En cas de panne de l'instrument, je n'avais aucune autre alternative que celle d'utiliser un WildT0 que j'avais récupéré à Khartoum en cas de problèmes majeurs!

### Levé des détails

Il ne m'était pas possible de relever de façon exhaustive les centaines de tombes du chantier.

Aussi je n'ai relevé que les couloirs de descente des tombes (les descenderies) en m'efforçant de les identifier par rapport aux dessins faits par les archéologues.

J'ai levé bien sûr les pistes, les rochers, les maisons qui bordaient le chantier..., ainsi que les panneaux placés par l'Inspecteur soudanais du Ministère des Antiquités, servant à

définir la limite de la zone archéologique et destinés à empêcher les habitants de construire dans la zone.

Ce plan topographique général permettra de comprendre l'implantation des différentes nécropoles et vestiges archéologiques et des phénomènes d'érosion. Il reste en effet de très nombreuses interrogations sur ce site; avec le relevé topographique on cernerait mieux les zones où la probabilité de trouver des vestiges archéologiques intéressants sera la plus grande.

### Conclusion

Le pays est très beau, calme, loin des rumeurs de guerre et de troubles qui secouent (souvent médiatiquement!) diverses zones du Soudan.

L'islam y est tout à fait modéré; le niveau de vie des habitants est extrêmement bas; heureusement des apports éco-

nomiques non négligeables sont fournis par les Soudanais travaillant à l'étranger.

Le Nil est majestueux; son flot de verdure contraste étrangement avec l'aridité du paysage autour, fait de sables, rochers, relativement accidenté et sans aucune végétation. Cette nature est fascinante et reposante, comparée à notre environnement de vie occidental.

L'expérience personnelle de vivre à six dans un grand isolement (comme sur un bateau!) est aussi une expérience particulière qui demande une certaine aptitude à la tolérance.

Bref, ce genre de mission, parfois un peu spartiate, est un enrichissement et nous amène à relativiser les problèmes et interrogations de notre vie quotidienne en France.

*Pour en savoir plus, vous pouvez consulter le site Internet : [www.france.diplomatie.fr/culture/france/archeologie/dedeinga](http://www.france.diplomatie.fr/culture/france/archeologie/dedeinga)*

## Cycle Supérieur de Photogrammétrie

### PHOTOGRAMMÉTRIE NUMÉRIQUE Image métrique – Vision 3D

*Cycle de 12 mois dont 6 en entreprise*

**Destiné à former des spécialistes hautement qualifiés en photogrammétrie, en traitements d'images numériques et en applications mettant en œuvre la vision 3D stéréoscopique à des fins de mesure et de localisation d'objets.**

**Domaine d'application concerné :** l'information géographique (cartographie, environnement, urbanisme, métrologie) et plus généralement tout domaine nécessitant la connaissance de la position et de la forme d'objets en trois dimensions à travers tous les types d'images, (aériennes, satellitaires, ou de synthèse).

*Sélection : sur dossier et entretien avec un jury*

**ÉCOLE NATIONALE DES  
SCIENCES GÉOGRAPHIQUES**

6 et 8 avenue Blaise Pascal  
Cité Descartes – Champs-sur-Marne  
77455 Marne la Vallée Cedex 2



**RENSEIGNEMENTS INSCRIPTIONS**

Tél. : +33 (0)1 64 15 31 12  
Fax : +33 (0)1 64 15 31 07  
Mél. : [Gerard.Lutrot@ensg.ign.fr](mailto:Gerard.Lutrot@ensg.ign.fr)  
Internet : <http://www.ensg.ign.fr>

# **comment choisir un système de positionnement par satellites quand on recherche le centimètre dix fois par seconde ?**

**Jean-Pierre Grassien**  
Chef de projet PAD

**la méthode de sélection du port autonome de dunkerque pour l'acquisition d'un gps cinématique bi-fréquence centrimétrique réel**

**Marc Henaut**  
ingénieur-géomètre

Dans le cadre du projet d'équipement d'une vedette de sondage avec un sondeur multifaisceaux le Port Autonome de Dunkerque fait évoluer ses moyens de positionnement géographique des sondes, afin de passer d'une précision métrique, à une position centimétrique. Les progrès considérables des récepteurs GPS cinématique bi-fréquence centimétrique temps réel, capables de délivrer des positions à la précision centimétrique, à des fréquences supérieures ou égales à 10 Hz, et des précisions millimétriques à des fréquences de l'ordre de 0,2 Hz, ouvrent des perspectives nouvelles notamment en matière de positionnement dynamique de mobiles, de positionnement de sondes bathymétriques et de positionnement d'ouvrages à la mer dont les fluctuations sont très difficiles à mesurer.

Pour faire un choix judicieux, il ne suffit cependant pas de croire les affirmations des notices techniques qui accompagnent les matériels offerts sur le marché. Il s'agit de vérifier méthodiquement les performances des systèmes GPS dit LRK, avant de sélectionner un matériel, coûteux, délicat à mettre en œuvre et qui va bouleverser les usages et la connaissance du domaine assez traditionnel de l'hydrographie.

Le Port Autonome de Dunkerque a donc mis au point sa méthode de sélection avec l'aide de deux ingénieurs Alexis Badaoui, consultant et Marc Hénaut jeune ingénieur géomètre, sous la direction de Jean Pierre Grassien Chef de Projet au Port Autonome de Dunkerque, pour faire la comparaison des systèmes présentés dans le cadre d'un appel d'offres en vue de la fourniture d'un système de positionnement centimétrique par satellite à une fréquence supérieure à 5 Hz compte tenu de l'offre.





## Les objectifs du système de positionnement

Les besoins que le futur système de positionnement doit résoudre, se résument ainsi :

- délivrer en dynamique, à une cadence la plus élevée possible, une position exacte la plus précise possible et la plus "réelle" possible, dans les trois dimensions,

- délivrer en statique, une position la plus précise possible et la plus stable possible, supérieure à 10 Hz, 20 Hz si possible.

Il s'agit d'une part de réduire au minimum, l'erreur sur le positionnement des sondes bathymétriques par deux moyens qui ont recours au système de positionnement :

- le positionnement précis de la sonde elle-même en X et Y,
- la correction apportée à la sonde mesurée par le sondeur par rapport à la verticale du navire, les angles de roulis, de tangage, de cap et les mesures du pilonnement et de la marée pouvant être mesurés suivant une technique complexe que le Port Autonome de Dunkerque met au point.

## Un questionnaire préalable

Avant de procéder à la sélection des candidats sur leurs références, nous avons voulu en savoir plus sur la conception fonctionnelle des matériels proposés. Un questionnaire a été mis au point permettre aux candidats de s'exprimer au mieux en fonction de leur offre et de leur présenter nos besoins sans les imposer, ainsi que pour lever quelques doutes survenus à la lecture des notices techniques de présentation. Les questions posées ont été les suivantes.

- 1 - Le D-GPS est-il capable de donner la position centimétrique mesurée (et non interpolée) en x, y, z à une cadence supérieure ou égale à dix fois par seconde. Quelle est sa cadence?
- 2 - Quel est le temps de latence?  
Quel est l'intervalle de temps entre la prise de mesure et la délivrance de la position sur l'interface numérique?
- 3 - Quel est le temps de convergence vers la précision centimétrique après un masquage de courte durée?  
Quel est le nombre de canaux simultanés acquis en permanence?
- 4 - Dans le message délivré en sortie, y a-t-il une indication sur le type de précision centimétrique, décimétrique ou métrique?
- 5 - Le D-GPS est-il utilisable pour trouver la position de la station **de référence** sans faire appel à des mesures complémentaires, notamment une implantation topographique par un géomètre? Décrivez la procédure de localisation en coordonnées de la station **de référence**.
- 6 - Le D-GPS délivre-t-il la position X, Y, Z avec la précision centimétrique en coordonnées LAMBERT 2 (IGN80)? Peut-on choisir ou définir son système de projection?
- 7 - Peut-on connaître avec le D-GPS, les éphémérides des satellites (ceux qui sont utilisables à différents moments de la journée pour garantir la précision).
- 8 - Faut-il réserver une fréquence radio pour les essais?  
Quel est le débit de la communication radio 1200b, 2400b, 9600b. On veut connaître le débit de la communication entre les modems à l'émission et à la réception et entre le GPS et le modem.
- 9a - Y a-t-il un décalage en x, y, z dans la trajectoire du point localisé au cours d'un changement de configuration satellitaire?

9b - Peut-on appliquer les corrections **venant de la station de référence**, en temps différé?

9c - L'équipement mobile doit pouvoir permettre de faire simultanément les corrections en temps réel et la récupération par un ordinateur connecté des données de positionnement corrigées et des données brutes qui permettront de faire des corrections exhaustives en temps différé.

10a - Le D-GPS accepte-t-il des équipements radios courants entre la station et le récepteur mobile?

10b - Quelle est la validité dans le temps d'une correction? Le but étant de diminuer le débit de la transmission radio.

11 - Quels sont les conditions limites d'utilisation (vitesse du mobile, accélérations en x, y, z, accélérations angulaires)?

12 - Quel est le mode d'alimentation électrique et son autonomie?

Les réponses à certaines questions méritaient d'être vérifiées c'est pourquoi, nous avons voulu aller plus loin qu'une simple démonstration en réalisant des tests.

## Les conditions de tests

Les conditions des tests devaient être objectives, c'est-à-dire opposables à ceux qui proposaient leur matériel. Elles ont été acceptées par les candidats.

Les mesures effectuées devaient évidemment être vérifiables et comparables, non pas seulement entre elles mais par rapport à une réalité objective définie préalablement.

Les systèmes proposés devaient pouvoir être analysés au plan conceptuel et au plan fonctionnel et vérifiés au plan de la réalité des performances annoncées.

## Deux séries de tests en statique et en dynamique

Il a surtout été important que les deux systèmes réalisent les mêmes tests dans des conditions similaires. Selon les possibilités du GPS deux catégories d'essais statiques et trajectographiques ont été réalisées.

Pour tous les tests, la station GPS de référence a été mise en place sur un point géodésique de l'IGN très stable et favorisant l'observation des satellites et la liaison radio.

Durant tous les essais les positions du GPS mobile ont été enregistrées soit sur un PC portable, soit sur le système lui-même, si sa capacité d'enregistrement était suffisante, à des cadences variables selon les tests, voire selon des cadences différentes pour les mêmes tests. De plus, les observations ont été continuellement sauvegardées en temps réel puis en post-traitement.

## Les tests statiques

### Observations de points géodésiques

On a observé plusieurs points du réseau géodésique du PAD sur des jours consécutifs. Les points ont été observés à des heures différentes selon les jours, c'est-à-dire que l'on a modifié le sens d'observation du réseau tous les jours.

Pour tester la vitesse de raccrochement des systèmes, on a effectué des retournements de l'antenne. On a chronométré le temps de raccrochage que l'on a retrouvé aussi dans les fichiers d'enregistrements datés.

## Mesure d'une base d'étalonnage

On dispose sur la digue de Dunkerque-Malo d'une base d'étalonnage constitué de quatre points situés à 72 m 028, 527 m 987 et 350 m 976 avec des dénivelées de +0,011 m - 0,127 m et +0,409 m.

La vétusté de la base n'a pas permis d'utiliser les données de haute précision diffusées.

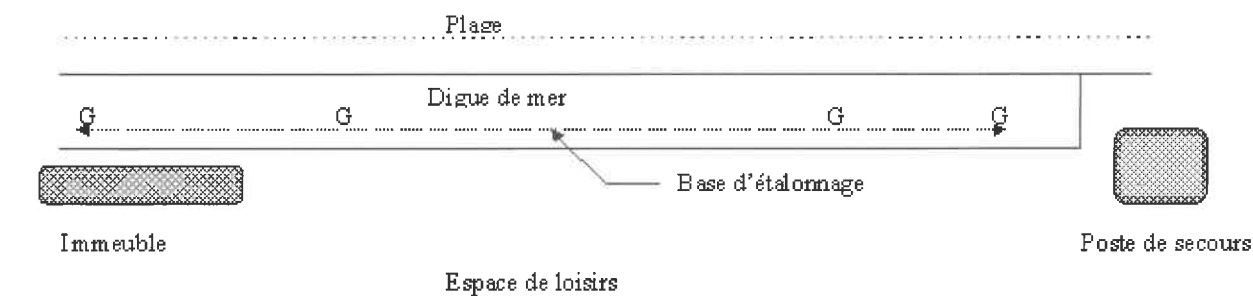
Cette base a été observée par conséquent par moyen topographique classique afin de déterminer à nouveau les distances d'étalonnage avec précision.

La station GPS itinérante a été déplacée sur les autres repères. On a réalisé une mise en station à chaque fois, pour pouvoir observer le point quelques minutes.

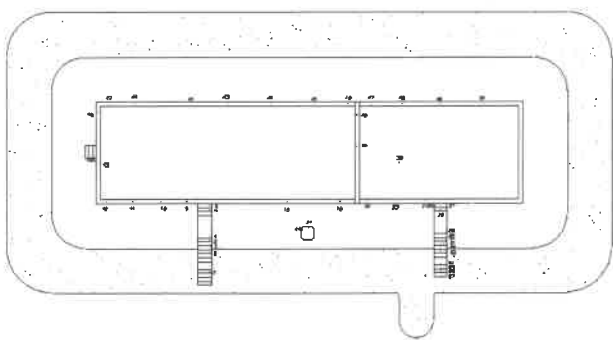
## Test sur le micro-canevas altimétrique

Il a été mis en place un micro canevas altimétrique sur un ancien pont de levage, présentant des opportunités de dénivelées. Sur ce site, 50 points ont été mesurés précisément. On disposait donc, à partir d'un point de référence, de toutes les dénivelées.

Le test a consisté à observer tous les points avec le récepteur mobile. L'observation s'effectuant de manière continue, c'est-à-dire que le récepteur enregistrerait les données durant tout le test et que les points furent « topés ». La station de référence était située à 13 km de la zone de tests et permettant ainsi de vérifier la tenue des performances sur un vecteur important. On disposait donc de l'altitude de tous ces points. On en a tiré les dénivelées pour une comparaison.



	<b>G5-G6</b>	<b>G6-G8</b>	<b>G8-G9</b>
Distance	72,028 m	527,0987 m	359,976 m
Dénivelées	0,011 m	- 0,127 m	0,409 m



<b>Points</b>	<b>Dénivelée</b>
REF I	<b>0,0000</b>
REF II	0,0351
1	2,3484
2	2,1897
3	2,0358
4	1,8759
5	1,7199
6	1,0979
7	2,6244
8	2,7720

## Les tests dynamiques

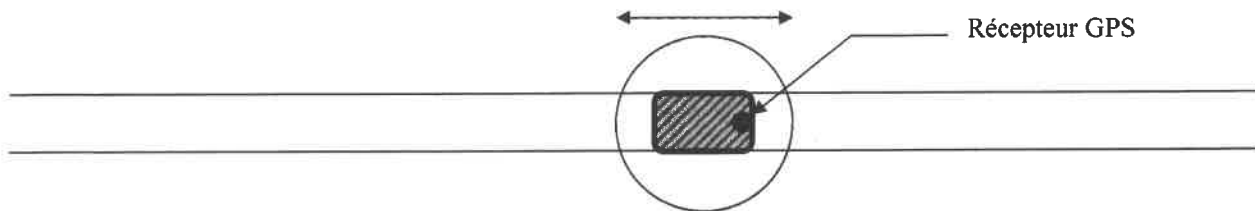
### Tests trajectographiques (Photo de la grue Calillard)

Des essais ont été réalisés sur cette grue de quai, une Caillard de 10 t dont le sommet de la flèche culmine à 34 m 50, la cabine est à 16 m du sol.

### Test sur la grue

Le Port Autonome de Dunkerque dispose de grandes grues de quai circulant sur des rails rectilignes. L'idée de mettre un récepteur sur une grue est venue de la certitude de pouvoir déterminer une trajectoire par le calcul et par le constat mesurable et chronométrable de l'attitude du récepteur sur un mobile.





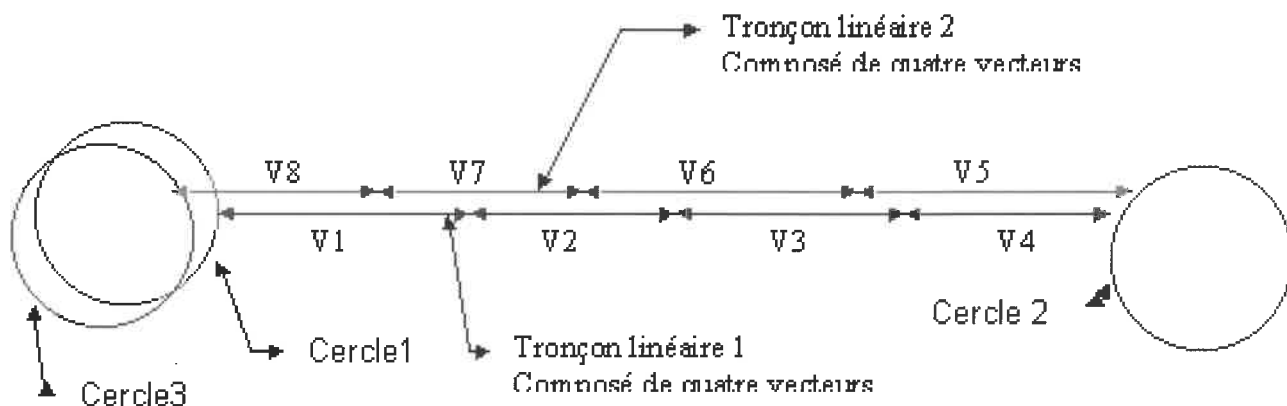
### Darse n°3

*Schéma du site : (ci-dessus)*

Le récepteur mobile a été placé contre les rambarde de sécurité sur la plate forme supérieure de la grue. Celle-ci située à 17 mètres de hauteur est dégagée et permet une réception maximale. La grue effectuera plusieurs mouvements de rotation et de translation sur les rails. Lors des différents arrêts, des marques au sol ont été réalisées.

Il faut bien noter le fait que la grue n'a pas un mouvement souple. À chaque arrêt de la grue, le mobile est contraint à des secousses qui occasionnent donc des déplacements. Il a fallu tenir compte de ce facteur pour apprécier les mouvements relatifs du mobile.

### Décomposition de la trajectographie



La trajectographie effectuée par le mobile a été projetée sur les trois plans du système spatial de référence.

La projection dans le plan XY a donné le déplacement du mobile projeté sur le sol. On a retrouvé donc les mouvements effectués avec la grue.

On a calculé les vitesses de déplacements du mobile dans les trois plans du système spatial de référence.

Théoriquement, la vitesse devait être nulle lorsque le mobile était à l'arrêt.

Pour chaque tronçon linéaire le gisement (direction) général a été calculé puis le gisement de tous les vecteurs le composant. La comparaison des deux a permis de calculer des écarts angulaires ou normaux aux déplacements.



La somme des écarts devait être proche de zéro puisque les points devaient statistiquement se répartir autour des trajectoires théoriques.

Pour les mouvements circulaires, on a étudié les écarts sur les rayons. Les différents points d'arrêts effectués pendant ces mouvements ont permis de déterminer les centres et les rayons des cercles. Pour chaque point des cercles, on a calculé ensuite le rayon. Par comparaison avec le rayon général, on disposait ainsi des écarts des points par rapport au cercle théorique.

Comme pour les mouvements linéaires, la somme des écarts par rapport à la trajectoire circulaire théorique devait être nulle et les écarts devaient se répartir statistiquement de part et d'autre du mouvement calculé. Néanmoins la définition

du cercle restant théorique, on n'a pu complètement se fier à un jugement sur la somme des écarts.

Lors du test de la grue, chaque arrêt de celle-ci dans les mouvements linéaires a été marqué au sol puis chaîné. On disposait donc d'éléments de comparaison avec les données issues du GPS.

### Test sur la vedette

Un système GPS a été installé sur la vedette de sondage bathymétrique "FREGATE" (longueur 8 mètres, largeur 5 mètres) pour apprécier la tenue des performances annoncées en réception et en fourniture de position dans ces conditions.



Les sites d'essais n'étant pas soumis à des effets de marée, puisqu'ils ont été réalisés dans l'enceinte portuaire, les heures d'observations n'avaient donc pas d'importance pour respecter l'égalité des conditions d'essais.

Sur trois sites, la vedette a suivi des trajectoires approximatives prédéfinies.

Le capteur a été installé sur une partie dégagée de la vedette. Il a rencontré des contraintes importantes : causes de perturbations, des masques des masses métalliques, des liaisons radios parasites, etc.

Les trajectographies réalisées sur les plans d'eau ont démontré la qualité des systèmes à fournir un positionnement précis et en continu malgré les masques et les perturbations engendrés par un environnement hostile.

En effet dans les secteurs portuaires traversés par la vedette, un portique à charbon situé à 80 mètres de hauteur,

un dock flottant de trois cents mètres de long et de 40 mètres de hauteur et de multiples interférences radios sont autant de risques de dégradations de performances séduisantes sur le papier.

Par ailleurs, nous avons testé la capacité du système à fournir des données sur des sorties numériques différentes du récepteur.

La vitesse de raccrochement en conditions réelles a pu être déterminée grâce au dépouillement des observations des différentes trajectographies.

Les objectifs des tests							
OBJECTIFS	TESTS	Tests statiques				Tests cinématiques	
		Observation des points géodésiques	Mesure d'une base d'étalement	Mesure d'un micro canevas altimétrique	Test d'initialisation	Test sur la grue	Test sur la vedette
Cohérence entre les positions fournies par le récepteur et les positions connues des points tests		x	x	x		x	
Capacité de l'ensemble à fournir les positions selon les précisions demandées et les cadences requises		x	x	x		x	x
Capacité de l'ensemble à fournir les informations demandées en simultané sur les différentes sorties RS232 sans dégradation de fonctionnement							x
Vérification du Latency							x
Vérification de la tenue des performances en fonction de l'éloignement de la station différentielle en milieu portuaire		x		x			x
Capacité du système de recalcul des positions en léger différé							x
Test de la conversion de Lambert		x					
Vitesse de raccrochement et de convergence à la précision centimétrique					x		x
Capacité du système à travailler sans filtrage et sans extrapolation et prédiction						x	
Capacité du système à travailler en continu						x	x
Répétabilité des mesures		x		x			
Capacité du système à indiquer le niveau de précision des données fournies							x

## Les résultats

Sans porter de jugement de valeur sur les matériels testés, malgré le soin que chaque candidat y a apporté, les tests se sont révélés, malgré tout, insuffisants pour juger complètement de leur adéquation à notre problématique.

La conception des tests n'a pu parfois déterminer la réalité des positions mesurées, car beaucoup de causes d'erreurs indépendantes des systèmes, n'ont pas été éclaircies, notamment les problèmes dus au géoïde et à la conversion entre les systèmes WGS84 et IGN80. Par ailleurs malgré un chronométrage rigoureux, le fameux "latency" qui se révèle bien complexe à déterminer.

On s'aperçoit bien que la date affectée à une mesure de position est un élément essentiel et difficile à expliciter dès lors que l'on atteint les limites des moyens de calcul des systèmes proposés. Quelle est la valeur objective d'une mesure dont on ne sait finalement pas exactement si elle résulte d'un constat corroboré à une mesure résultant elle-même d'une prédiction, cette dernière étant fondée sur une interpolation de positions

passées? L'étonnante stabilité de certains résultats, peut engendrer le doute, mais reconnaissons que nous abordons là une utilisation bien particulière qui consiste à positionner un mobile dans l'espace en temps réel ou en léger différé.

Il est néanmoins essentiel de démontrer par quelques graphiques que ces tests ont pu apporter des éléments d'interrogation sur les systèmes GPS auxquels les constructeurs n'ont pas de réponse immédiate pour des raisons bien compréhensibles.

### Exemple de résultat en altimétrie :

Les observations sur le canevas altimétrique étaient importantes puisque le système choisi doit au final servir d'appui pour des données bathymétriques, la composante verticale du GPS est donc pour nous essentielle. L'estimation de la précision des systèmes en altimétrie a donc été soignée. Les écarts constatés, comme le montre le graphique suivant, trouvent des explications dans bien des directions (conditions météorologiques, constellation satellitaire, vecteur de base important, etc.) mais démontre la problématique de l'altimétrie de précision par GPS.



## DOMAINE D'APPRÉCIATIONS

### Qualités techniques générales

Performances Radio  
Adéquation logicielle  
Compatibilité entre systèmes

### Prestation Terrain

Réalisation des objectifs demandés  
Suivi des tests

Mise en œuvre station de référence  
Mise en œuvre grue  
Mise en œuvre vedette  
Mise en œuvre statique

Liaison radio  
Enregistrements des données  
Tenue des batteries

### Résultats tests

Fourniture des résultats  
Suivi des calculs

#### Réseau de points

Différence temps réel/post-traitement  
Différence deux moments d'observations différents  
Précision sur le réseau

#### Base d'étalonnage

Précision intasèque  
Différence temps réel/post-traitement  
Trajectographie d'un point statique

#### Micro canevas altimétrique

Précision altimétrique  
Différence temps réel/post-traitement  
Différence deux moments d'observations différents

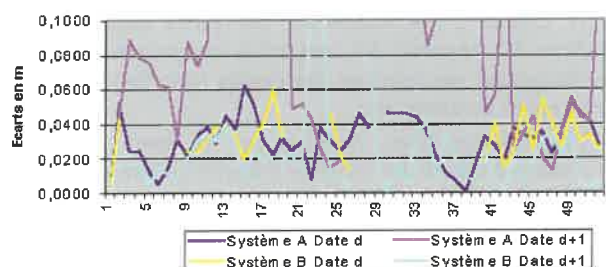
#### Trajectographie grue

Déplacement du mobile dans les différents plans  
Vitesse de déplacements dans les plans  
Trajectoire linéaire  
Trajectoire circulaire  
Distance mesurées

#### Trajectographie Vedette

Suivi général de la route  
Zone de perturbations  
Raccrochements de la précision centimétrique  
Indication de la précision

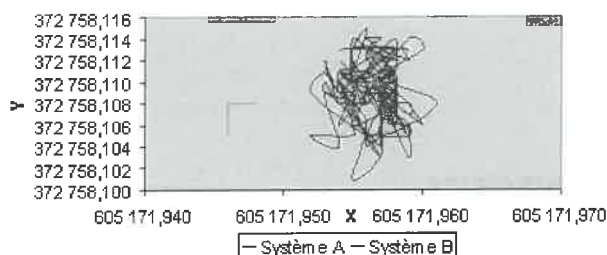
### Appréciation générale



Précision altimétrique temps réel

### Exemple de résultat en trajectographie :

Les observations sur un point de canevas géodésique ont été traitées en trajectographie. Le graphique suivant en résultant est significatif de différences entre deux systèmes.



Trajectographie d'un point statique

## Conclusion

Vouloir comparer des systèmes GPS entre eux est déjà en soi un challenge technique important, sinon original, l'opportunité de la structure et des moyens d'un grand port l'ont permis dans une certaine mesure qui reste insuffisante. Il a été difficile de définir des éléments extérieurs de comparaison qui permettraient d'apprécier réellement les qualités de précision, de cadence et de fiabilité de systèmes GPS centimétrique temps réel. C'est pourquoi les tests et le dépouillement des données enregistrées se doivent d'être (et ils l'ont été) très rigoureux.

Certes les tests réalisés ont permis de collecter des informations en quantité et en qualité très variées et de vérifier qu'au moins la fréquence de 10 Hz de fourniture de mesures à la précision centimétrique existait bien, que la précision centimétrique est réelle, et que les mesures à la précision centimétrique sont maintenues à une distance supérieure à 15 km de la station de référence. Les vérifications concernant la mesure du Latency d'une part et la présence ou absence d'interpolation ou d'extrapolation, d'autre part, n'ont pas été suffisantes (du fait de la capacité d'enregistrement de données dont nous disposions). L'exploitation de ces données a posé de nombreux problèmes, non pas à cause de la quantité de mesures, mais parce que le GPS est influencé de nombreux facteurs d'autant plus apparents que la fréquence des mesures est élevée. Ces facteurs influents peuvent être éliminés en ce qui concerne les problèmes de géoïde. Pour ceux qui dépendent du milieu, ils doivent être constamment surveillés. À cet égard la liaison radio entre la station de référence et le récepteur mobile est un élément qui demande beaucoup d'attention.

Depuis, le Port Autonome de Dunkerque a fait l'acquisition de trois récepteurs "mobiles" du même fournisseur, ce qui a permis encore de faire des constatations et des vérifications intéressantes. En tout cas les applications du GPS LRK en dynamique sont nombreuses dans le milieu portuaire, que ce soit dans les domaines de la bathymétrie et de la topographie mais aussi dans le domaine de la manutention et de la conduite des navires. Nous tiendrons les lecteurs de la revue X, Y, Z informés de ces développements.

# AVANT LA MERIDIENNE VERTE, LA MERIDIENNE DE PIERRE, ou l'histoire de la matérialisation du méridien de Paris

par

Robert VINCENT

*Président honoraire de l'Association Française de Topographie*

Gérard ROBINEAU

*Université du Temps libre, Orléans*

et Jacques GREBILL

*Président de l'Association Histoire et Patrimoine 45340 Nibelle*

Le 14 juillet prochain, à l'occasion des fêtes du millénaire, parmi les réjouissances prévues pour distraire le bon peuple de France, la matérialisation de la méridienne de Paris, est prévue par la plantation de milliers d'arbres, de Dunkerque jusqu'à Prats-de-Mollo-La-Prestre et même Barcelone : **Ce sera la méridienne verte.**

Il est frappant de constater l'attrait de cette ligne imaginaire nord-sud, et de l'intérêt que les pouvoirs publics, d'habitude si avares de leurs crédits, lui manifestent.

D'autant que ce n'est pas la première fois que cette ligne idéale sert de support à une manifestation. Voilà 260 ans que sa matérialisation a commencé.

## **La construction de l'Observatoire de Paris :**

En vue d'établir un observatoire, COLBERT, au nom du Roi, acheta un terrain situé au Sud du Paris d'alors, sur la ligne de crête entre la montagne Sainte-Genève et Montsouris, au lieu-dit "Le Grand Regard". Ce nom, que l'on pourrait croire prédestiné pour accueillir un observatoire, rappelle, en fait, le rôle d'un grand bâtiment, toujours existant, regard de visite de l'aqueduc d'Arcueil qui amenait les eaux au Palais et aux jardins de Marie de Médicis, le Luxembourg actuel.

L'architecte Claude PERRAULT fut chargé de construire l'Observatoire. L'orientation nord-sud de l'axe de symétrie de l'édifice fut réalisée le 21 Juin 1667, jour du solstice d'été, par les astronomes de l'Académie des Sciences. Cette opération, élevée au rang de cérémonie, a été commémorée par la frappe d'une médaille.

## **La méridienne de l'Observatoire**

Cette ligne, passant par l'axe de symétrie nord-sud du bâtiment, devint "Le Méridien de l'Observatoire". L'architecte Claude PERRAULT parle d'une ligne méridienne de 17 toises (33 m environ) dans l'étage. Effectivement, une grande ligne dans le parquet de la salle du 1<sup>er</sup> étage, marque la méridienne. En fait, elle fut construite par Jacques CASSINI (II) pour remplacer celle construite par son père Jean-Dominique, en 1680. De plus, une ligne métallique très courte, sur le seuil du rez-de-jardin donnant sur la terrasse Sud, marque aussi le méridien. Elle est prolongée dans ces jardins par un dallage en petits pavés, jusqu'à la grille sud.

Pendant la construction de l'Observatoire, l'abbé Jean PICARD entreprit, de 1668 à 1671, la mesure d'un arc de méridien par triangulation entre Sourdon près d'Amiens,

et Malvoisine près de La Ferté-Alais, mais sans utiliser de sommet principal près de Paris. La "ligne méridienne" qui figure sur la "seconde planche" hors texte de sa "Mesure de la Terre" est celle de Sourdon (sommet Nord de sa chaîne de triangles). PICARD tint à "ajouter à tous ces calculs la juste position des tours de Notre-Dame de Paris et de l'Observatoire". C'est ainsi que les sommets secondaires sont créés : P (Montmartre), S (Notre-Dame de Paris) et Z (Observatoire). Le 14 Août 1675, PICARD put ainsi faire planter un gros pilier de bois à Montmartre, pour donner le "Vrai Nord" aux astronomes de l'Observatoire.

Ce fut le premier point balisé sur le méridien de l'Observatoire de Paris.

## **La méridienne de Paris**

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

Une révision de cette chaîne méridienne fut réalisée de 1739 à 1740 par César-François CASSINI de THURY, dit aussi CASSINI III, et l'abbé Nicolas-Louis de LA CAILLE pour servir d'ossature à la première triangulation générale de la France (1744) et permettre la réalisation de la première carte générale de la France (1736-1815) à l'échelle de une ligne pour cent toises (1/86 400), celle dite de Cassini, terminée par CASSINI IV.

Il fut alors décidé en 1740 de baliser la ligne méridienne par 96 obélisques. Ils ne furent sans doute pas tous construits, loin de là. En tout cas, comme nous allons le voir, il n'en reste que trois connus aujourd'hui.

D'autres marques, à différentes époques et pour divers motifs, ont été édifiées. Les dernières en date, sont les 135 médaillons en bronze de 12 cm de diamètre, implantés en 1995 dans Paris, le long du méridien, sur le sol des trottoirs et des jardins traversés, entre Montmartre et le Parc Montsouris. En hommage à Arago et en remplacement de sa statue en bronze, enlevée et fondue pendant la deuxième guerre mondiale, ils portent le nom d'Arago et les initiales N et S des deux points cardinaux pour leur orientation.

Un dunkerquois, M. Jacques PACOU, suggère en 1995 (la Voix du Nord du 26 janvier 1995), de faire la même chose dans sa ville, et pourquoi pas, de Dunkerque à Barcelone. Son idée, à peine modifiée en remplaçant les médaillons par des arbres, a donc été reprise pour la méridienne verte.

En plus des médaillons parisiens, l'inventaire, non exhaustif, des anciens monuments subsistant actuellement sur ou à côté du méridien, se limite à une dizaine de bornes ou obélisques répertoriés. Ils sont, du nord au sud de la France, les suivants :

#### 1 - La Mire du nord de l'Observatoire (Paris) :

Elle est située à Montmartre, aujourd'hui dans les jardins d'un immeuble en copropriété, tout à côté du Moulin de la Galette, entre la rue Lepic et l'avenue Junot.

Piganiol de la Force, dans son ouvrage "Description de la Ville de Paris" (édition de 1765, tome II p.171), écrit ceci :

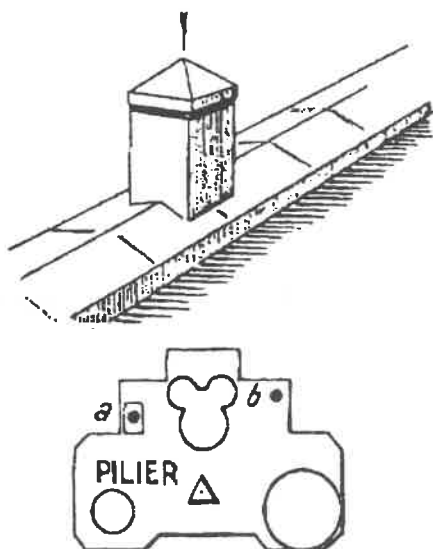
"On voit sur cette montagne (Montmartre) un obélisque ou colonne de pierre que l'Académie des Sciences y a fait planter pour déterminer sur l'horizon, le plus exactement qu'il était possible, les points du Midi et du Nord, qui sont sur la ligne méridienne qui passe par le milieu de l'Observatoire Royal de Paris. Du côté du Midi, l'horizon est terminé par le village de L'Haÿ, et du côté du Nord, par Montmartre. Sur la face de la base qui regarde le Midi, on lit cette inscription :

L'an M.DCC.XXXVI. Cet obélisque a été élevé par ordre du Roi pour servir d'alignement à la méridienne de Paris du côté du Nord. Son axe est à 2931 toises deux pieds de la face méridionale de l'Observatoire." (N.d.l.r. 5712,96 m)

Cet obélisque de 1736, avait remplacé un simple pilier en pierre, indiqué sur le Plan de Paris de Roussel datant de 1731, lui même précédé par le pilier en bois de l'abbé Picard de 1675.

#### 2 - Le Pilier géodésique de l'Observatoire de Paris

Comme on l'a vu, une grande ligne est incrustée dans le parquet de la salle méridienne et une petite ligne métallique marque le méridien sur le seuil du portail sud de l'Observatoire. De plus, un dallage en pavés marque la trace du méridien dans les jardins côté sud.



Un pilier géodésique a été érigé pour les besoins de la triangulation sur la terrasse supérieure de l'Observatoire, entre les deux coupoles. Pour le service du Plan de la Ville de Paris, il sert de point fondamental.

#### 3 - La Statue de François ARAGO (Paris) :

Élevée en 1893 en bordure du nouveau boulevard qui avait été percé dans le 14<sup>ème</sup> arrondissement de Paris et qui avait reçu en 1864 le nom de François ARAGO, une statue à la mémoire du savant mais aussi homme politique, fut édifée par souscription nationale sur le trottoir Sud, élargi à cet endroit par une petite place triangulaire, à l'angle de la rue du Faubourg Saint-Jacques.

Les quatre faces du socle en pierres de 5 mètres de hauteur, furent orientées suivant les quatre points cardinaux et son axe fut implanté très exactement sur le méridien, juste en face du portail Sud des jardins de l'Observatoire de Paris.

La statue d'Arago, en bronze, fut enlevée en 1942, pendant la Seconde Guerre mondiale pour être fondue et il ne reste aujourd'hui que le socle.

#### 4 - La Mire du sud (Paris) :

Elle est située dans le Parc Montsouris, près du boulevard Jourdan, à 1700 mètres au sud de l'Observatoire de Paris. Les services de l'Observatoire firent édifier en 1806, une stèle de 4 mètres de haut, dont le sommet porte une ouverture ronde, entourée d'une couronne de feuilles de chêne sculptée avec un petit cercle métallique de quelques centimètres en son centre, formant la mire proprement dite. Elle porte côté nord, l'inscription suivante : Du règne de Napoléon (effacé) Mire de l'Observatoire MDCCCVI. (photo R. Vincent)



En fait, la mire n'est pas sur le méridien, mais à trente cinq mètres à l'est, pour servir de mire à la lunette méridienne de l'Observatoire, située dans la coupole est. Une servitude, entre l'Observatoire et le Parc Montsouris, sinon de non ædificandi, tout au moins de limitation en hauteur des immeubles, a été imposée pour préserver la visibilité. Tel fut le cas d'un grand immeuble construit en 1965 rue Émile Dubois dans le 14ème arrondissement de Paris et qui pris le nom de "Méridien de Paris".

#### 5 - L'obélisque méridien d'ORVEAU (Loiret) :

Il est édifié à 61 km au sud de l'Observatoire de Paris, sur la commune d'Orveau-Bellesauve, au bord sud de la petite route qui relie Orveau à Gollainville.



L'obélisque de 7 mètres de haut, porte l'inscription : Méridienne de l'Observatoire. Échelle 541 toises (ou 341) 2 pieds MDCCXLVIII (photo M<sup>me</sup> Thévenot).

La stèle est indiquée sur la carte IGN au 1/25000 "stèle Méridienne de France", mais à un millimètre à l'est du méridien, soit à 25 mètres environ.

#### 6 - L'obélisque méridien de MANCHECOURT (Loiret) :

Situé à 4650 mètres au sud du précédent obélisque, de 7 mètres de haut, érigé en 1748 lors de la construction de la route de Fontainebleau à Orléans (aujourd'hui RN 152, ex RN 51). Il était à l'origine au milieu de la chaussée et a probablement dû servir de mire d'alignement lors du tracé de la route qui marque à cet endroit précis un léger coude entre deux grandes lignes droites de 8 km chacune sur Malesherbes au nord-est et Pithiviers au sud-ouest. Gênant la circulation, l'obélisque a été déplacé en 1931, et se dresse depuis sur le bas-côté ouest. Un médaillon ovale en marbre blanc porte l'inscription : "Méridienne de l'Observatoire de Paris, érigée par Cassini en 1748".



(photo M<sup>me</sup> Thévenot)

La stèle est indiquée sur la carte IGN au 1/25000 "stèle Méridienne de France", mais à une fraction de millimètre à l'est du méridien, et en tant que point géodésique. Ses coordonnées Lambert montrent qu'il est à 9 mètres du méridien. Si l'on tient compte de son déplacement de 1931, la stèle devait être à l'origine, comme celle d'Orveau, à environ 25 mètres à l'est du méridien.

#### 7 - Les Bornes méridiennes de la Loire (Loiret) :

Une borne est située rive droite de la Loire, sur la levée de protection des crues, empruntée par la D60, entre Saint-Benoît sur Loire et Saint-Père sur Loire, en principe exactement sur la ligne du méridien. Elle est de section carrée 40x40 cm et 55 cm de hauteur hors sol. C'est une borne du nivellement de la Loire, qui fut décidé après la



grande crue de 1846, et réalisé par Paul-Adrien Bourdalouë. Elle porte le numéro 0 (zéro). Les autres bornes de ce nivellement le long de la Loire, sont numérotées de part et d'autre de celle-ci, avec un M à l'amont pour montant, ou un D à l'aval pour descendant.

Une même borne a été implantée sur la rive gauche mais n'a pour l'instant pas été retrouvée.

#### 8 - La borne méridienne de Villemurlin (Loiret) :

Le village de Villemurlin, à 10 km au sud-sud-ouest de Sully sur Loire, a la particularité d'être traversé par le méridien. Une borne, rue de la Gare, adossée à une maison, marque le passage de la ligne. Édifiée sur une dalle en pierre et entourée d'un massif de fleurs, de section rectangulaire, 80x50 cm et de 70 cm de hauteur plus un sommet en tronc de pyramide de 15 cm, la borne porte l'inscription : MERIDIENNE DE L'OBSERVATOIRE DE PARIS.



Villemurlin (Loiret) - Rue de la Gare - Environ 12 km Sud Sud Ouest de SULLY-SUR-LOIRE. Borne du Méridien de Paris. (Photo Jacques Greibill - Janvier 2000)



Villemurlin (Loiret) - Borne du Méridien de Paris. (Photo Jacques Greibill - Janvier 2000)

#### 9 et 10 - Les bornes méridiennes de Carcassonne (Aude).

À 625 km au sud de l'Observatoire, la première borne est située avenue du Président Franklin Roosevelt, à 1,5 km du centre ville, en bordure de la RN 113 côté nord, face à une station d'essence Elf. De hauteur 1,50 m, et largeur 60 cm. elle porte une flèche axiale en relief, et l'inscription dans sa partie haute, en demi-cercle : MÉRIDIEN DE PARIS. Elle serait à 4 mètres à l'ouest du méridien..



(photo Guy Lefranc)

La seconde est située à 1320 mètres au sud de la précédente, avenue Henri Gout, en bordure de la D 33 côté nord, à hauteur du Parc municipal. Même borne que la précédente. Elle serait à 4 mètres à l'est du méridien



(photo Guy Lefranc).



On peut remarquer que certaines édifices sont par hasard sur le méridien. Tel est le cas de l'église du Sacré-Cœur à Gentilly (Val-de-Marne), en bordure du Périphérique de Paris à la jonction de l'autoroute du sud, dont le clocher est fortuitement à 1 mètre de la ligne méridienne.

De nombreux obélisques, pyramides ou bornes de dimensions respectables, plus ou moins proches de la ligne du méridien, et qui ont rapport avec la Géodésie des chaînes de triangulation de la méridienne, portent des inscriptions qui peuvent tromper le profane, et sont ainsi parfois confondus avec la marque du passage du méridien. Telles sont dans la région parisienne, les pyramides de Villejuif et Juvisy, qui marquent en fait les extrémités de la base géodésique de Picard (1670) et de celle de Cassini - La Caille (1740) ou, en bordure de la RN 7 eux aussi, des termes nord (à Vitry-sur-Seine) et sud (à Athis-Mons) de la base géodésique de Paris (1890) sur lesquelles est mentionné "Nouvelle méridienne de France".

L'un d'eux à Dunkerque, mérite pourtant une mention particulière :

#### **L'Obélisque de Dunkerque (Nord) :**

Dunkerque est une ville très sensibilisée à toutes les choses qui touchent à la géodésie, en particulier à la mesure des arcs de méridien, puisque depuis plus de trois siècles, les plus grands astronomes et géodésiens s'y sont succédés.

Ce fut d'abord La Hire, qui arriva à Dunkerque le 16 octobre 1681 pour prolonger vers le Nord la première chaîne de l'abbé Picard. Il fit ses opérations géodésiques sur la grande Tour et en profita pour aller à Calais afin de mesurer sur la plage une ligne droite de 2500 toises à partir du bastion du Risban en avançant vers Sangatte, ce qui lui permit de déterminer la distance séparant le château de Douvres à ce bastion : 21360 toises (41,630 km)

En 1718, Jacques Cassini (II) vint à Dunkerque pour en déterminer la latitude astronomique et mesurer la longueur d'une base entre Dunkerque et Zuydcoote, afin de terminer les travaux de la première méridienne de France.

Le 2 mai 1736, ce fut l'embarquement de MM de Maupertuis, Camus, Clairaut et Lemonnier pour la Laponie afin d'y mesurer un arc de méridien dans les hautes latitudes.

En 1739, l'Abbé de La Caille et Cassini de Thury (III) réfectionnent la partie nord de la méridienne, afin de servir d'ossature à la géodésie générale de la France et à la première carte de France.

Ce fut aussi en 1787, une première jonction franco-anglaise, pour déterminer par triangulation, la différence de longitude entre les Observatoires de Paris et de Greenwich. avec côté français les stations Calais, Blanc-Nez et Mont Lambert, s'appuyant aux points de la chaîne de triangles de l'Abbé de La Caille - Cassini de Thury, de Watten et Dunkerque.

Ce fut bien entendu Delambre en 1793 qui vint observer les triangles de la deuxième méridienne de France, celle de Dunkerque à Barcelone, qui allait permettre de fixer la longueur du mètre. Il revint à Dunkerque du 28 décembre 1795 à avril 1796 pour déterminer la latitude astronomique de l'extrémité nord de la chaîne géodésique.

Ce fut encore en septembre 1818, une seconde jonction géodésique franco-anglaise, par dessus le Pas-de-Calais, afin de réunir l'extrémité nord de l'arc de méridien franco-espagnol avec l'arc britannique et former ainsi une chaîne géodésique s'étendant sur 22° de latitude, soit 2450 km, allant de l'île de Formentera, la plus méridionale des Baléares, jusqu'à l'île de Unst, la plus septentrionale des Shetland, au nord de l'Écosse. Un obélisque actuellement situé en plein centre de Dunkerque, place du Lion d'Or, commémore l'événement. Initialement, il fut érigé en 1820 non loin de là, au fond du bassin de l'arrière-port, puis déplacé à plusieurs reprises. L'inscription rend hommage aux artisans de cette jonction, W. Mudge, T. Colby et G. Thomas côté anglais, et J.B. Biot et F. Arago côté français. Ce sont d'ailleurs ces deux savants français qui avaient procédé de 1806 à 1808, à l'achèvement des mesures du prolongement jusqu'aux Baléares, de la méridienne Dunkerque - Barcelone de Delambre et Méchain, prolongation que ce dernier avait entrepris en 1803, avant de décéder près de Valencia, en septembre 1804.

Cet obélisque ne marque pas le méridien puisque celui-ci passe à 2,5 km à l'ouest du centre ville. La ligne traverse en effet, sur la commune de Dunkerque, la raffinerie de pétrole par son milieu, la commune de Saint-Pol sur Mer en frôlant le bord est du carrefour du 8 mai 1945, et l'ancienne commune de Petite-Synthe, aujourd'hui englobée dans Dunkerque.

---

Toutes personnes qui connaîtraient l'emplacement d'autres témoins du passé qui se trouveraient sur le méridien, ou viendraient à en découvrir, par exemple à l'occasion de l'implantation des arbres sur la méridienne verte, sont invitées à le faire savoir. Qu'elles en soient ici remerciées d'avance.

---

#### **Bibliographie :**

Mesurer la Terre, 300 ans de Géodésie française (publication AFT 1988), par Jean-Jacques Levallois

Revue XYZ n° 63 (2ème trimestre 1995) : Hommage à François Arago (et les médaillons méridiens), par Robert Vincent

Revue XYZ n° 68 (3ème trimestre 1996, pages 37 à 76) : Paul-Adrien Bourdaloué (et le Nivellement Général de la France), par Robert Vincent

La Loire... et les bornes qu'on rencontre sur ces rives (avril 1997) par Gérard Robineau.

la page



Géomètres Sans Frontières

## tomegbe, le retour

Christian Toinon

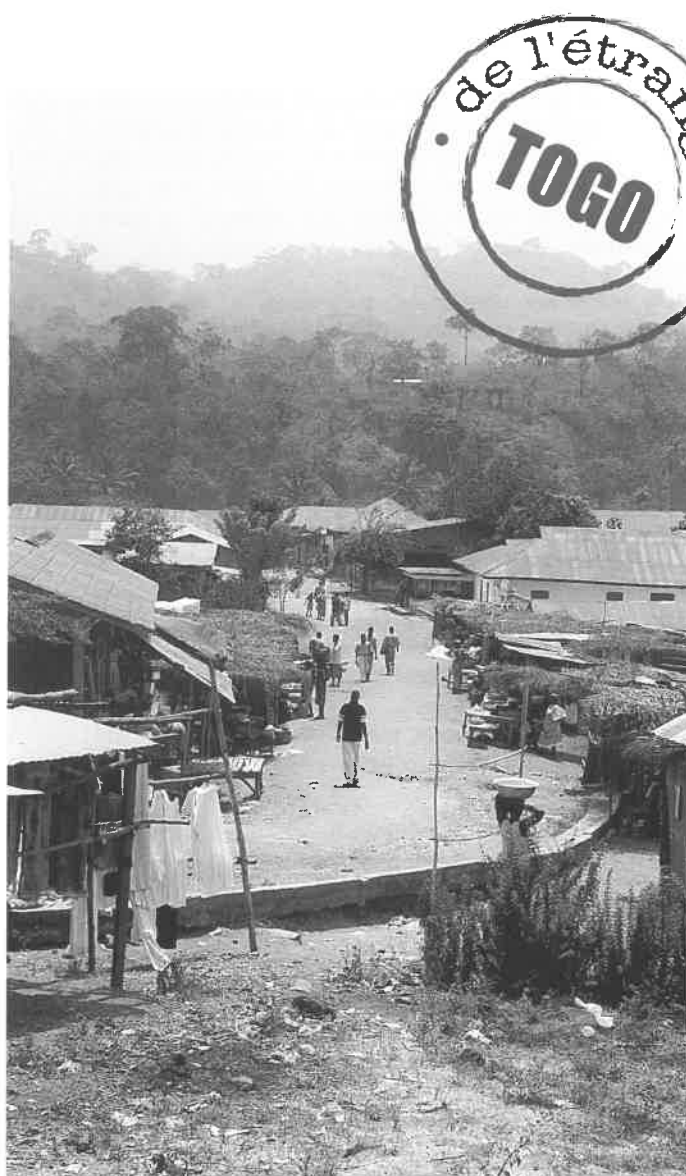
Le développement d'un village au Togo est un sujet généralement évoqué seulement lorsque l'on constate la gravité de la situation sanitaire, l'urgence d'une mise en place d'équipements hospitaliers, le manque cruel d'un système éducatif, de réseau routier, d'eau, voire d'espace. Rarement, ce sujet est abordé lorsqu'il est question de programmer l'installation des populations, de prévoir des voies d'accès à des zones d'aménagement futur.

Parfois, l'organisation de ce développement n'est ni du ressort, ni dans les capacités de l'État, surtout lorsqu'il s'agit d'un petit village, comprenant quelques milliers de personnes. Certains projets, de petite envergure, en général nécessaires et souvent urgents, peuvent se réaliser, de par l'initiative des communautés elles-mêmes.

Ce fut le cas en 1992 à TOMEGBE, lorsque la première mission de GSF effectua les premiers relevés topographiques au cœur du village. On réussit à l'époque à mettre en place un projet d'adduction d'eau. Quelques mois plus tard, c'est la quasi-totalité de ce projet qui fut réalisée, à quelques détails près. Par manque de moyens, on n'a pas pu s'équiper avec une pompe suffisamment puissante et le réservoir d'eau a dû être construit plus bas dans le village. Mais, aujourd'hui, nous l'avons constaté, 7 points d'eau distribuent alternativement le précieux liquide à toutes les femmes qui, le soir venu, effectuent leur ronde quotidienne vers les maisons afin de réalimenter les réserves. C'est alors à un véritable ballet de bassines et de seaux portés à même la tête auquel on assiste avec une certaine admiration pour l'habileté et la force de ces femmes.

Depuis la mise en place de ces points d'eau, le trajet se trouve donc considérablement diminué. Les files d'attente devant chacun des robinets montrent l'intérêt que portent les villageois à ce nouveau système même si la rivière n'est pas très loin, TOMEGBE signifiant en effet « juste après la rivière ».

Les 7 000 habitants du village (dont 3 000 dans le bourg) ont constaté depuis quelques années un certain essor démographique. Une grande partie de la population est, en effet, très jeune. Les classes à l'école se retrouvent d'ailleurs surchargées,



bien que tous n'aient pas les moyens d'être scolarisés. Mais le problème est aussi d'ordre urbanistique au sein du village où la densité de chaque famille et de chaque maison, va grandissante. Quelques litiges commencent à naître entre des propriétés « privées » ou par rapport à des biens collectifs (terrain de foot, églises, routes...). En effet, des terrains qui ne devraient pas être construits, le sont tout de même. Des maisons sont édifiées avec une tendance à l'agglutination dans le bourg près de la voie de communication principale qui n'est en réalité qu'un passage suffisamment large pour les rares véhicules, le reste des voies n'étant que sentiers. L'expansion géographique autour du centre du village doit être contrôlée. Mais, comme dans tous les villages togolais, aucune législation n'est prévue pour organiser l'urbanisation. On ne peut donc planifier quoi que ce soit en s'appuyant uniquement sur des textes de lois, même d'ordre général, qui pourraient fixer certaines lignes directrices.

À TOMEGBE, les 2 institutions : la traditionnelle Chefferie et le Comité au Développement Villageois (voulu et encouragé par l'État togolais) veulent parvenir à un accord (ce qui est parfois difficile!). Cet accord devrait permettre d'organiser et de maîtriser le développement du village. On pourrait, tout d'abord planifier la mise en place de nouvelles voies tout en gérant simultanément l'écoulement des eaux usées et pluviales par de larges et profonds caniveaux en béton, indispensables pour protéger les habitations en périodes de pluies.



Mais, pour fixer quelques règles d'urbanisation, comme chez nous on élabore un POS, il faudrait que ces institutions disposent d'un plan, base de toute réflexion. Or, à l'heure actuelle, un tel plan n'existe pas à TOMEGBE.

C'est ainsi que, par l'intermédiaire de Bernard MULLER (Géomètre Expert à Colmar) qui est toujours en contact avec TOMEGBE, une nouvelle mission s'est préparée pour cette année 2000. Début Mars, GSF met donc à la disposition de la communauté un jeune géomètre de Montpellier. Pas de souci pour le matériel, un vieux théodolite SOKKISHA est resté au village depuis la mission précédente de GSF.

Suite aux présentations très formelles à la Chefferie, les objectifs sont précisés, il s'agit de compléter le plan existant en cernant les zones nouvellement construites et en suivant l'axe unique de communication : la route nationale menant au Ghana (la frontière est à 6 km). Les chefs du village se chargent de nous trouver une équipe. Dès le lendemain, 8 volontaires sont prêts. Il ne nous reste plus qu'à arpenter le large périmètre du village par les sentiers existants ou non. Le coupe-coupe est de rigueur dans cette végétation luxuriante. Il nous faut traverser

des rivières et des marécages, sacrifier quelques bananiers ou plans de manioc... On savoure au passage quelques fruits, mangues, ananas, avocats et encore des bananes, offertes gracieusement pas nos compagnons de travail, qui découvrent « en échange » les subtilités de la topographie avec un intérêt et une facilité variable.

Toutefois, il n'a pas été très facile de mobiliser les bénévoles, d'une part, car le travail au champ pour les besoins des familles est une priorité. D'autre part, 2 chantiers d'unité de production d'eau minérale sont en cours, ce qui attire la main d'œuvre de par, la rémunération, chose assez rare ici.

En tout cas, c'est un village dynamique qui a accueilli chaleureusement la mission de GSF. À TOMEGBE, on aurait aimé mettre encore plus à profit la présence du topographe. Et, celui-ci aurait bien voulu apprendre de manière plus complète le maniement du théodolite à Louis, Kossi, Abbo... Ses assistants d'un jour rêvent de prendre leur destin en mains. Souhaitons-leur que le village s'épanouisse encore, que cette mission soit source de progrès, comme l'a été celle de 1992.

## Adhésion 2000 à Géomètres Sans Frontières : (à adresser au 15 rue Joyeuse – 18 000 BOURGES)

*Renouvellement annuel*

Nom : ..... Prénom : .....

Adresse : .....

Membre adhérent : 300 francs

Membre sympathisant : 200 francs

Membre bienfaiteur : 500 francs

Étudiant : 100 francs

Montant de ma cotisation : .....

Fait à : ..... Le : .....

■ Par ce texte nous poursuivons notre nouvelle chronique inaugurée dans notre n° 79 et comme son nom l'indique, à la topographie vécue par les géomètres et topographes (les autres aussi d'ailleurs, touchant de près le métier).

Nul besoin de vous expliquer que nous comptons sur nos lecteurs pour lui donner l'aliment nécessaire à sa survie et à son intérêt. Alors racontez la richesse de la vie dans cette profession où l'humanisme et l'aventure tutoient très souvent la science et la technique.

À bientôt dans nos pages. ■

**les  
amers  
du  
temps**

**T  
O  
P  
O-vécue**  
*l'histoire,  
la profession,  
l'aventure sur le terrain*

**TCHAD  
années  
50**

**Claude Million**

Nos souvenirs nous habitent même lorsque nous croyons les avoir oubliés, en voici la preuve :

Cette histoire date des années 1953-1955, et malgré tous les efforts qu'on a pu faire on n'est pas arrivé à mieux la situer dans le temps : Une équipe de topographes errait au bord du fleuve Logone à la recherche de son chantier. Ce début, qui fait penser inévitablement au début du "Château" de Kafka, est absolument authentique et sans recherche d'une référence littéraire qui ne pourrait qu'être hors de propos !

Depuis plusieurs jours, munis d'une carte au 1/100 000<sup>e</sup>, nous cherchions le début d'un chantier, lequel consistait à faire les profils en long d'un casier rizicole de 40 km de côté, soit au total 160 km de profils, et des profils en travers de 500 m de long tous les 200 ou 500 m. Travail parfaitement fastidieux, et sans le moindre intérêt technique, auquel s'ajoutaient des sondages par puits pour repérer une couche imperméable et des prélèvements géologiques des couches traversées. Ce travail posait d'énormes problèmes logistiques de transport de bornes et d'échantillons géologiques dans des terrains en principe impraticables – l'herbe à éléphants –, même avec des 4X4 Dodge "Command-cars", qui avaient probablement servi à la colonne Leclerc pour "envahir" le Fezzan, quelques années auparavant.

Le travail à faire était matérialisé sur la carte par quatre traits de crayon bleu à grosse mine, et par un descriptif sommaire pour bien repérer les sommets du carré. Nous avions rendez-vous sur les bords du fleuve, dans quelques semaines, avec des équipes qui devaient renforcer notre maigre effectif de deux Européens, un personnage important : le chauffeur mécanicien, un cuisinier, un "boy moteur", un "boy cabine" et quelques autres Tchadiens de Fort-Lamy (aujourd'hui Djamena) aux fonctions mal définies, destinés surtout à être des portes mires si les autorités locales refusaient de nous en fournir.

Le descriptif du premier point lieu du rendez-vous indiquait laconiquement "rônier incendié" : un rônier est une sorte de palmier dattier, dont on décapite le bourgeon terminal ou "chou" pour recueillir le jus de palme qui sert à faire le vin du même nom. Les arbres qui ne survivent pas à ce traitement sont assez souvent brûlés, ce qui est idiot car ce bois est utilisable.

Il devint vite évident que la carte très détaillée était un piège : établie par photogrammétrie TPFR et Multiplex par les Américains au cours de la seconde guerre mondiale, appuyée sur un point astronomique au sol, peut-être tous les 200 km, elle comportait un luxe de détails probablement renseignés par une mission qui n'avait pas dépassé le dernier hôtel-restaurant équipé d'un réfrigérateur à pétrole, situé à 80 km du



chantier; les "toponymistes" avaient dû utiliser des "indicateurs" zélés qui ne connaissaient le terrain que par ouï-dire, ou qui s'étaient simplement payés leur tête.

Bref, tout y était indiqué: Noms des villages, nom du chef et importance de la population, en dehors du fait que les habitants de cette région déplacent leurs cases à leur gré, on trouvait des villages nommés et renseignés qui n'étaient que des termitières géantes!

Comme le terrain était très plat: 3 m de dénivellée tous les dix kilomètres! Le fleuve, dont la largeur minimum était d'un kilomètre, pouvait s'étaler sur dix fois plus, s'égarant dans les terres sur 100 km de large par des "défluent", faibles dépressions qui rompaient de temps à autre la planéité d'un paysage se répétant à l'infini comme un papier peint, à chaque instant on avait l'impression, fausse, du déjà vu, qui ajoutait au trouble de celui qui cherchait des repères. Dans ces conditions le rendez-vous "au bord du Fleuve" était une sottise, car le bord évoluait chaque année, disparaissant, revenant, selon l'importance des crues.

Ayant une fonction inverse de celle des défluent, les affluents permettaient au fleuve de rejoindre son "lit majeur", lui-même très variable une fois la crue passée. Affluents et défluent découpait le paysage en losanges au milieu desquels émergeaient des tertres qui servaient de refuges aux animaux et aux hommes pendant la crue. Mais ces terres émergées ne dépassaient pas le niveau général de l'eau de plus d'un mètre.

En période sèche, la seule pendant laquelle le terrain était "accessible", où était le bord du fleuve? Fleuve, affluents et défluent, tout était mêlé. La carte montrait bien une situation probablement vraie il y avait quelques années, mais pas celle du jour.

La première décision sensée fut de ne plus se servir de la carte. On chargea alors nos aides Tchadiens d'interroger les habitants afin de retrouver le "rônier incendié".

Fatale erreur! Car entre les tribus du Nord et celles du Sud existe une inimitié historique, celle qui existe entre maîtres et esclaves, entre razzieurs et razziés, entre profiteurs et exploités, il leur fut facile de nous égarer encore un peu plus.

Les appels à l'aide au donneur d'ordre ne donnèrent rien d'autre que l'organisation d'une expédition qui devait nous remettre sur la voie et qui se termina, comme d'ailleurs toutes les missions d'inspection, en partie de chasse, sans nous approcher à moins de 40 km!

Un soir, l'un de nous constata: "Nous sommes perdus" ce qui était une évidence, tant pour la localisation que de réputation: Nous étions les topographes qui ont perdu leur chantier! L'autre ajouta "Nous sommes comme en pleine mer", le premier ajouta "Oui, mais en pleine mer le capitaine peut faire le point!" C'est ainsi que petit à petit s'imposa l'idée de faire le point à l'aide du seul appareil de précision dont nous disposions: un T2, c'était un peu juste comme équipement mais, à terre, cela valait bien un sextant en pleine mer!

Hélas, notre connaissance du mode opératoire ne dépassait pas le plan des principes, mais nous ne doutions de rien, car il nous arrivait de vérifier quotidiennement les directions des immenses alignements par des opérations astronomiques. On avait d'ailleurs fait des progrès en ce domaine: on n'observait plus le soleil trop imprécis, par ailleurs la polaire étant sous ou sur l'horizon, on avait donc acquis une certaine pratique de l'observation des étoiles ou des planètes, surtout de Vénus, au coucher du soleil. Ceci nous donna le "culot" de tenter l'aventure.

Nous avons appris que, dans la région, une équipe de géodésiens faisait des points astronomiques. Nous décidâmes donc de demander leur aide. Par courrier de coureurs il fut





convenu de les rencontrer sur un point astro vers la fin du jour, cela se passait à 100 km de pistes de là, ce qui représentait une bonne journée de route.

Comme à l'habitude nous nous perdîmes, et ce n'est qu'à la nuit tombée que nous avons rejoint un "campement administratif" près duquel était implantée la borne. Nous pensions au moins être accueillis confraternellement, mais un grand noir en boubou bleu nous barra le passage en déclarant: "On ne passe pas, Monsieur parle avec les étoiles!"

En effet, on assistait, de loin, à une bien étrange cérémonie, dans la lueur de phares de voiture on voyait plusieurs personnalités dont l'un énonçait à haute voix, les minutes et les secondes, l'autre s'adressait à un secrétaire pour énoncer les mesures.

Après avoir assisté à ce spectacle notre moral restait très bas, car il était trop évident qu'il nous faudrait un certain temps pour acquérir une telle pratique. Comme on ne nous invitait pas à entrer dans l'enceinte du campement nous avions préparé un bivouac juste à l'entrée, pour marquer leur attitude discourtoise.

Le lendemain l'accueil fut froid et marqué de condescendance amusée, je pense même, qu'une fois entre eux, les géographes se sont payé une bonne partie de rigolade à nos dépens, surtout après que nous ayons énoncé notre projet qui était de faire faire un point près de notre chantier par cette même équipe. Comme toujours en pareille circonstance on nous énonça les principes intangibles selon lesquels il n'était pas dans la vocation des géographes de dépanner des topographes perdus dans la nature.

Pourtant, à l'époque, cela n'était pas du tout dans les habitudes des personnes travaillant en Afrique où la solidarité était totale, en raison même de la précarité de l'existence, et de l'impossibilité de prévoir de quoi demain serait fait. Un seul point positif fut acquis celui de nous laisser assister à la préparation des observations de jour et, mais surtout de loin, aux opérations de nuit, toutefois sans nous laisser le moindre doute: on ne parviendrait pas à faire ce que nous voulions ne serait-ce que parce que nous n'avions pas le matériel adéquat.

C'est, en définitive, ce qui sauva ce projet insensé, car nous avons fini par rencontrer dans cette équipe des personnes très sympathiques, qui, de petits tuyaux en astuces, avec remise des imprimés de calculs qui, pour l'époque, valaient des "logiciels de papiers", nous ont initiés aux modes opératoires. Si nous ne savions pas encore "faire", leurs excellents conseils nous avaient au moins indiqué ce qu'il ne fallait surtout ne pas faire!

La situation restait encore très compromise, car il nous manquait l'essentiel, à savoir un chronomètre et une radio pour recevoir les signaux horaires.

Rentrés au voisinage de notre chantier on se mit en quête d'un poste de radio. À cet instant on doit faire un point d'histoire: On est habitués aujourd'hui à avoir autour de nous des postes de radio très performants, ceux de l'époque étaient à tubes, et, en dehors des postes des professionnels, très mauvais, les transistors, à peine inventés n'avaient pas encore envahi la radio. Notre quête d'un poste de radio sur batteries, les postes à piles étaient à genoux en une heure, surtout à cause des piles, nous entraîna dans des recherches lointaines, en essayant des refus nombreux et péremptoires, car, en fait, nous aurions aimé avoir un appareil militaire, robuste et sûr, mais inaccessible aux civils que nous étions.

Nous avons appris qu'une station d'essai agricole pourrait nous fournir en légumes frais, une richesse incroyable dans ce contexte désertique. En prenant contact avec les responsables de cette station, nous leur avons narré nos malheurs, dont ils

avaient été informés par le bouche à oreille, on imagine dans quelles conditions, dans une région qui manque de distractions, nous passions vraiment pour des benêts. Bien nous prit d'évoquer notre recherche d'un poste de radio puissant, car nous étions tombés, par le plus grand des hasards, sur un amateur radio qui se fit fort de nous faire entendre les signaux horaires en direct la nuit au cours des observations, donc plus besoin de chronomètre! Rendez-vous fut pris sur place.

En effet, à l'aide d'un haut-parleur et sans casque, on entendait en direct les signaux horaires ce qui nous permettait de toper le passage d'une étoile sur le réticule.

Toutefois, notre premier point nous rejetait trente kilomètres plus loin, il fallut se rendre à l'évidence, nous manquions d'expérience! Après avoir bien recherché les causes de cette erreur alors que nos "droites de hauteurs" n'étaient pas trop dispersées nous avons envisagé d'avoir "sauté" une minute, il faut dire que les minutes étaient annoncées en morse! On décida de se rapprocher tout de même du point trouvé, en tenant compte de cette correction, surtout parce que cette décision avait, au moins, le mérite de nous rapprocher d'un campement administratif voisin, dans lequel nous allions emménager, au plus vite. Fini le camping très peu confortable si on doit travailler la nuit et dormir une partie du jour.

Le moment est venu de décrire un campement administratif: Il s'agissait d'un logement réservé, en principe, aux agents de l'administration en tournée, et par extension aux personnes réalisant un travail pour l'administration, et encore par extension aux Européens en vadrouille dans la région... Mais, comme personne ne se déplaçait seul, le campement était composé d'une case ronde servant de pièce commune flanquée de deux cases rectangulaires pour servir de chambres, le tout enserré dans un rempart d'épineux. Pour fermer le cercle, des cases rondes de taille décroissante en direction de l'entrée, où était logé le personnel de la mission par ordre hiérarchique: le chauffeur-mécanicien, le cuisinier, le boy, le boy moteur, les porte mires etc. La charge de l'entretien et la gestion de ces refuges étaient à la charge des "sultans" de la tribu voisine. De fait, leur titre exact était lamido, mais il existait des grands et de tous petits lamidos en fonction de l'importance de la gestion qu'ils exerçaient localement, souvent aussi en fonction de l'importance du village, du gros bourg, ou de la ville si celle-ci était gérée de façon coutumière, c'est-à-dire non-Européenne.

Pour occuper une case administrative, pour employer du personnel local, enfin pour mobiliser localement toute ressource utile, il fallait s'adresser au lamido en lui faisant des présents. Le "présent" standard était une bouteille de Pernod, dont la vente était interdite au Tchad colonie Française, mais autorisée, au Cameroun voisin, en raison du droit international que chacun a de se suicider par alcoolisme, le Cameroun était territoire sous mandat de l'ONU, laquelle s'était opposée à cette interdiction. Il faut dire que, sur place, la bouteille de Pernod était consommée au goulot en quelques rasades!

Les chefs étant élus à la suite d'épreuves de lutte, les lamidos étaient des colosses de plus de deux mètres, certains étaient des despotes éclairés, d'autres de simples brutes, leur rôle était extrêmement important pour la population, ils étaient ce que sont pour nous les Assurances, la Sécurité Sociale, l'ANPE, le RMI, les Allocations familiales etc. Ils étaient, de plus, le lien indispensable entre les individus et l'Administration Coloniale, elle-même extrêmement discrète, et pour tout dire "diluée" dans des territoires immenses.

Après les présentations d'usage, le lamido du genre moyen, sous la juridiction duquel nous étions placés, après avoir tiqué sur la présence de Tchadiens du Nord, remis en état rapide-

ment, et de bonne grâce, les cases administratives. Un fois installés, nous reprîmes nos activités, et une nouvelle soirée d'observations fut organisée à la lumière de l'expérience précédente, entre-temps notre sauveur de radioamateur avait assimilé les mystères des signaux WWV et s'offrait à participer activement. Cette seconde soirée fut féconde, mais, sur l'instant, les résultats des calculs nous laissèrent un peu interdits, nous étions sur le point ou tout près! Nous nous apprêtions à une troisième soirée d'observations, lorsqu'un concert d'avertisseurs annonça l'arrivée de la seconde équipe.

Alors, nous dirent-ils: "vous l'avez enfin trouvé!" Ils furent stupéfaits d'apprendre que nous cherchions encore le fameux "rônier incendié". Venez dirent-ils, puis ils nous entraînèrent à deux cents mètres de là, dans un fourré inextricable, formé, on le sut plus tard, de rejets de rônier, au milieu duquel se trouvait ce que nous cherchions depuis quinze jours. En arrivant, ils étaient tombés dessus par hasard, en crevant un pneu tout près du but.

En réfléchissant plus tard, on convint que nous avions manqué de psychologie, ceux qui avaient tracé les limites du projet ne s'étaient pas déplacés bien loin de leur gîte habituel pour en déterminer l'origine.

Pour la beauté de la chose et du geste, nous donnâmes aux nouveaux arrivants un échantillon de nos compétences récentes, en faisant avec beaucoup de cérémonial, et avec l'aide bruyante du radioamateur et de son haut-parleur à faire des tops, une troisième séance d'observation!

Non contents de nous être singularisés par la recherche de notre chantier perdu, le hasard devait contribuer à ce que nous soyons les acteurs involontaires d'un drame.

Notre chantier se terminait, sortant de la case du cuisinier une petite fille de 10 à 11 ans enlaça mes jambes de ses deux bras et ne voulut plus se séparer de nous.

Très volubile, et voulant, selon toute apparence, transmettre des informations importantes pour elle, mais dans une langue inconnue de toutes les personnes présentes, elle restait dans nos jambes comme un jeune chiot. Nous avions cherché mais en vain qui étaient ses parents. D'après ses mimiques ils étaient loin et "partis". Le lamido ne savait, lui non plus, trop que faire, lorsqu'un jour il nous envoya un voyageur qui put enfin déchiffrer ce que disait la petite, qui ne voulait toujours pas nous quitter et qui, pour cela, participait, à notre corps défendant, aux opérations sur le terrain. Elle raconta que plusieurs familles, dont ses parents, avaient été emmenées de force vers l'Est.

Le sujet étant trop sérieux, nous sommes allés à la gendarmerie la plus proche, c'est-à-dire à cent cinquante kilomètres de pistes de là...

Le lieutenant devait m'avouer, plus tard: "Quand je vous ai vus vous présenter j'ai su que c'était les "ennuis" qui arrivaient". En effet, il devait rattraper un convoi d'esclaves qui partait pour l'Arabie. Mais ce convoi était composé de personnes "un peu simples" souvent vendues par leurs familles. Une fois libérées elles avaient créé un certain souci au lieutenant, car on ne savait d'où elles venaient, et personne ne les réclamait.

Il ne voulait pas "violer ma conscience", mais me conseillait, la prochaine fois, de m'adresser ailleurs.

Cette histoire, pour bien finir, doit se terminer sur une chute ou interviendra la justice immanente: Ce qui fut réalisé lorsqu'on livra les échantillons des sondages. Les donneurs d'ordre, qui nous avaient si bien abandonnés, n'avaient pas imaginé le volume et l'encombrement que constituaient deux à trois milles petits sacs de terre!

Les travaux commencèrent rapidement, d'abord au Tchad, puis au Cameroun sur l'autre rive du fleuve. Par la suite, on apprit que les rizières du Tchad furent abandonnées: La population, habituée à travailler trois mois par an, n'avait pas accepté la rigueur du travail du riz en paddy, celles du Cameroun sont, paraît-il, encore florissantes.

La topographie dans tout cela? Tout au plus 30 %, puis 50 % pour la mécanique auto, c'est pourquoi on a toujours plaisir à lire les chroniques de Robert Chevalier sur les véhicules tout terrain, il est permis de rêver! Le pourcentage restant s'est passé à faire des trous ou à chercher de la nourriture! D'ailleurs, de nos jours, ce petit incident de chantier aurait été réglé en deux heures, à l'aide d'un petit récepteur GPS portable. Pour l'heure, j'ai au poignet une petite montre radio pilotée, d'un prix très modique, qui reçoit les signaux d'une horloge au césium de Darmstadt, quant aux esclaves ils seraient déjà arrivés en Arabie, on n'arrête pas le progrès!

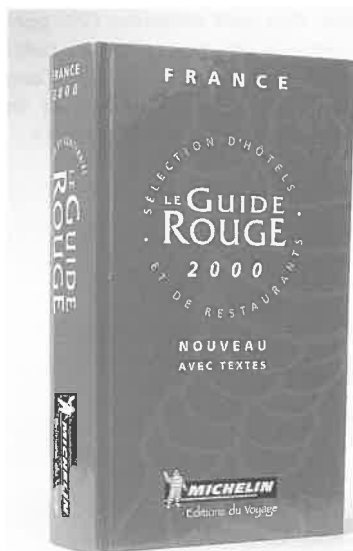




# LES LIVRES

Jack Biquand

## ■ Le Goncourt du voyageur



« Un vieillissement séculaire dans les meilleurs tonneaux du goût, il a du corps et de la robe, il est présent en bouche et rigoureux à la langue, intraitable et indépendant dans la digestion, c'est à vous de lui convenir et de le séduire ».

C'est ainsi qu'en parle mon grand-père, celui qui a eu « l'étoile » dans le Michelin 1926, la première édition qui classa les bonnes tables en France. Son

successeur à l'enseigne de « l'Oie cacardante » à Gardigny sur l'Osnon porte toujours cette étoile qui brille là depuis 74 ans, accrochée à la qualité culinaire de ses chefs, si vous passez là goûtez surtout le sandre rôti au jus de volaille ou le pigeon-neau à l'émietté de truffes, le tout avec un Chablis récupéré à côté de la grande cheminée en faïence. Bonne idée de Bibendum de faire apparaître les fidèles indéfectibles en les annotant du « label 100 ».

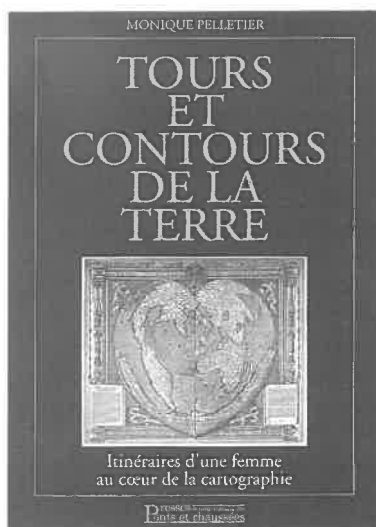
Dans son avant propos de la première édition en 1900 l'auteur, dans un enthousiasme qui a dû en faire sourire plus d'un, prédisait à l'ouvrage 100 ans d'existence ! En cette année-là on creusait les tunnels des premiers métros parisiens, on travaillait au pont Alexandre III et l'on préparait la grande exposition universelle de Paris. Et l'on distribuait donc aux vélocipédistes intrépides et aux automobilistes pétaradants, les 400 pages de cette première édition d'un guide, une idée de l'inventeur du pneumatique démontable en 1891, il était gratuit et destiné à promouvoir la géniale invention.

Ils n'étaient que quelques-uns, au début, pour fabriquer l'ouvrage. Aujourd'hui c'est une armée, et qui plus est une armée secrète, oui, oui, les « inspecteurs », ceux qui mettent les notes et décident des étoiles ! Peut-être en avez vous croisés dans vos voyages, ils ressemblent à tout le monde, arrivent à l'hôtel en quidam, s'installent, mangent et payent comme vous et moi, et, hop ! Aussitôt partis ils sortent leur petit carnet, et ils notent !

Le résultat c'est ce best-seller annuel, ce *Goncourt du voyageur*, le guide Michelin, pardon ! Le GUIDE ROUGE ainsi rebaptisé en 2000 pour fêter son siècle et ses 1,4 milliard de pages imprimées. Il change pour être de son siècle après avoir été celui de l'autre. Ce nouveau a son nouvel habit, un fac similé de l'édition 1900 en plus comme cadeau, un enrichissement de ses pictogrammes qui sont les hiéroglyphes du touriste, un descriptif précis en quelques notations courtes pour chaque adresse, une information sur le cadre, l'ambiance, la situation, la petite rivière qui coule sous la fenêtre du restaurant à la façade à colombage... et un tirage à 800 000 exemplaires, sans publicité et à l'abri de toute influence.

Ah ! Le tout sur 9000 points de vente au prix de 130 F (Merci la baisse de la TVA !) et un module spécial « le guide rouge » sur le site [www.michelin.travel.com](http://www.michelin.travel.com).

## ■ Tours et contours de la Terre



Monique Pelletier est le personnage incontournable quand on parle de cartographie à travers l'histoire. De 1977 à aujourd'hui elle a dirigé le département des Cartes et Plans à la Bibliothèque Nationale. Nourrie par sa passion de l'histoire elle a fait connaître et elle a enrichi par ses recherches notre patrimoine cartographique.

La représentation sur une carte n'est pas une image de la réalité, la carte est mariée à la science mais l'Art est son amant. Cette infidèle est multiple, et son ou ses mystère(s) savent attirer aussi bien les historiens que les géographes, les artistes, les sémiologues, les philosophes des sciences humaines.

Les textes réunis dans ce livre nous permettent de redécouvrir la diversité de la représentation cartographique. Cette vue « d'en haut » des choses, cette vision verticale, parce qu'elle entraîne de généralisation, de sémiologie, d'interprétation d'un monde vu « d'ailleurs », est révélatrice de la société, de ses pouvoirs, de ses conceptions et donc de ses fantasmes.

La carte est en relation directe avec les pouvoirs, l'argent, l'imaginaire, la religion et la politique.

Celui qui possède la « Carte » possède le monde (rappelez-vous Charlot singeant Hitler avec un globe, dans le dictateur), et combien de nations jusqu'à nos jours, et encore, considèrent la carte comme secret militaire ! La « mise à plat » d'un territoire sur une carte est une conquête du sol, les topographes et les cartographes ont toujours été dans les fourgons des armées. Les cartes s'inscrivent dans une démarche politique de domination du monde.

Alors, avec une telle substance on s'étonne toujours un peu que l'histoire de la cartographie ne bénéficie guère, en France, des faveurs de la recherche universitaire. C'est le mérite de Monique Pelletier d'avoir fait de son département à la BN un carrefour d'échanges et de rencontres internationales pour les chercheurs des horizons les plus divers (elle anima la commission d'histoire de la cartographie au sein de l'Association Cartographique Internationale de 1987 à 1995).

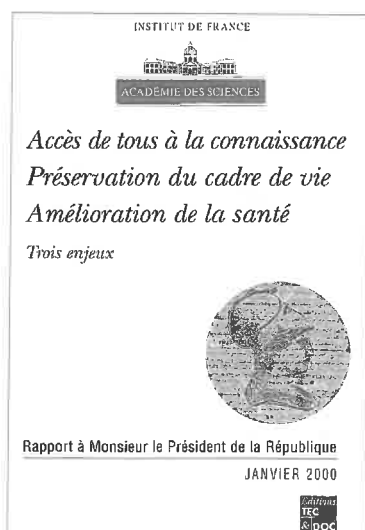
Autre mérite, l'ouverture à ces recherches multidisciplinaires a conduit à la redécouverte de la carte comme outil du géographe, ce qui était souvent oublié ou perdu et que Paul Vidal de la Blache exprimait dans la préface de son célèbre Atlas en parlant des cartes : « Où trouver un moyen d'expression aussi capable de concentrer les rapports qu'il s'agit de représenter ensemble à l'esprit ? »

« *Tours et contours de la Terre* » nous promène dans le monde de cette femme, à travers ses recherches, ses études, ses travaux, ses ouvrages, et peut-être fallait-il justement la sensibilité de cette vision féminine pour mieux comprendre et faire comprendre l'imbrication de la carte et de l'humain, avec ses contradictions, son balancier entre science et art, ses rêves.

Cet ouvrage est le témoin de la variété, de l'étendue et de la qualité du savoir de cette grande dame que Jean-Pierre Angremy, membre de l'Académie Française et directeur de la BNF, définit comme une « épicurienne » de la cartographie, formule que nous feront nôtre dans ces colonnes qui ont de nombreuses fois eut l'honneur de recevoir ses articles.

(Presses des Ponts et Chaussées – 260 FTTC)

## ■ Du côté de l'Académie



Le Président de la République a confié à l'Académie des sciences une mission de réflexion sur trois grandes questions : « l'accès de tous à la connaissance, la préservation du cadre de vie et l'amélioration de la santé de chacun », et lui a demandé de formuler des « propositions concrètes pour éclairer, au seuil du XXI<sup>e</sup> siècle, les choix politiques concernant le traitement informatique du savoir, la

connaissance de la planète et le cadre de vie, la compréhension du vivant ».

La question de l'accès de tous à la connaissance et du traitement informatique du savoir donne lieu, sous des angles variés, à de nombreuses demandes d'expertise et de débats publics. Nous sommes en train de vivre une mutation techno-

logique qui conduit à une rupture culturelle : nouvelles approches de l'enseignement et de la formation, universités virtuelles, réseaux de laboratoires, projets collectifs de jeunes collégiens européens, neurosciences. C'est l'ensemble de notre rapport à la connaissance qui est remis en question quand les moyens d'accès et les outils changent.

La nature qui est notre niche écologique est fragile et menacée, par nous, qui refusons par ailleurs les risques et les incertitudes. Il faut dépasser ces appréhensions en adoptant une attitude dynamique et ouverte.

Ce rapport étudie, de manière approfondie et sans concession, les questions posées à l'Académie, rappelant les succès de la Science et de la Technologie, évoquant les espoirs, signalant les difficultés, s'interrogeant sur la notion de risque, sur le principe de précaution et le développement durable, sur l'avenir de la simulation, sur la maîtrise de la complexité notamment par l'étude des systèmes dont l'enseignement devrait être renforcé, tout cela en insistant sur le respect de l'Homme et de la Nature. Il devrait contribuer à réconcilier Science et Société.

## Rapport n° 44 (mars 2000)

Comme il est rabâché sans cesse la pollution des sols et des sous-sols est la faute à l'activité humaine et engage très fortement l'avenir de l'espèce. Le rapport n° 44 établi par l'Académie est consacré à l'une des formes de pollution les plus courantes, celle des hydrocarbures et des solvants chlorés. Les catastrophes récentes (Erika et Cie) ne le contrediront pas.

Ce travail est complémentaire au rapport n° 42 (août 1998) qui était consacré à la pollution par les éléments en traces. Les préoccupations actuelles concernent autant la gestion de l'ancien que la prévention de nouvelles pollutions industrielles. Le curatif et le préventif sont donc les deux aspects abordés dans ce rapport. Les auteurs tracent les voies qui pourraient être suivies, de l'identification des dangers à la caractérisation des risques sanitaires.

## Rapport sur la science et la technologie

### 1. L'après génome

Identifier l'ensemble des gènes constituant le patrimoine héréditaire d'une espèce est l'objectif de cette nouvelle discipline baptisée « génomique ». La connaissance fondamentale va être modifiée par cette nouvelle approche de la biologie qui nous livrera les clés des déterminismes des grands processus cellulaires et de leur intégration.

La génomique ouvre des perspectives pour les applications à la médecine, à la pharmacologie, à l'agriculture et, d'une manière générale aux biotechnologies. Une des questions clé qui se pose concerne la nature des opérations qu'il convient de mettre en œuvre pour passer de la connaissance « linéaire » des gènes à l'élucidation de leur fonction pour comprendre l'intégration physiologique propre aux êtres vivants. Cette démarche « post-génomique » doit être étudiée et éclaircie, ce que tente ce rapport qui date de juillet 1999.

### 2. Physiologie animale et humaine

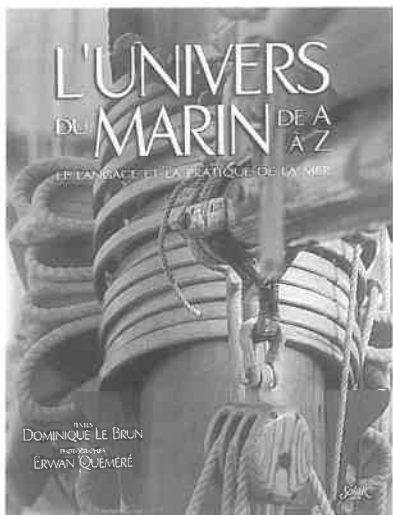
Le développement spectaculaire de la biologie cellulaire qui fait l'objet du rapport ci-dessus (l'après génome) rejette un peu dans l'ombre la physiologie des grandes fonctions.

Le présent rapport, qui fait d'abord un historique des principaux concepts, de Claude Bernard à nos jours, tente de faire le point sur cette discipline. Sont abordés, l'expérimentation animale, les organes artificiels, les instrumentations, les modélisations, ainsi que l'état de l'enseignement de la physiologie en France (février 2000).

### 3. Le médicament

Des analyses confirment le déclin de la France dans le domaine de la recherche et la production de médicaments (du 2<sup>e</sup> rang mondial au 8<sup>e</sup> rang!). Ce rapport se conclut sur des recommandations visant à redonner un essor à la recherche et à la formation dans les organismes publics et les universités. Il date de mars 2000.

### ■ L'univers du marin de A à Z



Un livre sur le langage et la pratique de la mer, avec un texte de Dominique Le Brun et des photos de Erwan Quéméré, et dont nous parle notre collègue du comité de rédaction Jean Bourgoïn, ingénieur hydrographe (ER):

« *L'univers du marin de A à Z* » est un superbe ouvrage, qui attire d'abord l'attention par la

qualité artistique des photographies et le soin de la mise en page. La présentation, par ordre alphabétique, des mots d'expressions, indispensable pour l'accès à l'information, dans ce « dictionnaire-encyclopédie » regroupant 700 articles, est éclairée par le sous-titre de l'ouvrage « Le langage et la pratique de la mer ». La simple définition est en effet largement dépassée par le souci de l'auteur de faire découvrir les usages et les applications, grâce à sa grande expérience de la mer. À titre d'exemples, accompagnés d'ailleurs de croquis explicites, on peut citer les cas suivants : manœuvrer une annexe par vent fort; les 3 façons de prendre la cape; l'échouage; l'échouement; la bonne manière de tenir l'estime; parer un bateau pour faire face au mauvais temps; le mouillage; faire le point; différentes façons de se mettre à quai.

Les limites de cet « Univers du marin » sont très larges. Ce sont celles du plaisancier éclairé. Elles couvrent les problèmes fondamentaux de la navigation à la voile, à la base de toute formation maritime, avec beaucoup de termes concernant le gréement, les voiles, l'instrumentation, la réglementation, la météorologie, etc. Mais elles englobent aussi les thèmes culturels, historiques et patrimoniaux, tels que les bateaux célèbres (voiliers et navires historiques), la vie à bord (chansons de marins, la vie en mer, la compétition, les skippers, les personnages historiques, les grandes expéditions, la course au large, la culture maritime (artisanat, cinéma, littérature, peinture et photo), l'histoire et la tradition (grandes heures de l'histoire maritime, légendes et mystères, traditions), etc. On ne pouvait pourtant tout dire, et les thèmes concernant les marines de guerre, de commerce, la pêche, la biologie, ne sont abordés que sous forme de planches.

Les usages, le savoir-vivre, et à l'occasion l'humour sont de rigueur. Lisez plutôt: « *Étiquette navale* » p. 78: Le saviez-vous? Sur un bateau au mouillage, le côté d'honneur se trouve à tribord: c'est par là qu'embarquent le propriétaire et ses invités... Si l'on est plusieurs bateaux à coupler le long d'un quai, on ne traverse le pont des autres bateaux que par l'avant du mât, et en évitant de regarder par l'ouverture du capot du poste avant. En ce qui concerne la pavillonnerie, l'étiquette est

particulièrement stricte... **Forban**, p. 87: Synonyme de pirate ou de toute personne ne s'embarrassant pas de scrupules (dans le monde de la pêche ou du commerce maritime, cela ne manque pas). C'est aussi un type de chaloupe du port du Bono (Morbihan). **Pare-battage**, p. 159: On désigne aussi par le terme « défense » les protections disposées entre la coque du bateau et le quai pendant l'accostage. Les skippers soucieux d'élégance s'empressent de rentrer ces disgracieux appendices dès que leur bateau s'est écarté du quai. **W.C.**, p. 216: sur un bateau, ces initiales conservent la même signification qu'à terre. Avant de les utiliser, demander toujours au skipper leur mode d'emploi précis: vannes à ouvrir et à fermer, fonctionnement de la pompe.

Et, vous souvenez-vous des paroles des douze chansons des marins les plus célèbres; des biographies de Sir Francis Chichester, Anita Conti, Léon Haffner; de l'énigme de la Marie Galante; des maximes et expressions des marins; de l'origine des demi-coques; de la définition du bourcet-malet, de l'enfléchure, du guindant, de la jaumière, du rocambeau, du scrimshaw? Non, alors plongez dans *L'univers du marin de A à Z*.

Chaque lettre, dont la magnifique double page d'entrée, donne sa représentation et des exemples de phrases tirées du Code International des signaux, vous ouvre la porte de cet univers du marin. « Ne rien oublier et ne retenir que l'essentiel », en faisant la juste part des aspects techniques et culturels, le pari des auteurs est brillamment gagné.

Il s'agit bien d'un livre de marins pour les marins. Longue vie à cet ouvrage, qui ne devrait pas être loin de la table à cartes et servir la magie des croisières passées et à venir.

Jean Bourgoïn

(Éditions SOLAR mer – 224 pages – 500 illustrations couleurs)

### ■ Maîtriser la topographie

#### Maîtriser la topographie

Des observations au plan



Michel Brabant

Eyrolles



La topographie est à la base de tous les travaux de génie civil. Elle consiste à réaliser, exploiter et contrôler les observations, calculs et plans topographiques en faisant largement appel à l'électronique, l'informatique et la télémétrie sur satellites.

Ce livre présente dans un ordre logique et rigoureux les différentes techniques mises en œuvre par le topographe, illustrées de nombreux exemples:

- observations et mesures sous leurs aspects théoriques et pratiques;
- méthodes de levé et d'implantation des canevas de détails;
- traitements numériques et graphiques, CAO et DAO.

Cet ouvrage s'adresse à tous ceux qui exécutent des travaux topographiques, à tous niveaux, dans des domaines d'activités variés: sociétés de topographie, cabinets de géomètres, entreprises de BTP, DDA et DDE, travaux souterrains, services techniques divers; il permet la formation des futurs topographes ainsi que l'actualisation des connaissances des praticiens confirmés.

(Michel Brabant aux Éditions Eyrolles  
Avec la collaboration de l'AFT – 240 FTTC)



## ■ À la mer comme au ciel



L'auteur est navigateur qui a couru plusieurs « transats » en solitaire (années 80), il est spécialiste de la navigation et de la cartographie marine, docteur en Histoire et journaliste. Sa passion : la mer.

Personnage de son étude : Charles-François Beautemps-Beaupré, (un nom trop beau pour être vrai ?) qui vécut de 1766 à 1854 et qui est le père de l'hydrographie moderne, au cœur du domaine stratégique. Ses cartes ne seront détrônées

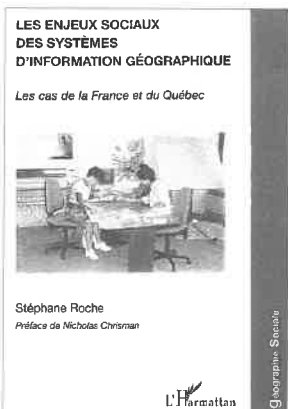
que par le satellite. Il y a 200 ans cet homme inventait la carte marine moderne sur papier, telle qu'elle existe encore aujourd'hui, le bouleversement à l'époque fut le même qu'aujourd'hui où les navigateurs de notre XXI<sup>e</sup> siècle vivent un moment historique avec l'ère du « tout satellite » et de la carte électronique.

Jusqu'au milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle, les marins naviguent dans le vague, sans longitude. Mais, grâce à l'horlogerie et aux nouvelles méthodes astronomiques, l'élite parvient à une navigation plus précise que les cartes en usage, dont les erreurs se recopient à Paris ou à Londres. Les enjeux en sont planétaires, la France et la Grande-Bretagne se livrant une guerre géographique et commerciale dans les mers du Sud, entre espionnage et coopération.

Le travail d'Olivier Chapuis est le fruit de dix ans de recherche et d'écriture, ce qui nous donne un ouvrage très documenté, issu d'une masse de sources originales souvent inédites, écrit de surcroît dans un style clair et vivant.

(Olivier Chapuis – Presse de l'Université de Paris – Sorbonne  
1 000 pages – 345 FTTC)

## ■ Les enjeux sociaux des SIG



Les SIG sont devenus les bases incontestées de la gestion territoriale. Ils permettent de rationaliser l'information géographique et d'optimiser les actions entreprises sur l'espace. Mais le mécanisme de diffusion de ces systèmes est fort complexe. Les SIG sont considérés comme outils informatiques mais leurs dimensions humaines et sociales sont rarement prises en compte. À travers des études en France et au Québec, l'auteur démontre

que les SIG sont de véritables constructions sociales liées au géographique et au culturel.

Ce livre s'adresse à ceux qui développent ou plus simplement utilisent les SIG quotidiennement : pour les aider à mieux tirer profit des expériences passées, des échecs et des succès des organismes qui ont déjà franchi le pas ; pour les aider à mieux se situer par rapport aux outils et à leur potentiel. Il propose également aux géographes, à travers l'étude de la construction des SIG, une nouvelle clef de lecture des relations entre espaces et sociétés.

Nous y apprenons comment les structures humaines (organisations, disciplines, hiérarchies gouvernementales) interviennent dans la création du terrain informatique. Cette réflexion

est suffisamment en profondeur pour rendre songeur tous ceux qui croient n'utiliser qu'un simple outil technique quand ils utilisent les SIG.

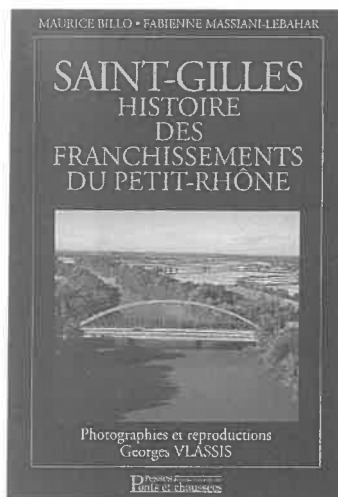
L'ouvrage est préfacé par le professeur Nicholas Chrisman, de l'Université Washington de Seattle, qui oriente sa recherche vers la géographie de l'information géographique, ce qui l'amène à engager une réflexion sur les liens entre société et technologie des SIG.

Stéphane Roche est ingénieur diplômé de l'ESGT, il est maître de conférence à l'université d'Angers.

(Stéphane Roche – L'Harmattan)

## ■ Aux Presses des Ponts et Chaussées

### – Saint-Gilles

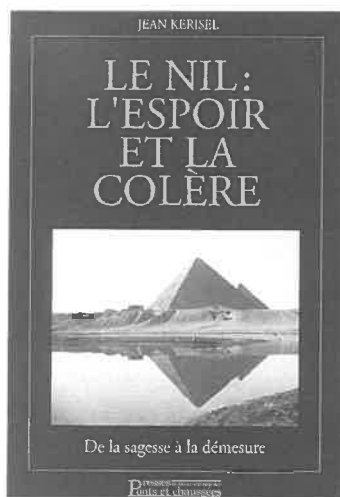


Une histoire des franchissements du petit Rhône, entre Provence et Languedoc. Un nouveau pont construit à Saint-Gilles qui préserve l'environnement exceptionnel de cette porte de la Camargue. Un ouvrage transparent et léger qui s'intègre au site, alliant la technique et l'esthétique.

Les auteurs : Fabienne Massiani-Lebahar, Maurice Billo, photographies et reproductions de Georges Vlassis.

(120 pages illustrées  
250 FTTC)

### – Le Nil : l'espoir et la colère



L'auteur Jean Kerisel, après une longue carrière scientifique, a écrit de nombreux ouvrages et articles sur les pyramides et les grandes architectures du passé. Dans ce livre il explique l'erreur de conception du barrage d'Assouan, défi politique au monde occidental, qui a rompu avec l'intelligence hydraulique des pharaons. Jean Kerisel montre qu'un barrage plus modeste, à l'amont, eut suffi, épargnant la Basse Nubie et ses tem-

ples, les crues étant rejetées latéralement dans la dépression de Tochka déjà bien connue des pharaons. Erreur de conception tardivement reconnue puisque c'est dans ce site que sont depuis peu rejetées les crues du fleuve.

La vallée de Tochka, devenue oasis et espoir pour les Égyptiens, suscite la colère en amont qui menace de retenir l'eau par irrigation. Sera-ce la guerre de l'eau dans cette vallée des ancêtres de l'homme ? L'auteur pense que le salut est dans l'aménagement hydraulique des chutes du Nil bleu, source d'énergie et d'eau abondante au long de l'année, au sein d'une action fédérée groupant l'Éthiopie, le Nord-Soudan et l'Égypte.

(216 pages illustrées – 180 FTTC)



" La plus ancienne activité  
photogrammétrique privée de France "

Avenue du Taillefer - BP3 - 38241 MEYLAN Cedex

Tel : 04 76 18 13 13 - Fax : 04 76 18 13 10

Email : sintegram@aol.com

## REPertoire DES ANNONCEURS - N° 83

SETAM ..... 2<sup>e</sup> de couv.  
GEOMEDIA ..... 3<sup>e</sup> de couv.  
TopoCenter ..... 4<sup>e</sup> de couv.

AERIAL ..... 16  
AEROSCAN ..... 100

ECOLE CHEZ SOI.....	64	PENTAX.....	22
ENSG.....	8-78	REIS.....	16
ESRI-France.....	29	SERVICES GEOGRAPHIQUES.....	15
GEOMATIQUE EXPERT.....	24	SINTEGRA.....	100
LEICA.....	2	SPECTRA PRECISION.....	21
MERCI PIX EDIT.....	55	STÖLZEL.....	16
NEWBY.....	16	TRIMBLE.....	6
NIKON.....	4	XXL COM.....	1



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

Centre d'Exploitation : Aéroport de Nancy-Essey • F - 54510 TOMBLAINE

Tél. (33) 03 83 18 00 03 • Fax (33) 03 83 18 00 53

e-mail : aeroscan@wanadoo.fr